PROMOÇÃO E REALIZAÇÃO

NÚCLEO NORTE

UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA

PATROCÍNIO

GOVERNO DO BRASIL
DO LADO DO POVO BRASILEIRO

PETROBRAS

atem

COMPLEXO BARREIRA
PIONEIRA EM TERRAS RARAS NO NORTE DO BRASIL
MINERAÇÃO COM SUSTENTABILIDADE E COMPROMISSO COM O MEIO AMBIENTE

APOIO

CAPES

GeoMamas
Rede de Mães Geocientistas

ProfÁgua UFRR

femarh
Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos

ABMGeo
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MULHERES NAS GEOCIÊNCIAS
NÚCLEO RORAIMA - RR

Anais do 18º SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA

18º Simpósio de Geologia da Amazônia

Fronteiras Geológicas da Amazônia

ANAIS

Boa Vista-RR, 26 a 29 de outubro de 2025

PROMOÇÃO E REALIZAÇÃO

NÚCLEO NORTE

UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA

Anais

18º Simpósio de Geologia da Amazônia

FRONTEIRAS GEOLÓGICAS DA AMAZÔNIA

Boa Vista-RR, 26 a 29 de outubro de 2025

ORGANIZADORES

ELIZETE CELESTINO HOLANDA
LUIZA CÂMARA BESERRA NETA

Boa Vista -Roraima - Brasil
2025

Editado por

Sociedade Brasileira de Geologia – Núcleo Norte (SBG-NO)
Av. Augusto Correa No 1, Campus do Guamá, Museu de Geociências
Universidade Federal do Pará, CEP: 66075-110 Belém-PA.
Site: **http://www.sbgeo.org.br** / E-mail: **nucleo-no@sbgeo.org.br**

Foto da Capa

Foto aérea do complexo de serras do Supergrupo Roraima no município de Uiramutã por JPavani, na fronteira Brasil/Venezuela. O Supergrupo Roraima nesta região apresenta sucessões metassedimentares paleoproterozoicas (1,96-187 Ga), com importante registro da evolução tectônica do Cráton Amazônico. Além disso, representa para o Estado de Roraima um forte atrativo geoturístico, seja pelas paisagens cênicas (tepuis, serras e savanas), seja pelas bacias hidrográficas representadas pelas grandes cachoeiras e rios. É um território considerado sagrado e guardado pelas comunidades da Terra Indígena Raposa Serra do Sol.

Revisão
Elizete Celestino Holanda
Luiza Câmara Beserra Neta
César Lisboa Chaves

Capa
Elizete Celestino Holanda
César Lisboa Chaves

Editoração
Osimar R. Araújo (Osiart)
91 98112.5461 | osiarte@gmail.com

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A532 Simpósio de Geologia da Amazônia (18. : 2025 : Boa Vista, RR)

Anais do 18º Simpósio de Geologia da Amazônia: fronteiras geológicas da Amazônia. / Organização de Elizete Celestino Holanda, Luiza Câmara Beserra Neta. – Boa Vista: SBG – Núcleo Norte, 2025.
1 recurso eletrônico (PDF, 834 p.) : il. color ; 125.702 kbtes.

Simpósio realizado em Boa Vista-RR, 26 a 29 de outubro de 2025, no Centro Amazônico de Fronteiras da Universidade Federal de Roraima – CAF/UFRR.
ISBN 978-85-88692-19-0

1. Geologia – Congressos – Amazônia. 2. Geociências – Região Norte (Brasil). I. Holanda, Elizete Celestino (org.). II. Beserra Neta, Luiza Câmara (org.). III. Sociedade Brasileira de Geologia - Núcleo Norte. IV. Título.

CDD 558.981

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Nelma Botelho CRB-4 2341

Diretorias

Sociedade Brasileira de Geologia

NÚCLEO NORTE

Diretor Presidente
Marcos Luiz do Espírito Santo Quadros (SGB/CPRM/BE)
Diretor Vice-Presidente
João Marinho Milhomem Neto (UFPA)
Diretora Secretária
Elem Cristina dos Santos Lopes (SGB/CPRM/BE)
Diretora Financeira
Cintia Maria Gaia da Silva (SGB/CPRM/BE)
Diretora de Programação Técnico-Científica
Antonia Railine da Costa Silva (SGB/CPRM/BE)
Diretora de Comunicação e Publicações
Aline Maria Meiguins de Lima (UFPA)
Diretor Adjunto de Rondônia
Carlos Eduardo Santos Oliveira (SGB/CPRM/RO)
Diretor Adjunto de Roraima
Fabio Luiz Wankler (UFRR)

NACIONAL

Diretora Presidenta
Elisa Soares Rocha Barbosa (UFG)
Diretora Vice-Presidenta
Nely Palermo (UERJ)
Diretor 1° Secretário
Murilo Brandão De Medeiros (EQUINOR)
Diretor 2º Secretário
César Lisboa Chaves (SGB/CPRM/BE)
Diretor Financeiro
Iata Anderson de Souza (UNESP)
Diretora de Comunicação e Publicações
Simone Cerqueira Pereira Cruz (UFBA)
Diretora de Programação Técnico-Científica
Sheila Gatinho Teixeira (SGB/CPRM/BE)
Diretor Adjunto
Fábio Luis Neri Guimarães (BEMISA)

Comissão Organizadora do Simpósio

Presidente
Lorena Malta Feitoza (UFRR)
Vice-Presidente
Samir do Nascimento Valcácio (UFRR)
Comissão Científica
Elizete Celestino Holanda (UFRR)
Luiza Câmara Beserra Neta (UFRR)
Comissão de Recursos Financeiros
Carlos Eduardo Lucas Veira (UFRR)
Cintia Maria Gaia da Silva (SGB-BE)
Comissão de Divulgação e Marketing
Vladimir de Souza (UFRR)
Caio Rodrigues Bezerra (UFRR)
Éder Rodrigues (UFRR)
Comissão de Logística e Infraestrutura
Fábio Luiz Wankler (UFRR)
Jackson Douglas Silva da Paz (UFRR)
César Lisboa Chaves (SGB-BE)
Comissão de Cultura e Eventos
Carlos Eduardo Lucas Veira (UFRR)
Ana Tayla Rodrigues Ferreira (UFRR)
Comissão de Excursões
Stélio Soares Tavares Júnior (UFRR)
Ana Tayla Rodrigues Ferreira (UFRR)
Comissão de Mini-cursos
Lena Simone Barata Souza (UFRR)
Jackson Douglas Silva da Paz (UFRR)
Comissão de Inscrições e Atendimento
Lena Simone Barata Souza (UFRR)
Jackson Douglas Silva da Paz (UFRR)
Tecnologia da Informação
Marcos Ferreira (UFRR)
Comissão Estudantil
Moeme da Silva Máximo Ramos (UFRR)
Liuvanderson Sarmento Araújo (UFRR)
Gustavo Silva Zaranza (UFRR)

Comitê Científico

Alderlene Pimentel de Brito (UFAM)
Ana Tayla Rodrigues Ferreira (UFRR)
Antonio Gilmar Honorato de Souza (SGB-AM)
Arnaldo de Queiroz da Silva (UFPA)
Carlos Eduardo Lucas Vieira (UFRR)
Carlos Marcello Dias Fernandes (UFPA)
Carlos Sander (UFRR)
Cleber Eduardo Neri Rabelo (UFRJ)
Eduardo da Silva Aguiar (SEMAS PA - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade)
Elainy do Socorro Farias Martins (UFOB)
Elisabete Lourdes do Nascimento (UNIR)
Elizete Celestino Holanda (UFRR)
Emilio Alberto Amaral Soares (UFAM)
Fábio Luiz Wankler (UFRR)
Fabriciana Guimarães (UFOPA)
Frederico Castro Jobim Vilalva (UFRN)
Gilmara Feio (UNIFESSPA)
Helder Manuel da Costa Santos (UFAM)
Humberto Cavalcante Lima (UFAM)
Jackson Douglas Silva da Paz (UFRR)
João Marinho Milhomem Neto (UFPA)
Joelson Lima Soares (UFPA)
Juliane Marques de Souza (UERR)
Lena Simone Barata (UFRR)
Lindaray Sousa da Costa (UFAM)
Lorena Malta Feitoza (UFRR)
Luiza Câmara Beserra Neta (UFRR)
Marcelo Lima Pinto (UFOB)
Marco Antonio de Oliveira (SGB-AM)
Maria Adelaide Mansini Maia (SGB-AM)
Maria Inês Feijó Ramos (MPEG)
Mayara Fraeda Barbosa Teixeira (UFAM)
Moacir José Buenano Macambira (UFPA)
Moeme da Silva Máximo Ramos (UFRR)
Patrícia Duringer Jacques (SGB-RJ)
Pedro Alves da Silva Filho (UFRR)
Raphael Di Carlo Silva dos Santos (UFAM)
Rick Souza de Oliveira (UFOPA)
Rielva Solimairy Campelo do Nascimento (UFAM)
Rosemery da Silva Nascimento (UFPA)
Rosemery Rocha Da Silveira (UFAM)
Samir do Nascimento Valcácio (UFRR)
Saulo Siqueira Martins (UFPA)
Stelio Soares Tavares Júnior (UFRR)
Tiago Felipe Arruda Maia (UFAM)
Vladimir de Araújo Távora (UFPA)
Vladimir de Souza (UFRR)
Zorano Sergio de Souza (UFRN)

Mensagem aos participantes do 18º Simpósio de Geologia da Amazônia

É com grande satisfação que apresentamos os Anais do 18º Simpósio de Geologia da Amazônia (SGA), realizado em Boa Vista (Roraima), entre os dias 26 a 29 de outubro de 2025, sob a organização da Sociedade Brasileira de Geologia – Núcleo Norte, em parceria com a Universidade Federal de Roraima (UFRR).

O Simpósio de Geologia da Amazônia consolidou-se, ao longo de suas edições, como o mais importante evento científico dedicado à discussão das questões geológicas que envolvem a região Amazônica. Trata-se de um espaço privilegiado para o intercâmbio de experiências, o fortalecimento de parcerias e a divulgação de resultados de pesquisas que contribuem para o avanço do conhecimento científico e para a formação de profissionais comprometidos com o desenvolvimento sustentável da Amazônia.

Além de sua relevância científica, esta edição reafirma também o compromisso com a equidade, a igualdade de oportunidades e a valorização da diversidade em todas as suas dimensões. Sob essa perspectiva, destaca-se o papel fundamental das mulheres na ciência, cuja participação ativa no 18° SGA reafirma a importância de promover um ambiente inclusivo, no qual diferentes vozes, saberes e trajetórias sejam respeitados e reconhecidos, fortalecendo uma geologia plural e conectada às realidades sociais, culturais e ambientais da Amazônia.

Nestes anais, reunimos trabalhos apresentados em diferentes modalidades, contemplando uma ampla variedade de temas, tais como: Geodiversidade, Ensino de Geociências e Divulgação Científica; Geologia Sedimentar, Estratigrafia e Paleontologia; Mineralogia, Petrologia, Tectônica e Evolução Geodinâmica; Geologia do Petróleo, Recursos Minerais e Energéticos; Recursos Hídricos, Geologia Ambiental e Geologia de Engenharia; Geofísica e Geotecnologias. Os artigos aqui publicados refletem a diversidade de abordagens, metodologias e perspectivas que caracterizam a atuação da comunidade científica na Amazônia.

A Comissão Organizadora e o Núcleo Norte da Sociedade Brasileira de Geologia agradecem a todos(as) os(as) autores(as), revisores(as), instituições/empresas apoiadoras e participantes que, com suas contribuições, tornaram possível a realização deste evento e a publicação destes anais. Esperamos que este material sirva como fonte de consulta, inspiração e referência para pesquisadores(as), estudantes e profissionais interessados(as) nas geociências amazônicas, fortalecendo uma ciência que seja ao mesmo tempo rigorosa, inclusiva e comprometida com a justiça social.

Desejamos a todos(as) uma excelente leitura.

Comissão Organizadora do 18º Simpósio de Geologia da Amazônia

Diretoria da Sociedade Brasileira de Geologia – Núcleo Norte

Sumário

ST1: GEODIVERSIDADE, ENSINO DE GEOCIÊNCIAS E DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA 16

GESTÃO TERRITORIAL PARA A GEOCONSERVAÇÃO - UMA ANÁLISE CIENTOMÉTRICA 17

A ÁGUA COMO PROTAGONISTA DA FORMAÇÃO E VALORIZAÇÃO DO PATRIMÔNIO HIDROLÓGICO EM PRESIDENTE FIGUEIREDO - AM 23

GEODIVERSIDADE NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PAIUÁ E UIRAMUTÃ, TERRA INDIGENA RAPOSA SERRA DO SOL, RORAIMA: POTENCIALIDADES PARA O GEOTURISMO COMUNITÁRIO 29

GEOEDUCAÇÃO POR MEIO DA TRILHA ECOLÓGICA DO IGARAPÉ ÁGUA BRANCA, MANAUS (AM). 36

GEOLOGIA UNIFESSPA: 20 ANOS EM RETROSPECTIVA 44

UTILIZAÇÃO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL GENERATIVA NA PRODUÇÃO DE MATERIAIS DIDÁTICOS GEOLÓGICOS PARA CRIANÇAS INDÍGENAS DO MUNICÍPIO DE UIRAMUTÃ (RR) 51

ÓLEOS LUBRIFICANTES E A SUSTENTABILIDADE: DESENVOLVIMENTO DE PLATAFORMA DIGITAL COMO MEIO DE DIVULGAÇÃO SOCIAL PARA USO E DESCARTE DE RESÍDUOS 58

PALEONTOLOGIA NA ESCOLA: UMA PROPOSTA LÚDICA COM PINTURAS DE RÉPLICAS DE FÓSSEIS NO MUNICÍPIO DE PORTO VELHO(RO) 64

ESPAÇO ARQUITETÔNICO DO MUSEU DE GEOCIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA-MuGEO 71

CIÊNCIA CIDADÃ EM AÇÃO: A ATUAÇÃO DO PET GEOLOGIA EM PRESIDENTE FIGUEIREDO 77

ROTEIRO GEOLÓGICO DE RORAIMA: UM PERFIL GEOESTRUTURAL PASSANDO DA CROSTA PROFUNDA ATÉ AS SUCESSÕES SUPRACRUSTAIS NA PORÇÃO CENTRAL DO ESCUDO DAS GUIANAS 83

DIVULGAÇÃO DO TADP (TRANSAMAZON DRILLING PROJECT) USANDO FERRAMENTAS INTERATIVAS 89

MÁQUINA DE CIÊNCIAS DA TERRA. 95

ROCHAS QUE CONTAM HISTÓRIAS: LITOLOGIA, IDENTIDADE E EDUCAÇÃO PATRIMONIAL NO CEMITÉRIO SÃO JOÃO BATISTA/MANAUS 101

MAPA GEOLOGICO E DE RECURSOS MINERAIS DO ESTADO DE RONDÔNIA... 108

PROCESSOS E IMPACTOS NA CONSTRUÇÃO COLABORATIVA DE PRODUTOS DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA PARA O TRANS-AMAZON DRILLING PROJECT (TADP) 114

Sumário

AMPLIAÇÃO E MODERNIZAÇÃO DA COLEÇÃO DIDÁTICA DE ROCHAS METAMÓRFICAS DA FAGEO/UFPA: APLICAÇÕES NO ENSINO DE GEOCIÊNCIAS 121

INOVAÇÕES EM GEOTECNOLOGIAS PARA INTERPRETAÇÃO E VALORIZAÇÃO DE GEOSSÍTIOS NO GEOPARQUE CACHOEIRAS DO AMAZONAS 127

A CONTRIBUIÇÃO DO PET-GEOLOGIA NA FORMAÇÃO PROFISSIONAL POR MEIO DA PARTICIPAÇÃO EM EVENTOS CIENTÍFICOS 133

ST2: GEOLOGIA SEDIMENTAR, ESTRATIGRAFIA E PALEONTOLOGIA ... 139

CONSIDERAÇÕES PALINOLÓGICAS E PALEOAMBIENTAIS DA FORMAÇÃO SOLIMÕES NA REGIÃO DO MÉDIO RIO NEGRO, BARCELOS (AMAZONAS) ... 140

A INFLUÊNCIA DO INTEMPERISMO EM INDICADORES DE PROVENIÊNCIA: UM PROJETO DE PESQUISA A SER REALIZADO EM DEPÓSITOS NO MIOCENO DA BACIA DO ACRE E NO PLEISTOCENO DA BACIA DO SOLIMÕES, AMAZÔNIA OCIDENTAL 146

PALEOSSOLOS EM DEPÓSITOS MIOCÊNICOS DA BACIA DO ACRE, NAS PROXIMIDADES DE CRUZEIRO DO SUL – AC 152

INTERPRETAÇÃO FACIOLÓGICA E GEOCRONOLÓGICA DA FORMAÇÃO BOA VISTA (QUATERNÁRIO), BACIA DO TACUTU, RORAIMA 158

MAPEAMENTO GEOLÓGICO DA FOLHA VILA APUÍ SB.21-Y-C-I, ESCALA 1:100.000, AMAZÔNIA CENTRAL: AVANÇOS NA LITOESTRATIGRAFIA DA BORDA NW DA BACIA DO ALTO TAPAJÓS 164

FIRST FOSSIL RECORD OF ARAUCARIACEAE CONES FROM THE SERRA DO TUCANO FORMATION (LOWER CRETACEOUS), TAKUTU BASIN, RORAIMA, BRAZIL 171

DEPÓSITOS SEDIMENTARES QUATERNÁRIOS DA REGIÃO DE CONFLUÊNCIA DOS RIOS NEGRO, BRANCO E JAUAPERI, AMAZÔNIA OCIDENTAL 177

ARCABOUÇO CRONOESTRATIGRÁFICO E LATERITIZAÇÃO: CASO DE FERRICRETES NA CIDADE DE BOA VISTA, RORAIMA 184

PROVENIÊNCIA SEDIMENTAR DOS CONGLOMERADOS DIAMANTÍFEROS DA FORMAÇÃO CABO SOBRAL, SERRA DO TEPEQUÉM, SEQUÊNCIA SEDIMENTAR PALEOPROTEROZOICA DO ESCUDO DAS GUIANAS, CRÁTON AMAZÔNICO: RESULTADOS PRELIMINARES 189

CONSIDERAÇÕES SOBRE A TAFONOMIA DOS ICNOFÓSSEIS DE SAURÓPODES NA BACIA DO TACUTU: DIFERENCIANDO PEGADAS DE MARMITAS 197

Sumário

PERFIS DE RAIOS-GAMA REVELAM CICLOS ORBITAIS EM DEPÓSITOS DO MIOCENO MÉDIO NA BACIA DO SOLIMÕES, AMAZÔNIA OCIDENTAL 204

INCURSÕES MARINHAS NO NEÓGENO DA AMAZÔNIA OCIDENTAL: EVIDÊNCIAS MICROPALEONTOLÓGICAS E GEOQUÍMICAS..... 209

ST3: MINERALOGIA, PETROLOGIA, TECTÔNICA E EVOLUÇÃO GEODINÂMICA 215

RARE AND POTENTIALLY NEW ACCESSORY MINERALS IN THE METAGABBRO OF THE NORTHERN OF GUIANA PROTEROZOIC GREENSTONE SHIELD (REPUBLIC OF GUYANA, SOUTH AMERICA) 216

METAMORPHIC EVOLUTION AND RODINGITE ALTERATION OF A METAGABBRO IN THE PALEOPROTEROZOIC GREENSTONE BELT OF THE BARAMA-MAZURINI SUPERGROUP, GUYANA..... 222

SOSDIUM-RICH GOLD-BEARING METAMORPHIC ROCKS OF NORTHERN GUYANA, GUIANA SHIELD: MINERALOGY, PETRO-GRAPHY AND ORIGIN....229

ANÁLISE PETROGRÁFICA E ESTRUTURAL DO GABRO CERRO FRONTINO, CORDILHEIRA OCIDENTAL, COLÔMBIA 237

MAGMATISMO BIMODAL SERRA DA PROVIDÊNCIA: EVIDÊNCIAS PETROGRÁFICAS DE MISTURA DE MAGMAS NO CORPO VILA MARAVILHA, CENTRO-SUL DO CRÁTON AMAZONAS 244

METAMORFISMO REGIONAL E DEFORMAÇÃO TECTÔNICA POLIFÁSICA DAS ROCHAS DA SERRA TEPEQUÉM (RR)..... 251

ANÁLISE ESTRUTURAL E DEFORMAÇÃO RÚPTIL NA REGIÃO PERIURBANA DE MANAUS 257

RECONSTRUCTING PALEOPROTEROZOIC VOLCANIC ENVIRONMENTS: ERUPTIVE STYLES AND EVIDENCE OF PHREATOMAGMATISM IN THE AMAZONIAN CRATON'S COLÍDER GROUP 263

CARACTERIZAÇÃO GEOFÍSICA, GEOLÓGICA E PETROGRÁFICA DAS ROCHAS VULCÂNICAS E SEDIMENTARES DAS PROXIMIDADES DE NOVO PROGRESSO, ESTADO DO PARÁ 269

MAPA GEOLÓGICO DA REGIÃO NORTE DO BRASIL, ESCALA 1:2.500.000: METODOLOGIA E COMPARTIMENTOS GEOLÓGICOS 275

MINERALOGIA DO MINÉRIO DE MANGANÊS DO DEPÓSITO MOEMA, NOROESTE DO MUNICÍPIO DE MARABÁ-PA..... 280

ANÁLISE ESTRUTURAL E METAMÓRFICA DO COMPLEXO CAUARANE: EMBASAMENTO PARADERIVADO DO CINTURÃO RIO URUBU 288

Sumário

QUÍMICA MINERAL E TERMOBAROMETRIA DE GNAISSES CHARNOCKÍTICOS DA PORÇÃO LESTE DE RORAIMA 296
STRAIN EM WIBORGITO DO COMPLEXO MUCAJAÍ, RR..... 303
CARACTERIZAÇÃO DOS MIGMATITOS DO CINTURÃO RIO URUBU, RORAIMA CENTRAL: ANÁLISE DE CAMPO E MICROESTRUTURAL 313
IDADE DAS CROSTAS LATERÍTICAS NO CENTRO-NORTE DA AMAZÔNIA ... 319
PETROGRAFIA DAS ROCHAS VULCÂNICAS MESOPROTEROZOICAS DO SUDESTE DO AMAZONAS, PROVÍNCIA RONDONIA-JURUENA..... 326
GUYANA GEOLOGY REVISION BASED ON THE BRAZIL-GUYANA BORDER GEOLOGICAL MAPPING PROJECT AND RECENT AGE DATING RESULTS ..332
AS ROCHAS CHARNOCKÍTICAS DA REGIÃO DE FRONTEIRA BRASIL-GUIANA, PORÇÃO CENTRAL DO ESCUDO DAS GUIANAS: PETROGRAFIA, LITOQUÍMICA E GEOCRONOLOGIA 336
A ANATOMIA DE UM DOMO: MAPEAMENTO GEOLÓGICO DE DETALHE NO DOMO DE MONTE ALEGRE, BORDA NORTE DA BACIA DO AMAZONAS, PARÁ..... 344
THE GEOLOGY OF THE BRAZIL – GUYANA BORDER REGION..... 350
MAGMATIC EPIDOTE AS A PROXY OF DEEP AND OXIDIZED MAGMATISM IN THE PALEOPROTEROZOIC BACAJÁ DOMAIN, SE AMAZONIAN CRATON .. 357
GEOLOGIA E PETROGRAFIA DE GRANITOS OROSIRIANOS DO SÍTIO ARQUEOLÓGICO ARARA VERMELHA 364
CARTOGRAFIA GEOLÓGICA DO DOMINIO CARAJÁS, SUDESTE DO PARÁ.. 371
ASSOCIAÇÃO CHARNOCKÍTICA DA PORÇÃO CENTRAL DO MUNICÍPIO DO CANTÁ – RORAIMA - GEOLOGIA, PETROGRAFIA E MECANISMOS DE DEFORMAÇÃO 376
IDADE (U-Pb) E PROVENIÊNCIA DO GRUPO TARTARUGALZINHO, PALEOPROTEROZOICO DO SUDESTE DO ESCUDO DAS GUIANAS 383
MAPEAMENTO GEOLÓGICO E PETROGRAFIA DO MAGMATISMO UATUMÃ DA PORÇÃO NORTE DA VILA NOVO PARAÍSO - SUDESTE DO ESTADO DE RORAIMA..... 389
MIGMATITOS DA PORÇÃO NORTE DO ORTOGNAISSE URUARÁ, DOMÍNIO BACAJÁ, PROVÍNCIA TRANSAMAZONAS, CRATÓN AMAZÔNICO 395
FOLIAÇÕES EM CHARNOCKITOS DA SERRA BARAÚNA: CARACARAÍ, RR .. 402
MIGMATITOS GERADOS POR WATER-FLUXED MELT NO SUDESTE DE RORAIMA..... 408
CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL DE ROCHAS PARADERIVADAS NA SERRA DO CAURANE - AMAJARI-RR 414

Sumário

MECANISMO DE DEFORMAÇÃO EM MICROESCALA DE ROCHAS DE ZONAS DE CISALHAMENTO DA REGIÃO SUL DE URUARÁ, PORÇÃO NOROESTE DO DOMÍNIO BACAJÁ, PROVÍNCIA TRANSAMAZONAS 419

REGISTROS DE ESTRUTURAS TECTÔNICAS EM SEDIMENTOS: MANAUS – AM... 425

CARACTERIZAÇÃO DE FÁCIES DO VULCANO-PLUTONISMO CALIMIANO DA REGIÃO SUDESTE DO AMAZONAS 432

VULCANISMO DA SUÍTE SERRA DA PROVIDÊNCIA NO CENTRO LESTE DE RONDÔNIA E SUAS RELAÇÕES COM O VULCANISMO ESTATERIANO NA PROVÍNCIA RONDÔNIA-JURUENA 439

PETROGRAFIA E LITOGEOQUÍMICA DA SUÍTE RIO URUBU NA REGIÃO DA SERRA DA LUA, RORAIMA 446

PETROGRAFIA DO GRANITO SANT'ANA, NOROESTE DO DOMÍNIO BACAJÁ, SUL DE URUARÁ-PA..... 453

CRUSTAL REWORKING IN COLLISONAL SETTINGS: INSIGHTS FROM ZIRCON AND TITANITE U-Pb GEOCHRONOLOGY AND Hf-Nd ISOTOPES IN RHYACIAN HIGH-K CALC-ALKALINE GRANITES FROM SOUTHERN BACAJÁ DOMAIN 460

MAPEAMENTO GEOLÓGICO DO LESTE DA SERRA DA LUA, MUNICÍPIOS DE CANTÁ E BONFIM, LESTE DE RORAIMA, NORTE DO BRASIL 467

LA ESTRUCTURA S-C COMO INDICADOR CINEMÁTICO DE LA CIZALLA OBLICUA, SAN RAMÓN-SAN JAVIER, ESCUDO PRECÁMBRICO, SANTA CRUZ, BOLÍVIA..... 475

CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E ESTRUTURAL DA PORÇÃO CENTRAL DA FOLHA NA-20-X-D-VI - REGIÃO SERRA DA LUA 481

GEOLOGIA E PETROGRAFIA DOS GRANITOS RAPAKIVI E ASSOCIAÇÕES CHARNOCKÍTICAS DO CORPO SERRA GRANDE DO CANTÁ..... 490

ST4: GEOLOGIA DO PETRÓLEO, RECURSOS MINERAIS E ENERGÉTICOS 497

CAULIM: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E UM ENSAIO GEOESTATÍSTICO COM TESTEMUNHOS DE SONDAGEM DA REGIÃO DO RIO CAPIM-PA 498

MAPA DE PROSPECTIVIDADE DA REGIÃO DE FILADÉLFIA, MT 505

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL GERADOR DE HIDROCARBONETOS E DO PALEOAMBIENTE DA FORMAÇÃO PIRARA – BACIA DO TACUTU 511

POTENCIAL METALOGENÉTICO DE ROCHAS MÁFICAS, ULTRAMÁFICAS E PRODUTOS INTEMPÉRICOS ASSOCIADOS NA REGIÃO DA SERRA DA LUA, RORAIMA..... 516

SEQUÊNCIAS CARBONÁTICAS DA BACIA DO CACHIMBO NO AMAZONAS: UMA AVALIAÇÃO PARA MINERALIZAÇÃO SULFETADA POLIMETÁLICA ... 523

OCORRÊNCIA DE OURO HIDROTERMAL ASSOCIADO A ROCHAS METAVULCÂNICAS DO CINTURÃO ÍGNEO OROCAIMA NO ESTADO DE RORAIMA..... 533

Sumário

ANÁLISE DOS MINERAIS PESADOS NO BAIXO CURSO DO RIO MUCAJAÍ NA REGIÃO DO PAREDÃO, MUNICÍPIO DE ALTO ALEGRE - RORAIMA..... 541
TECNOLOGIA SUSTENTÁVEL: PROTÓTIPO DE BIODIGESTOR CASEIRO PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS E BIOFERTILIZANTE NO MUNICÍPIO DE BOA VISTA/RR..... 546
CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E GEOQUÍMICA DE METAIS DAS ROCHAS VULCÂNICAS HIDROTERMALIZADAS DO GARIMPO DO GAVIÃO, SUDESTE DO AMAZONAS 555
MAPA DE RECURSOS MINERAIS DO ESTADO DE RORAIMA EM ESCALA 1:1.000.000: UMA NOVA INTEGRAÇÃO 562
O DEPOSITO DE OURO CUADRAZON NO CERRO FRONTINO: COLÔMBIA .. 568
O OURO PRIMÁRIO DA SERRA DO ATOLA, NORMANDIA–RORAIMA..... 577

ST5: RECURSOS HÍDRICOS, GEOLOGIA AMBIENTAL E GEOLOGIA DE ENGENHARIA.....584
IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DO GARIMPO DE OURO NO RIO MADEIRA COM IMAGENS DE RADAR E ÓPTICAS: ASPECTOS HIDRODINÂMICOS, GEOMORFOLÓGICOS E GEOLÓGICOS 585
USO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E GRAU DE EXPOSIÇÃO NA ÁREA URBANA DA SEDE MUNICIPAL DE CASTANHAL (PA) 592
LEVANTAMENTO GEOQUÍMICO AMBIENTAL NO ENTORNO DAS COMUNIDADES INDÍGENAS MATURACÁ E ARIABU, TERRA INDÍGENA YANOMAMI, ESTADO DO AMAZONAS..... 599
DEGRADAÇÃO AMBIENTAL POR MINERAÇÃO NO DISTRITO DO LOURENÇO (AP): MAPEAMENTO E QUANTIFICAÇÃO COM SENSORIAMENTO REMOTO..... 605
METAIS E RADÔNIO EM ÁGUAS DO DISTRITO GARIMPEIRO DE LOURENÇO, CALÇOENE (AP)..... 612
A OBSOLESCÊNCIA PROGRAMADA E SEUS IMPACTOS AO AMBIENTE NA ATUALIDADE 620
DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS/RURAIS NO EXTREMO NORTE DO ESTADO DE RORAIMA: MUNICÍPIO DE UIRAMUTÃ..... 627
ANÁLISE HISTÓRICA DOS EVENTOS HIDROCLIMÁTICOS EXTREMOS NA CALHA DO RIO NEGRO ENTRE 1980 E 2020 634
ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS DO AQUIFERO ALTER DO CHÃO NA ÁREA DO DISTRITO INDUSTRIAL DE MANAUS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO EDUCANDOS..... 640
ANÁLISE PRELIMINAR DO CICLO HIDROLÓGICO EM AQUÍFEROS FREÁTICOS NA REGIÃO DE CRUZEIRO DO SUL E RODRIGUES ALVES, ACRE..... 648
EL NIÑO E A LOGÍSTICA DO PETRÓLEO: LEVANTAMENTO DAS INFLUÊNCIAS DO FENÔMENO NA DISTRIBUIÇÃO DE ÓLEO E GÁS NO INTERIOR DO AMAZONAS 654

Sumário

HIDROGEOQUÍMICA E ISOTOPIA DE ÁGUA SUPERFICIAL, SUBTERRÂNEA E DA CHUVA NA REGIÃO DE BAGRE, PA, BACIA DO MARAJÓ 661
CARTAS DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA E INUNDAÇÕES: IRANDUBA (AM) 668
ANÁLISE HIDROQUÍMICA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA PROVENIENTE DO AQUÍFERO ALUVIONAR E ALTER DO CHÃO NA REGIÃO DE ANAVILHANAS, MUNICÍPIO DE NOVO AIRÃO – AMAZONAS 674
A IMPORTÂNCIA DA MANUTENÇÃO E LIMPEZA PREVENTIVA DE POÇOS TUBULARES NO ESTADO DO AMAZONAS 681
ANÁLISE MULTITEMPORAL DA MICROBACIA ÁGUA BRANCA, PORÇÃO OESTE DE MANAUS (AM), A PARTIR DE IMAGENS PLANET NO PERÍODO DE 2022 A 2024 687
PANORAMA DA DINÂMICA HIDROSEDIMENTOLÓGICA DO RIO BRANCO: DADOS PRELIMINARES..... 691
AVALIAÇÃO DE MUDANÇAS GEOMORFOLÓGICAS A PARTIR DA INTEGRAÇÃO DE DADOS HIDRO SEDIMENTARES E MULTITEMPORAIS ENTRE CRUZEIRO DO SUL E CARAUARI, NO RIO JURUÁ..... 698
DINÂMICA ESPACIAL E TEMPORAL DA MATÉRIA ORGÂNICA DISSOLVIDA COLORIDA (ACDOM) NO RIO NEGRO IMAGENS SENTINEL-2ª 704
ESTIMATIVA DE RECARGA DO AQUÍFERO FREÁTICO NA COMUNIDADE ASSUNÇÃO DO IÇANA, MUNICÍPIO DE SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA (AM) 711
ANÁLISE GEOECOLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA IGARAPÉ GRANDE (BOA VISTA, RORAIMA)..... 718
A PAISAGEM DA PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO DA MICROBACIA DO IGARAPÉ CARRAPATO, MUNICÍPIO DE BOA VISTA – RORAIMA..... 724
ESTUDO GRAVIMÉTRICO NA ÁREA DE DISPOSIÇÃO MUNICIPAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO CANTÁ, RORAIMA, BRASIL..... 731
AVALIAÇÃO DE RISCO GEOLÓGICO DOS ATRATIVOS GEOTURÍSTICOS DA SERRA DO TEPEQUÉM, AMAJARI (RR) 739
SUSCETIBILIDADE AO RISCO HIDROLÓGICO EM ÁREA URBANA DA CIDADE DE MANAUS..... 745
BREVE ANÁLISE DAS TENDÊNCIAS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA AMAZÔNIA 752

ST6: GEOFÍSICA E GEOTECNOLOGIAS 757

INTERPRETAÇÃO INTEGRADA ENTRE DADOS DE SONDAGEM ELÉTRICA ERTICAL E SPT EM AMBIENTE URBANO: ESTUDO DE CASO EM MANAUS/AM 758

Sumário

AEROGEOFISICA COMO SUPORTE PARA O MAPEAMENTO GEOLÓGICO NO PROJETO FAIXA ROOSEVELT GUARIBA SUDESTE DO AMAZONAS 767
GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AO MAPEAMENTO GEOLÓGICO NA ILHA DE COTIJUBA (BELÉM/PA) 73
TOMOGRAFIA GEOELÉTRICA (ERT) APLICADA AO MONITORAMENTO DE RECARGA ARTIFICAL DO AQUÍFERO ALTER DO CHÃO NA ÁREA DA RESERVA FLORESTAL ADOLPHO DUCKE, NORTE DE MANAUS – AM..... 780
ASSINATURA GEOFÍSICA DAS ROCHAS BASÁLTICAS DA FORMAÇÃO APOTERI, BACIA DO TACUTU – RORAIMA 788
GEOFÍSICA AMBIENTAL EM ANTIGA ÁREA DE DISPOSIÇÃO MUNICIPAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE BOA VISTA, RORAIMA, BRASIL 795
FOTOINTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA NO MAPEAMENTO GEOTECTÔNICO: UMA ABORDAGEM INTEGRADA DE MORFOESTRUTURAS DE RELEVO E TECTÔNICA NO CINTURÃO INTRUSIVO OROCAIMA, RORAIMA 801
AMBIENTAÇÃO HIDROGEOLÉTRICA DA FAIXA URBANA DO SISTEMA AQUÍFERO
BOA VISTA: MUNICÍPIO DE BOA VISTA/RR 807
INTERPRETAÇÃO AEROMAGNÉTICA DA PROVÍNCIA RONDÔNIA-JURUENA UTILIZANDO A AMPLITUDE E FASE DO SINAL ANALÍTICO 814
ESTUDO LITOLÓGICO E ESTRUTURAL DA SERRA DA BALATA NO MUNICÍPIO DE CANTÁ, RORAIMA, PELA INTEGRAÇÃO DE DADOS ÓPTICOS, MODELOS DE
ELEVAÇÃO E DADOS AEROGEOFÍSICOS 822
EVIDÊNCIAS DE NEOTECTÔNICA NA FORMAÇÃO BOA VISTA E SUAS IMPLICAÇÕES NA DINÂMICA DO GRÁBEN DO TACUTU, CENTRO-NORTE DE RORAIMA..... 829

ST1: GEODIVERSIDADE, ENSINO DE GEOCIÊNCIAS E DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA

GESTÃO TERRITORIAL PARA A GEOCONSERVAÇÃO - UMA ANÁLISE CIENTOMÉTRICA

Maria Cristiane Melo Costa Silva[1]; Raimundo Humberto Cavalcante Lima[1, 2]

[1]Programa de Pós Graduação em Geociências;[2] Departamento de Geociências da Universidade Federal do Amazonas - UFAM

maria-cristiane.silva@ufam.edu.br; humbertoclima@ufam.edu.br

RESUMO

A gestão territorial no estado do Amazonas é um tema complexo que envolve questões como desmatamento, conflitos fundiários, terras indígenas, mineração e invasões de terras rurais e urbanas, resultando em sérios problemas ambientais. Para mitigar esses impactos, o governo criou Unidades de Conservação (UCs). No entanto, segundo Santos (2013), a política estadual de meio ambiente ainda enfrenta dificuldades em superar problemas fundiários e falhas nos mecanismos de controle e fiscalização que são condições essenciais para a eficácia das UCs de uso sustentável. Diante disso, o desenvolvimento sustentável surge como uma alternativa viável para alcançar uma gestão territorial eficiente, integrando geoconservação e desenvolvimento econômico. Nesse contexto, os geoparques da UNESCO representam uma estratégia inovadora de Gestão Integrada do Território (GIT), aliando proteção do patrimônio geológico à sustentabilidade das regiões onde estão inseridos (Silva *et al*., 2024). Nesse estudo, elaborou-se a estratégia de compreender como o tema gestão territorial é abordado nos países das Américas e em Portugal, com o objetivo de identificar sua relevância em locais que vêm implantando geoparques da UNESCO ao longo dos últimos anos, por meio de uma análise cientométrica. De acordo com Parra *et al*. (2019), a cientometria é um ramo da ciência que se dedica à mensuração e à quantificação do progresso científico, tendo como base indicadores bibliométricos. Para essa análise, as produções cientificas foram obtidos nas bases Web of Science e Scopus e processados no software VOSviewer. O mapa gerado revela o Canadá como país central nas publicações sobre gestão territorial, sugerindo que suas produções podem servir de referência relevante para o aprofundamento do tema no contexto amazônico. No entanto, a geoconservação não foi identificada como palavra de relevância nas produções inseridas no VOSviewer, constituindo, portanto, um tema a ser melhor explorado tanto no Brasil quanto nos demais países analisados.

Palavras-chave: Gestão territorial; geoconservação; Geoparque Cachoeiras do Amazonas.

INTRODUÇÃO

Conforme Resende *et al* (2017), a gestão territorial, refere-se aos processos de tomada de decisão dos atores sociais, econômicos e institucionais de um determinado âmbito espa-

cial, sobre a apropriação e uso dos territórios, com vistas à definição de estratégias de desenvolvimento. No entanto, para implantar estratégias de desenvolvimento, há que se considerar que ele seja feito de forma sustentável frente aos desafios ambientais enfrentados na região amazônica e atendendo a requisitos que promovam a geoconservação. A geoconservação tem como objetivo conservar a diversidade natural de significativos aspectos e processos geológicos, geomorfológicos e de solos, garantindo a manutenção da história de sua evolução (Sharples, 2002). No entanto, a geoconservação, por sua vez, traz inúmeras dificuldades para ser implantada no estado do Amazonas. Segundo Lima *et al* (2023) no Amazonas, os projetos de conservação priorizam políticas para a biodiversidade, frequentemente negligenciando o meio abiótico. Embora as UC´s tenham sido criadas pelo governo na tentativa de promover a proteção ambiental (BRASIL, 2000), em muitos casos, esse processo de proteção tem sido acompanhado da desterritorialização de grupamentos sociais, em várias partes do mundo (Teixeira *et al*, 2017).

Nesse contexto, o geoparque é um modelo de gestão territorial baseado na conservação, valorização, promoção e uso do patrimônio geológico, biológico (fauna e flora), cultural (arqueológico, arquitetônicos e gastronômicos, etc.). Este modelo é aplicável em territórios com fronteiras bem definidas e tem como objetivo o desenvolvimento sustentável, pautado na diversificação e dinamização das economias locais, passando pelo geoturismo e pela educação para a cidadania (Brilha, 2016).

Ainda segundo Resende *et al* (2017), cabe destacar que a implantação de um geoparque, tanto urbano como rural, implica compreender o processo de ocupação e uso do solo e suas consequências socioambientais. Dessa forma, justifica-se o estudo da gestão territorial como premissa para implantação de um geoparque.

Além disso, a implantação de um geoparque requer estudos não apenas de inventariação científica, mas também aqueles de cunho social pois sua implantação depende do envolvimento das comunidades e de como são geridos seus territórios. Nesse sentido, o objetivo desse estudo é entender como, internacionalmente, territórios tratam o tema gestão territorial em países que possuem geoparques e desse modo, através de analogias, obter informações acerca de características que possam ser comparadas com a realidade amazônica. Nesse estudo, foram escolhidos os países que possuem geoparques nas Américas, por estarem mais próximos das culturas, biodiversidade e geodiversidade da Amazônia e Portugal, pela similaridade da língua e pelos casos de sucesso na implantação de geoparques.

Os países da América do Norte, Central e do Sul que possuem geoparques em seus territórios são: Canadá (5), Nicarágua (1), México (2), Chile (1), Equador (3), Uruguai (1), Peru (1) e Brasil (6). Esses países, juntamente com Portugal, que também possui seis geoparques, constituíram o grupo cujas produções científicas foram analisadas de forma quantitativa.

Segundo Parra *et al*. (2019), é relevante avaliar quantitativamente os dados de produção científica, a fim de compreender os processos de consolidação da ciência e a forma como esse mecanismo se organiza. Nesse sentido, a cientometria foi adotada como método para analisar, de maneira quantitativa, quais termos têm sido destacados de forma recorrente no tema gestão territorial nos países selecionados.

MATERIAIS E MÉTODOS

O método adotado fundamenta-se na aplicação da cientometria, a partir de dados bibliométricos, para a elaboração de um mapa em rede que subsidiou a posterior interpretação dos resultados. Para tanto, as produções científicas foram previamente coletadas nas bases de dados Web of Science e Scopus e, em seguida, exportadas para o software VOSviewer (Visualization of Similarities), versão 1.6.20 (Van Eck; Waltman, 2023), a fim de gerar o mapa baseado na matriz de coocorrência de itens — neste caso, as palavras-chave. Para a obtenção das produções científicas foi utilizado como palavra-chave o termo "gestão territorial" (land management) seguido pelo nome do país e obtidas as seguintes quantidades de produções cientificas no WoS e Scopus, respectivamente: Portugal (270;148), Brazil (110;370), México (611;354), Canadá (655;498), Ecuador (107;84), Peru (78;59), Chile (88;65), Nicarágua (20;14), Uruguay (24;22). Vale salientar que as produções analisadas foram publicadas no período de 01/01/2000 a 01/03/2025, uma vez que, a partir do ano 2000, foram implantados os primeiros geoparques no mundo, com a fundação da Rede Europeia de Geoparques (Ferreira, 2020). As produções foram exportadas para o VOSviewer por meio dos formatos .txt (para a Web of Science) e .csv (para a Scopus).

Posteriormente, seguiu-se a sequência de procedimentos no software: *Create → Create a map based on text data → Read data from bibliographic database files*, selecionando-se, então, os arquivos exportados do WoS e da Scopus. Em seguida, foi definido o limiar mínimo de 8 ocorrências, a partir do qual foram identificados 94 termos. Com base na pontuação de relevância calculada pelo VOSviewer, foram selecionados os 60% mais representativos (56 termos), de modo a assegurar maior coerência e consistência analítica sem comprometer a qualidade dos resultados.

Na configuração final, o VOSviewer agrupou os termos considerando a frequência de coocorrência em títulos, resumos e palavras-chave das produções científicas. Na visualização resultante, cada nó corresponde a uma palavra-chave, enquanto as conexões representam a coocorrência entre os termos. O tamanho dos nós reflete a frequência de ocorrência, e as cores dos agrupamentos (clusters) indicam subconjuntos temáticos de termos que aparecem juntos com maior regularidade, evidenciando diferentes linhas de pesquisa dentro da área de estudo.

RESULTADOS

O mapa apresentado na Figura 1 revela o destaque dos países Canadá, Brasil, Chile e Peru, em contraste com Portugal, Nicarágua, Equador, Uruguay e México (citado como "new mexico"). O termo "canada" aparece como o elemento central da rede acompanhado por "study" e "use". Em relação aos agrupamentos temáticos, temos o *cluster* vermelho associado principalmente as palavras: "Chile", "Peru", *"climate change", "water", "case", "sustainability", "sustainable land management", "context" "payment"*. O *cluster* verde reúne principalmente as palavras: *"protect área", "use", "risk", "response", "land cover change",deforestation", "brazilian amazon"* e *"brazilian cerrado"*. O cluster azul escuro, as palavras: "*effect", "erosion", "relationship", "vegetacion", "land cover" "soil propert"*. O *cluster* roxo, as palavras: *"new mexico", "usa", "response", "water quality" e "study"* e o *cluster* laranja as palavras: *"state",* "são paulo" e *"public land"*.

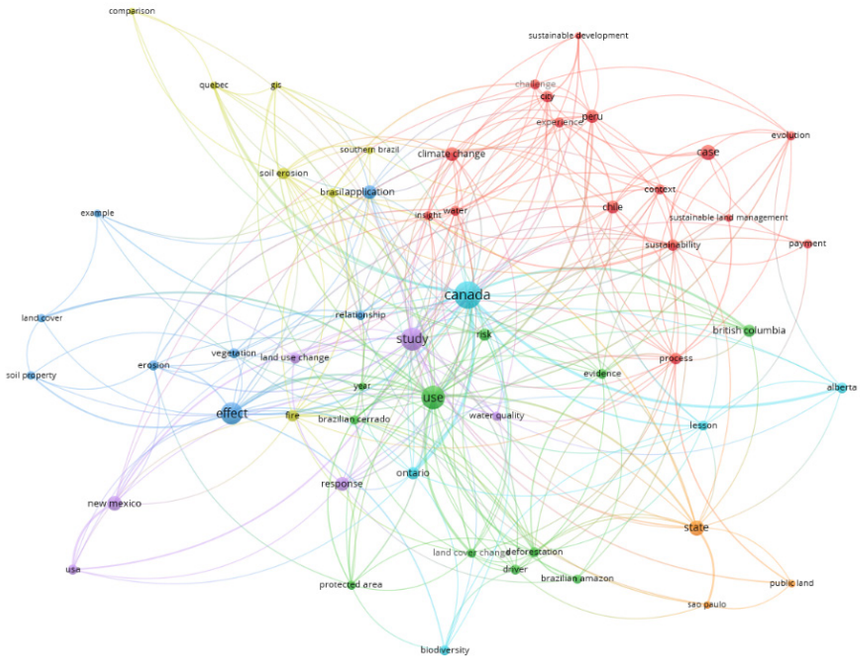


Figura 1 – Mapa de coocorrências de palavras-chave.

DISCUSSÕES

Embora outros países tenham sido incluídos como critérios de busca, a visibilidade dos termos no mapa depende de sua ocorrência explícita e frequente nos metadados dos documentos, por isso, países como Portugal e México não aparecem no mapa, mesmo com um número expressivo de artigos incluídos na base, o que sugere uma sub-representação nos títulos e palavras-chave desses estudos.

Da mesma forma, o termo geodiversidade não apresentou frequência suficiente para aparecer no mapa, indicando sua baixa relevância quantitativa. Ao contrário da palavra biodiversidade que além de aparecer no mapa, apresenta conexões com Canadá e suas províncias Alberta e Ontário, salientando-se que o Canadá tem destaque central no tema gestão territorial.

A palavra efeito (*"effect"*) aparece de forma relevante no mapa e atrelada aos termos erosão, vegetação e cobertura do solo, sendo que sua proximidade com o termo cerrado do Brasil sugere que haja consequências (efeitos) devido a forma que a gestão territorial está sendo feita.

O Peru e o Chile aparecem próximos no mapa e associados aos termos mudanças climáticas e água, além de relacionados a sustentabilidade, manejo sustentável do solo, desenvolvimento sustentável, experiência e evolução. Esse posicionamento sugere que suas produções científicas não apenas identificam problemas ambientais, mas também abordam soluções sustentáveis vinculadas à gestão territorial. A expressão *Amazônia brasileira* aparece no mapa com relevância, embora não de forma dominante, estando associada a termos como *desflorestamento*, *mudança da cobertura do solo* e *uso* ("use"). Essa associação revela a preocupação dos autores com as dinâmicas de uso do solo e sua interface com a gestão territorial. Essa temática também se estende ao *Cerrado brasileiro* e às *áreas protegidas*, assuntos amplamente discutidos no contexto do desenvolvimento sustentável de zonas rurais. Nessas regiões, encontram-se locais de elevado interesse ambiental e geoturístico, que podem ser inventariados com vistas à sua futura inclusão na proposta do Geoparque Cachoeiras do Amazonas.

CONCLUSÕES

A análise cientométrica elaborada pelo software VoSviewer a partir de dados bibliométricos das bases de dados WoS e Scopus no período de 01/01/2000 a 01/03/2025, revelou como as produções cientificas relacionadas ao tema gestão territorial em determinados países das Américas do Norte, Central, Sul e Portugal, retratam problemas recorrentes como desflorestamento, vegetação, erosão, mudanças climáticas, riscos, uso da água e sobretudo biodiversidade. O Canadá se destaca com grande relevância em comparação aos demais países, indicando que suas produções científicas podem servir como referência para pesquisas voltadas à gestão territorial. Por outro lado, o termo *geoconservação* não aparece no mapa de coocorrências, o que revela uma lacuna importante: estudos sobre a conservação do patrimônio geológico ainda são pouco explorados, especialmente no Brasil e em âmbito internacional. Essa ausência é significativa, sobretudo considerando que as bases de dados analisadas são majoritariamente compostas por publicações em inglês. Em contrapartida, os temas *sustentabilidade* e *desenvolvimento sustentável* estão presentes nas produções científicas da América do Sul, o que é bastante relevante, dado o papel central desses conceitos na gestão territorial e na implementação de geoparques.

REFERENCIAS BILIOGRÁFICAS

Brasil. Lei *nº 9.985, de 18 de julho de 2000*. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos i, ii, iii e vii da constituição federal, institui o sistema nacional de unidades de conservação da natureza e dá outras providências. Diário oficial da união: seção 1, Brasília, DF, 19 jul. 2000. Disponível em:https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm. Acesso em: 12/05/2025.

Brilha, J.B.R. (2016). Inventory and quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: a review. Geoheritage, v. 8, n.2, p.119-134.

Ferreira, D. R.; Martinello, A. S.; Valdati, J. Desenvolvimento rural e os Geoparques no Brasil. *Revista Política e Planejamento Regional*, Rio de Janeiro, v. 7, n. 3, p. 358–371, set./dez. 2020. ISSN 2358-4556.

Lima, R. H. C; de Mendonça Barbosa, R. C.; de Araujo Lima, V. T.; Motta Garcia, M. da G.; dos Santos Costa, S..; de Jesus, E. L.; Nunes dos Santos, V. M.; Manjon Mazoca, C. E..; Apoema Gomes de Souza, I..; Honorato de Souza, A. G.; Rocha dos

Parra, Maurício Rodrigues; Coutinho, Renato Xavier; Pessano, Edward Frederico Castro. (2019). Um breve olhar sobre a cienciometria: origem, evolução, tendências e sua contribuição para o ensino de ciências. Revista Contexto & Educação, [S. L.], V. 34, N. 107, P. 126–141, 2019. Doi: 10.21527/2179-1309.2019.107.126-141

Santos, C. do S.; Pessoa Venâncio, D. W.; da Silva Jesus, J. (2024). Estratégias de geoconservação em áreas protegidas no Baixo Rio Negro: abordagem preliminar. Revista geonorte, *[s. L.]*, v. 15, n. 48, 2024.

Santos, F. P. dos. (2013). Gestão de UC´s no Amazonas: avanços e desafios para a conservação ambiental. Revista Geonorte, *[s. l.]*, v. 4, n. 11, p. 102–124, 2013.

Silva, J. G. S. da; Fonseca Filho, R. E.; Nascimento, M.A. L. do; Campos, J. B.; Ladwig, N. I.; Back, A. J. (2024). Geoparques mundiais da UNESCO no Brasil: novas formas de gestão integrada dos territórios. Caminhos de Geografia, Uberlândia, v. 25, n. 100, p. 176–195, 2024. DOI: 10.14393/RCG2510070678.

Teixeira, T. H., Neto, J. A. F.; Moura, R. A. de.; Figueiredo, N. A. de. (2017). As Unidades de conservação de uso sustentável no bioma amazônico: dilemas e perspectivas para o desenvolvimento sustentável. RPER, (46), 71–89. https://doi.org/10.59072/rper.vi46.48

A ÁGUA COMO PROTAGONISTA DA FORMAÇÃO E VALORIZAÇÃO DO PATRIMÔNIO HIDROLÓGICO EM PRESIDENTE FIGUEIREDO - AM

Maria Cristiane Melo Costa[1]; Rubens Samuel da C. Silva[1]; Samuel Vinicius de Oliveira Monteiro[1]; Armando Brito da Frota Filho[2]; Raimundo Humberto Cavalcante Lima[1,3]

[1]Programa de Pós-graduação em Geociências (PPGGEO/UFAM); [2]Pós doutorando do PPGGEO/UFAM; [3] Departamento de Geociências da Universidade Federal do Amazonas - UFAM

*(*mariacristianemelocosta@gmail.com*; rsamuel6677@gmail.com*; svvinicius27@gmail.com; armandofrotafilho@gmail.com; humbertoclima@ufam.edu.br)*

RESUMO

A água, recurso imprescindível para os ecossistemas e sociedades amazônidas, enfrenta ameaças crescentes devido às pressões antrópicas e às mudanças climáticas, exigindo abordagens integradas de conservação. Este estudo propõe reconhecê-la como patrimônio hidrológico, articulando geodiversidade e sustentabilidade. O objetivo foi avaliar os recursos hídricos no município de Presidente Figueiredo (AM), visando estratégias de geoconservação. Utilizou-se uma metodologia mista, combinando revisão bibliográfica, mapeamento via SIG, georreferenciamento em campo e diálogos com comunitários locais. Foram analisadas as bacias dos rios Uatumã e Urubu, além de igarapés, cachoeiras e áreas cársticas, com foco em sua relevância ecológica, geológica e turística. Os resultados identificaram 12 atrativos hídricos prioritários, como a cachoeira das Orquídeas, a corredeira do Urubuí, as marmitas e a cachoeira do Mutum, a caverna Refugio do Maroaga e a gruta da Judéia, todos sob pressão devido ao turismo predatório. Verificou-se que parte dos sítios necessita de um reordenamento territorial, com soluções como passarelas suspensas, controle de capacidade de carga, capacitação de guias locais em geodiversidade e monitoramento comunitário dos recursos hídricos locais. Conclui-se que a conservação eficaz dos recursos hídricos e dos serviços geossistêmicos relacionados requer um compromisso compartilhado entre o poder público, visitantes e comunidades locais. Cabe ao poder público implementar políticas de proteção ambiental, fortalecer a fiscalização e desenvolver infraestrutura que minimize os impactos sobre esses ecossistemas; aos visitantes, adotar práticas turísticas responsáveis; e às comunidades locais, participar ativamente da gestão, participativa, principalmente para ouvi-los e tentar atender seus anseios, além do monitoramento contínuo em áreas sensíveis à degradação ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: geoconservação; gestão comunitária; recursos hídricos; Geoparque Cachoeiras do Amazonas.

INTRODUÇÃO

Apesar da importância reconhecida do patrimônio cultural e arqueológico da região Amazônica e da existência de diversas categorias de unidades de conservação nos níveis federal, estadual e municipal, que auxiliam na preservação do patrimônio natural biótico, os estudos e a gestão territorial focados nos componentes abióticos da natureza, enquanto dimensão do patrimônio natural, ainda são incipientes.

Entre os elementos abióticos, a água mostra-se como um componente indispensável para a vida, para os ecossistemas e para o desenvolvimento socioeconômico (Garcia, 2019). Destaca-se também como um agente transformador da paisagem (Pereira *et al*., 2016). Tal conjuntura possui maior relevância em regiões de climas úmidos, onde a água contribui ativamente para a morfogênese e a pedogênese, comandando reações biogeoquímicas com influências sobre os elementos da paisagem, como é o caso da Amazônia Ocidental (Testa *et al.,* 2019).

Conforme Rodrigues (2019), os sistemas hídricos, como bacias hidrográficas e nascentes, integram a geodiversidade e constituem parte essencial do patrimônio hidrológico, uma noção já presente nos estudos pioneiros de Kozlowski (2004). Assim, a valorização da água como elemento da geodiversidade configura-se como uma abordagem capaz de aliar conservação e desenvolvimento sustentável.

No entanto, sua disponibilidade e qualidade estão cada vez mais ameaçadas por pressões antrópicas, mudanças climáticas e gestão inadequada, exigindo estratégias integradas de conservação e educação ambiental. Nesse contexto, é necessário reconhecer a água não apenas como um recurso hídrico, mas como parte integrante do patrimônio geológico da região.

Conforme indicado na figura 1, o patrimônio hidrológico é formado pelas águas oceânicas e continentais (mares, lagos, cursos d'água, reservatórios subterrâneos e hidrotermais), bem como pela dinâmica, processos e formas associados.

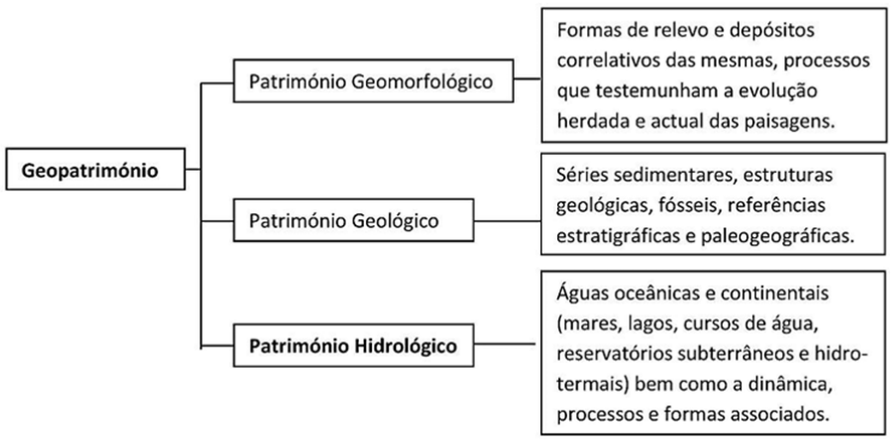


Figura 1. Elementos do Patrimônio hidrológico como integrante do Geopatrimônio.

Fonte: Rodrigues (2019).

Mendonça e Alecrim (2006) observaram que as cachoeiras, balneários e corredeiras de Presidente Figueiredo, local do estudo, correm sérios riscos de degradação, devido, em grande parte, ao fluxo de visitantes que todos os anos usufruem do local de maneira predatória. A contaminação de corpos d'agua, o descarte inadequado de resíduos sólidos e a destruição de matas ciliares foram relatados por moradores como os principais problemas ambientais relacionados à atividade turística.

No Amazonas, sua gestão eficaz é importante tanto para a biodiversidade local quanto para o clima global. Além disso, sua conservação ajuda a decifrar a história geológica da Terra e evidencia a ligação entre geodiversidade e biodiversidade.

A proximidade com Manaus e o fácil acesso pela rodovia BR-174 fazem de Presidente Figueiredo um dos principais destinos turísticos do Amazonas, atraindo visitantes regionais e estrangeiros para suas cachoeiras, corredeiras, grutas e lagos.

Com isso, esta pesquisa teve como objetivo analisar a valorização dos recursos hídricos de Presidente Figueiredo-AM como patrimônio hidrológico, integrando critérios geológicos, ecológicos e turísticos, para propor estratégias de conservação e gestão sustentável.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido por meio de uma abordagem que integrou pesquisa documental, trabalho de campo e participação comunitária. Inicialmente, realizou-se uma revisão bibliográfica incluindo artigos científicos, relatórios técnicos, para identificar áreas prioritárias com sistemas hídricos de relevância ecológica e turística no município. Em seguida, foram selecionadas bacias hidrográficas, rios, lagos e cachoeiras com base em critérios como biodiversidade, singularidade paisagística, atrativos turísticos hídricos consolidados e uso pela comunidade local.

A etapa de campo incluiu a identificação preliminar dos atrativos hídricos, utilizando georreferenciamento por GPS e ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para mapeamento espacial. Paralelamente, foram conduzidos diálogos informais com proprietários de terrenos onde estão localizados os atrativos, alunos, guias de turismo e população local, visando compreender os usos tradicionais da água, seu potencial turístico e os principais desafios para sua conservação. Essas atividades permitiram a coleta de dados qualitativos, fundamentais para a análise integrada dos serviços geossistêmicos.

A pesquisa abrangeu porções das bacias dos rios Uatumã, Urubu e do igarapé no ramal do Micade, cujas drenagens percorrem, principalmente, rochas ígneas do Grupo Iricoumé e rochas sedimentares das Formação Nhamundá do Grupo Trombetas.

Para edição e aprimoramento de textos previamente escritos pelos autores, com objetivos como correção gramatical, clareza textual, fluidez e engajamento foram utilizadas ferramentas de IA generativa.

RESULTADOS

No contexto socioeconômico da Amazônia, a água é um recurso estratégico para a promoção do turismo, sendo o município de Presidente Figueiredo um exemplo emblemático. Conhecida como a "Terra das Cachoeiras", por abrigar centenas de tais feições, o município, fundado em 1981, tem experimentado um crescimento populacional significativo, contando com aproximadamente 37.193 habitantes (IBGE, 2020).

Os principais recursos hídricos identificados na pesquisa (figura 2) e relacionados ao patrimônio hidrológico foram: cachoeira das Orquídeas, corredeira do Urubuí, Lagoa Azul, fervedouro do Maranhão, caverna Maroaga, marmitas do Mutum, áreas de recarga do aquifero Trombetas, rio Uatumã e Lagoa de Balbina em territórios indígenas Waimiri-Atroari.

A Lagoa Azul e o Fervedouro do Maranhão, ambos localizados em propriedades particulares, são os atrativos que mais sofrem influência da sazonalidade das águas. Por meio de diálogos informais com proprietários de terrenos, constatou-se que o período de estiagem representa um grande desafio para as famílias que dependem da visitação turística como principal fonte de renda.

Vendedores ambulantes que trabalham na Corredeira do Urubuí relatam que a precariedade dos ramais na zona rural dificulta o transporte de mercadorias, como hortaliças, frutas e artesanatos, das comunidades até o ponto de venda. Uma das vendedoras, por exemplo, disse que foi justamente por causa dessas dificuldades que se mudou da comunidade para a sede do município.

Em especial, as marmitas naturais encontradas nos leitos de igarapés de arenitos da Formação Nhamundá, como a cachoeira do Mutum e da Princesinha do Urubuí, têm ganhado destaque da mídia e apresentam elevado potencial geoturístico devido suas grandes dimensões e aspectos cênicos. (Sousa, 2025).

Importantes para a geodiversidade local, as grutas da Judéia e a caverna Refúgio do Maroaga são sítios naturais de grande apelo geoturístico, educacional e cênico. Sua formação peculiar em rochas arenosas resultou em um frágil ecossistema com um rio subterrâneo, que flui do interior das paredes, altamente susceptível à erosão causada pelo homem, demandando esforços urgentes de conservação (Luzardo, 2012).

EM entrevista, o presidente da Associação de Guias (AGUIA) defende o geoturismo como uma importante oportunide para gerar renda à comunidade por meio de guias, hospedagem, artesanato e comércio, promovendo desenvolvimento sem desmatamento. Essa visão é compartilhada por um turista, que, consciente da fragilidade do local, afirma que as visitas devem ser rigorosamente controladas e guiadas para preservar o patrimônio natural para o futuro.

Destaca-se também a corredeira do Parque do Urubuí, formada pela dinâmica hidrológica em rochas da Formação Nhamundá, um dos principais atrativos turísticos do município, evidenciada por seus icnofósseis (*Skolithos* sp. e *Arthrophycus alleghaniensis* in Nogueira *et al*, 1999) e formação de marmitas naturais. Além de seu valor científico, o local impulsiona a economia por meio de sua estrutura turística (hotéis, restaurantes e bares). Entretanto, o uso recreativo excessivo (banhos e descidas de boia), somado à pressão urbana e à falta de gestão, ameaça a conservação desse ecossistema.

De outra forma, Matias (2024) informa que o aquífero Trombetas, vital para o abastecimento de água de Presidente Figueiredo, apresenta composição química estável e classificação sulfatada/cloretada sódica. Sua capacidade de armazenamento e proteção contra poluição varia conforme a porosidade e permeabilidade das rochas.

A pesquisa de Matias (2024) mostra níveis elevados de NO_3, nas nascentes do Lago Azul e do fervedouro do Maranhão. As nascentes têm a caraterística comum de estarem próximas a plantações de hortaliças e banheiros com fossas sépticas, ambas fontes potenciais de NO_3 (Santos *et al*. 2013; Vanier, 2021). Durante a estação chuvosa, há um aumento do volume de água devido às chuvas, fazendo com que as nascentes se recarreguem, com maior concentração de NO_3 (Fajardo, 2022).

Criado em 1989 com a polêmica construção de uma usina hidrelétrica, o Lago de Balbina, inundou 2.360 km² de floresta amazônica, deslocando comunidades indígenas e causando graves impactos ecológicos. Paradoxalmente, este lago artificial vem sendo integrado à economia regional por meio da piscicultura e do turismo pesqueiro, atraindo pescadores esportivos e gerando renda para comunidades locais com pousadas e serviços de pesca. Apesar desse potencial econômico, o legado ambiental negativo persiste, marcado pela perda de biodiversidade, ocultando elementos da geodiversidade ainda não totalmente estudados, e por conflitos socioambientais, revelando os complexos desafios do desenvolvimento na Amazônia.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desse estudo permitiram identificar estratégias integradas para a conservação dos recursos hídricos e sua valorização como atrativo geoturístico no município. Como principal proposta, destaca-se o fortalecimento da candidatura do Geoparque Cachoeiras do Amazonas à UNESCO, uma estrutura estratégica para implementar um modelo de gestão baseado em três eixos: conservação do patrimônio geológico, turismo sustentável e participação comunitária. Os recursos hídricos de Presidente Figueiredo representam um patrimônio natural integrado, onde a geo e biodiversidade e ações socioeconômicas se interligam.

No entanto, o estudo revelou ameaças críticas, como a degradação de ecossistemas pelo uso recreativo intensivo, contaminação por nitratos em nascentes e lagos e erosão acelerada em cavidades cársticas naturais.

Diante desses desafios, medidas se fazem necessárias, desde a implementação de zoneamento turístico para controle de impactos, monitoramento sistemático da qualidade da água (especialmente nas áreas de recarga do Aquífero Trombetas), instalação de passarelas suspensas, controle de capacidade de carga dos equipamentos turísticos, capacitação de guias até programas de educação ambiental que valorizem o patrimônio natural local.

Além disso, torna-se necessário o estabelecimento de parcerias entre os comunitários, a fim de fortalecer o apoio mútuo durante os períodos de estiagem, quando determinados atrativos deixam de gerar renda para algumas famílias. Também se faz importante a elaboração de políticas públicas voltadas à melhoria da infraestrutura de acesso às comunidades, com ênfase na recuperação e manutenção dos ramais, de modo a garantir melhores condições de locomoção.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e apoio financeiro no Programa PROSGRAD-FAPEAM por meio da Resolução 02/2024 do Programa de Pós-Graduação em Geociências-UFAM para a pesquisa e trabalhos de campo dos autores.

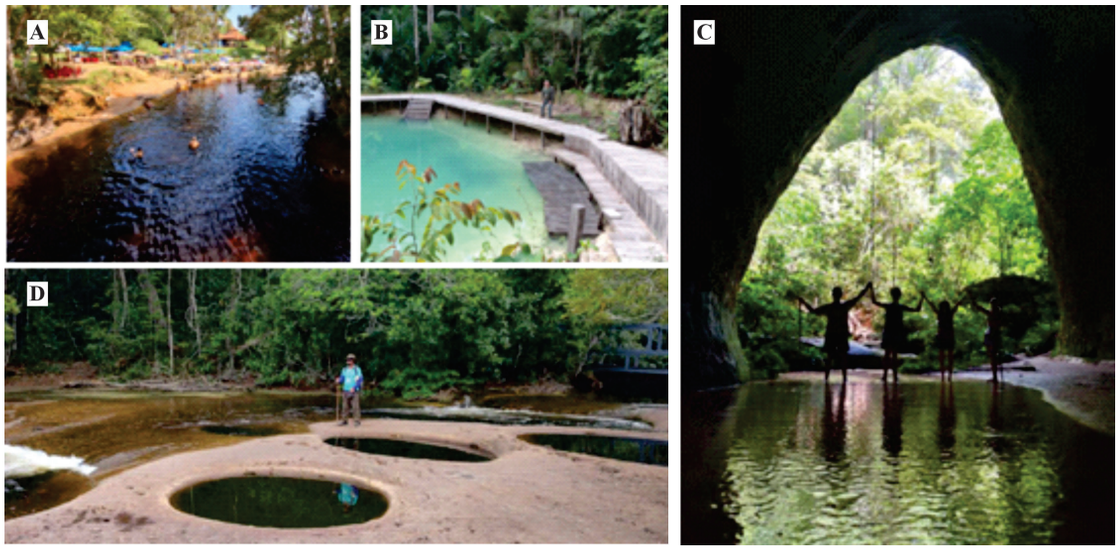


Figura 2 – A:Corredeira do Urubuí. B:Lagoa Azul. C:Caverna do Maroaga. D:Marmitas do Mutum. Fonte: Os autores (2025)

REFERENCIAS BILIOGRÁFICAS

Fajardo, J. Dinâmica hidrogeoquímica de nascentes em áreas agrícolas na Amazônia. Belém: UFPA, 2022.

Garcia, D.S.S., Cruz, P., Souza, M.C.S.A. Crise global da água: construção de categorias éticas para água a partir da verificação das problemáticas geradoras da crise. Revista Direitos Fundamentais & Democracia 24(3):60-76, 2019.

Kozlowski, S. The concept and scope of geodiversity. Przegląd Geologiczny 52(8/2):833-837, 2004.

Luzardo, R. Geoparque Cachoeiras do Amazonas (AM): proposta. In: [evento/organizador, se houver], 2012, cap. 3.

Matias, A.C.C. Hidroquímica e qualidade das águas superficiais na porção sul do município de Presidente Figueiredo, borda norte da bacia do Amazonas. 2024. 95f. Dissertação (Mestrado em Geociências), Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2024.

Mendonça, F., Alecrim, J.D. Turismo impactos nos aspectos geomorfológicos da área de proteção ambiental Presidente Figueiredo Caverna do Maroaga – AM. Caderno Virtual de Turismo.

Nogueira, A.C.R., Truckenbrodt, W., Soares, E.A.A. O icnogênero Arthrophycus de depósitos sublitorâneos da Formação Nhamundá (Siluriano Inferior) da Bacia do Amazonas, região de Presidente Figueiredo. Brazilian Journal of Geology 29(2):135-140, 1999.

Pereira, L.F., Cruz, G.B., Guimarães, R.M.F. Impactos do rompimento da barragem de rejeitos de Brumadinho, Brasil: uma análise baseada nas mudanças de cobertura da terra. Journal of Environmental Analysis and Progress [volume, se houver]:122-129, 2019.

Rodrigues, M.L. Importância do património hidrológico para o geopatrimónio e o geoturismo. Água e Território, 2019.

Santos, P., [ET AL.] Contaminação por nitratos em aquíferos amazônicos. Revista de Hidrogeologia 12(3):45-60, 2013.

Sousa, I.A. Valorização dos recursos hídricos como patrimônio geológico: estudo de caso em Presidente Figueiredo-AM. 2025. Dissertação (Mestrado em Geociências), Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2025.

Testa, V., [ET AL.] Biogeoquímica de ecossistemas úmidos na Amazônia. Acta Amazônica 49(2):123-135, 2019.

Vanier, M. Impactos antrópicos em nascentes de Presidente Figueiredo. Manaus: Editora Valer, 2021

GEODIVERSIDADE NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PAIUÁ E UIRAMUTÃ, TERRA INDIGENA RAPOSA SERRA DO SOL, RORAIMA: POTENCIALIDADES PARA O GEOTURISMO COMUNITÁRIO

Guilherme Gonzaga de Andrade[1]; Fábio Luiz Wankler[2]; Márcia Teixeira Falcão[3]

[1]Universidade Federal de Roraima - UFRR
[2]Universidade Federal de Roraima – UFRR
[3]Universidade Estadual de Roraima - UERR

RESUMO

Este estudo foi realizado nas bacias hidrográficas dos rios Paiuá e Uiramutã, inseridas dentro da Terra Indígena Raposa Serra do Sol, no município do Uiramutã. Para as comunidades dos povos originários de Roraima, os elementos da geodiversidade possuem uma valoração cultural, relacionada aos signos, símbolos e crenças. Estes signos podem ser reconhecidos na toponímia e sabedoria ancestral transmitida através de histórias, lendas e tradições orais. Desde a implementação da instrução normativa n° 03/2015 pela Funai, diversas comunidades indígenas têm buscado elaborar planos de visitação turísticos. Sendo um desafio para as comunidades elaborarem produtos técnicos que substanciem futuras propostas de planos de visitação, onde as comunidades poderão incorporar o reconhecimento geológico-geomorfológico por meio dos produtos cartográficos e atrativos turísticos geoespacializados integrados ao conhecimento ancestral dos povos. Desta forma, o objetivo do estudo foi inventariar e quantificar a geodiversidade das bacias hidrográficas dos rios Paiuá e Uiramutã, buscando discutir a importância dos geossítios encontrados e seu potencial para um turismo de base comunitária indígena. A metodologia empregada consistiu na revisão bibliográfica e na utilização das etapas primárias das estratégias de geoconservação (inventário e quantificação. Os resultados permitiram identificar cinco geossítios e um sítio de geodiversidade de relevância nacional e dois geossítios de relevância internacional, geoespacializados na forma de atrativos turísticos. O conjunto de sítios de interesse geológico ressalta uma porção do patrimônio geológico do Uiramutã, que pode ser utilizada por ao menos vinte e duas comunidades indígenas que vivem nestas bacias hidrográficas em seus planos de visitação.

PALAVRAS-CHAVE: Geoturismo; Geoprocessamento; Uiramutã; Sustentabilidade;

INTRODUÇÃO

Atualmente, a temática acerca da preservação da memória da Terra vem crescendo, exigindo o estabelecimento de ferramentas teóricas e práticas para a gestão de lugares e objetos de interesse geológico, a partir da perspectiva da sustentabilidade ambiental (Guerra & Jorge, 2018).

Neste sentido, a geodiversidade têm surgido como uma ferramenta indispensável para o estudo da conservação e sustentabilidade dos recursos naturais relacionados ao meio abiótico. Neste manejo, a gestão de recursos naturais através da aplicação das estratégias de geoconservação oferecem uma oportunidade para que a sociedade conheça e aprecie a diversidade geológica do espaço que ela habita por meio do geoturismo.

As bacias hidrográficas dos rios Paiuá e Uiramutã estão inseridas dentro da Terra Indígena Raposa Serra do Sol (TIRSS), no município do Uiramutã, que por sua vez possui o maior percentual de população declarada indígena no país (96,6 %; IBGE, 2022). Estas bacias têm sido palco de diversas fases de ocupação, desde os paleoindígenas que deixaram registros arqueológicos na região, até os atuais povos indígenas (Macuxi, Ingarikó, Patamona, Taurepang e Wapichana).

A justificativa de tem como escopo servir como base geológico-geomorfológico por meio dos produtos cartográficos geoespacializados para propostas de planos de visitação, nas quais as comunidades indígenas sejam protagonistas no turismo em suas terras. Neste momento, os resultados deste trabalho vem a contribuir para o reconhecimento do patrimônio natural do município do Uiramutã e o desenvolvimento de estratégias de geoconservação e manejo sustentável.

Assim, o objetivo deste artigo é inventariar e quantificar a geodiversidade das bacias hidrográficas dos rios Paiuá e Uiramutã. Espera-se ainda que os resultados fortaleçam as iniciativas para proteger e salvaguardar o patrimônio natural e cultural (Meta 11.4 dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável relacionados a cidades e comunidades sustentáveis) (IPEA, 2024).

CONTEXTO GEOLÓGICO

As Bacias Hidrográficas dos rios Uiramutã (BHRU) e Paiuá (BHARP) estão implantadas sobre rochas sedimentares pertencentes a base do Supergrupo Roraima, compreendendo a Formação Arai e o Grupo Suapi, que por sua vez integra as formações Uiramutã, Verde e Pauré. As rochas do embasamento vulcânico do Grupo Surumu apenas são aflorantes na região do baixo Rio Paiuá. A Formação Arai é composta por arenitos, arenitos conglomeráticos e argilitos que refletem variados ambientes deposicionais de origem continental, como ambientes fluviais, eólicos, lacustres e de deltas aluviais. A Formação Uiramutã compreende arenitos arcoseanos de espessura fina a média, arenitos quartzosos e siltitos e lamitos subordinados, refletindo o ambiente deposicional de planície deltaica com influência de maré. Quanto a Formação Verde, compõe predominantemente sucessões rítmicas de argilitos e siltitos, geradas a partir da influência de um mar epicontinental afetado por ondas de tempestades. A Formação Pauré é composta por arenitos médios a grossos e arenitos seixosos, refletindo um ambiente deposicional fluvio-deltaico resultado de um evento de retrogradação (Uhlein *et al.,* 2015; Reis *et al*., 2017).

Para Falcão & Costa (2014), a diversidade paisagística do relevo do Uiramutã é consequência das oscilações paleoclimáticas que ocorreram principalmente durante cenozoico. O arcabouço geológico-geomorfológico da região propicia a formação de sistemas de drenagens naturalmente favoráveis a formação de cachoeiras e corredeiras. Feições erosivas como sulcos, ravinas e voçorocas são bem comuns na região, estando relacionadas a supressão vegetal e consequente exposição de arenitos friáveis que facilitam a erosão (Ladeira & Dantas, 2014).

MATERIAIS E MÉTODOS

Os mapas temáticos foram gerados utilizando o programa QGIS versão 3.30. O mapa de localização foi elaborado utilizando imagens do satélite em Planet Scope (2024), em conjunto com as bases cartográficas do IBGE (2021). As comunidades foram mapeadas a partir da análise visual em conjunto com as fontes de Araújo (2019) e mapas cedidos pela Secretária Municipal de Meio Ambiente e Turismo do Uiramutã (SEMMAT). O mapa geológico foi elaborado a partir do relatório de Pinheiro, Reis e Costi (1990) e das bases cartográficas e CPRM (2023). A análise das características das Bacias Hidrográficas partiu da aquisição dos dados de Modelo Digital de Elevação (MDE) e *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), adquiridos por meio do aplicativo do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, 2024) e utilizados em conjunto com as imagens de satélite. A quantificação dos sítios foi feita com ao aplicativo GEOSSIT (SGB, 2024) cujos critérios de quantificação seguiram o redocumentado, com adaptações, em Brilha (2016). O trabalho de campo de noves dias ocorreu nos meses de abril e setembro de 2023, foi realizado após a aprovação do projeto a qual essa pesquisa faz parte, denominado de "Geodiversidade e Geoturismo: potencialidades e fragilidades na Região da Raposa Serra do Sol – Uiramutã/Roraima", aprovado pelo sistema CEP/Conep com número de registro CAAE 60649322.9.0000.5621, cumprindo as exigências das Resoluções do CNS 510/2016, 304/2000, Portaria 177/2006 da Fundação Nacional dos Povos Indígenas (FUNAI).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O mapeamento da área resultou na inventariação e quantificação na área, onde foram inventariados 7 geossítios e 1 sítio de geodiversidade nas BHARP e BHRU (Figura 1).

Nos critérios de seleção, considerou-se o acesso. As drenagens da BHBRP, dificultados pela distância a estrada principal, inviabilizou seu uso como roteiro geoturístico. Soma-se a isso o fato de a porção do substrato rochoso desta bacia (rochas vulcânicas do Grupo Surumu) não apresentou elementos geológico-geomorfológico excepcionais do ponto de vista da geodiversidade.

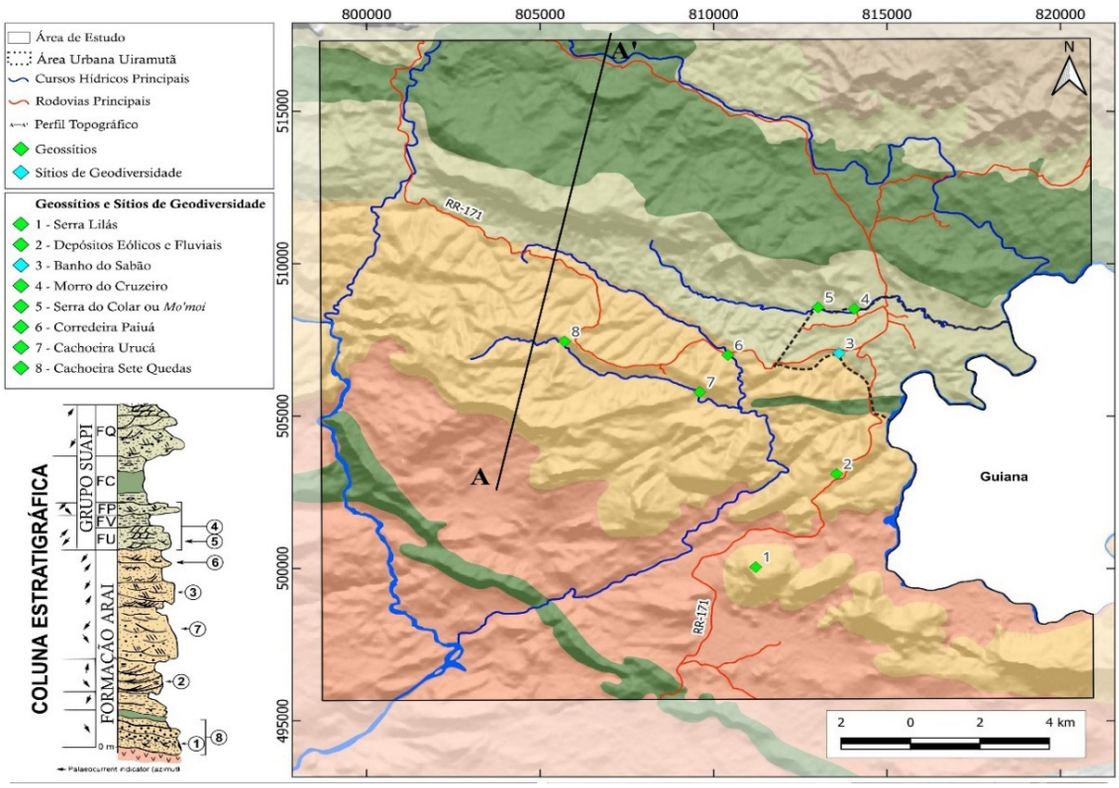


Figura 1 – Mapa geológico atualizado da área de estudo com os geossítios e sítios de geodiversidade inventariados e quantificados. Fonte Elaborado pelos autores a partir de Pinheiro, Reis e Costi (1990), CPRM (2023).

Ressalta-se que a nomenclatura adotada para os geossítios e o sítio de geodiversidade buscou respeitar o conhecimento ancestral dos povos originários locais. Assim, a toponímia e nomenclatura dos sítios foi a utilizada pelas comunidades indígenas em locais mapeados em Araújo (2019) e Campos & Marques (2023). A quantificação está disposta na Tabela 1, onde também são indicadas a classificação da área e a sua relevância, sendo cinco geossítios e um sítio de geodiversidade de relevância nacional e dois geossítios de relevância internacional.

Desde a década de 60, o município do Uiramutã foi um ponto forte de garimpo de ouro e diamante, movimentado principalmente por não-indígenas. Com a demarcação das terras indígenas em 2005 e consequente retirada dos garimpeiros, muitos passaram a atuar no comércio, como guias e turistas na prática de turismo aventura.

Estes fatores decorreram em três problemas que o município atualmente enfrenta: (1) o novo crescimento do garimpo ilegal, principalmente fomentado pelo lado guianense (INFOAMAZÔNIA, 2024); (2) presença de agências de turismo que realizam planos de visitação turísticos de forma indevida e que desconsideram o papel das comunidades no processo (Falcão *et al.*, 2020) e (3) dificuldades na geração de emprego e renda das comunidades indígenas locais. .

Área	VC	PVE	PVT	RC	Classificação	Relevância
1. Serra Lilás	265	290	260	100	Geossítio	Nacional
2. Depósitos Eólicos e Fluviais	240	295	210	130	Geossítio	Nacional
3. Banho do Sabão	165	280	230	225	Sítio de Geodiversidade	Nacional
4. Morro do Cruzeiro	300	290	235	195	Geossítio	Nacional
5. Serra do Colar ou *Mo'moi*	220	290	240	175	Geossítio	Nacional
6. Corredeiras do Paiuá	235	295	240	210	Geossítio	Nacional
7. Sete Quedas	320	310	250	120	Geossítio	Internacional
8. Cachoeira Urucá	320	310	250	120	Geossítio	Internacional

Tabela 1 - Quantificação dos valores científicos, educacionais, turísticos e risco de degradação, juntamente com a classificação do sítio e sua relevância, obtidos por meio do aplicativo Geossit (SBG, 2024). Fonte Os autores. Legenda: VC = Valor Científico; PVE = Potencial Valor Turístico; PVT = Potencial Valor Turístico; RC = Risco de Degradação.

Os resultados fornecem subsídios técnicos na vertente abiótica, para que as comunidades indígenas do Uiramutã na área de estudo possam elaborar seus planos de visitação, onde ao menos 22 comunidades indígenas poderão usufruir dos produtos elaborados, ressaltando que uma destas comunidades (Comunidade Flexal) já conta com um plano de visitação em análise pela Funai. Os resultados encontrados fornecem ainda, condições para a construção de projetos de extensão que alie o conhecimento científico ao conhecimento tradicional das comunidades. Por fim, o desenvolvimento do turismo de base comunitária no Uiramutã, é uma alternativa viável para o baixo IDHM do município, que pode proporcionar novas oportunidades de emprego e renda para os povos indígenas e reforçar a proteção e conservação do patrimônio natural como forma de coibir o garimpo ilegal, contribuindo assim para a autonomia dos povos indígenas e fortalecimento de suas identidades, costumes e tradições.

CONCLUSÕES

A utilização das etapas primárias das estratégias de geoconservação (inventariação e quantificação) nas bacias hidrográficas dos rios Paiuá e Uiramutã permitiu identificar cinco geossítios de relevância nacional, dois geossítios de relevância internacional e um e um sítio de geodiversidade de relevância nacional. Tal conjunto ressalta uma porção do patrimônio geológico do Uiramutã. A existência destes elementos decorre essencialmente do seu contexto geológico, onde a Bacia Sedimentar do Supergrupo Roraima e sua relação com os cursos hídricos desempenha um papel crucial na formação da geodiversidade.

Assim, entende-se que resultados deste estudo fornecem subsídios técnicos na parte abiótica para futuros projetos de visitação, caso seja do interesse dos seus moradores. Seu impacto abrange pelos menos vinte e duas comunidades indígenas somente na área de estudo. Destacamos que o turismo de base comunitária é uma importante ferramenta para assegurar que os benefícios econômicos permaneçam nas comunidades indígenas, tornando-se uma alternativa viável e sustentável para enfrentar os desafios do baixo IDHM do município.

AGRADECIMENTOS

O apoio financeiro foi concedido pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Proc. nº 510167/2020-00)e bolsa de mestrado do primeiro autor daCoordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araújo, M. S. M. (2019) *Estudo toponímico antropocultural de Uiramutã-Roraima*. Tese [Doutorado em Linguística e Língua Portuguesa - Universidade Estadual Paulista – Unesp]. https://repositorio.unesp.br/bitstreams/162550d3-2a07-4a85-97c4-2a87563371bb/download .

Brilha, José (2016) Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: a review. *Geoheritage*, Review Article. Vol. 8, p. 119–134. DOI:10.1007/s12371-014-0139-3

Campos, L. C. S.; Maques, E. S (2023). O Papel Social da Cosmologia Macuxi para a Comunidade Camararém-Raposa Serra do Sol. *Revista Habitus- 21* (1), 169-184.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (2014). *Geodiversidade do Estado de Roraima.* [MAPA]. esc. 1:1.000.000. https://geosgb.sgb.gov.br/downloads/

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (2023). *Mapa Geológico do Estado de Roraima*. [Mapa], esc. 1:1.000.000 .https://geosgb.sgb.gov.br/downloads/

Falcão, M. T.; Costa, J. A. V. (2014). Paisagem gemorfológica da terra indígena Raposa Serra do Sol–Uiramutã/Roraima/Brasil. *Revista Geonorte*, *5*(18), 66-70.

Falcão, M. T.; Silva, T. M.; Souza, J. A. (2020) Geodiversidade e geoturismo: estudo das potencialidades do município do Uiramutã-Roraima. *Revista Multidisciplinar Pey Këyo Científico*, 5 (2), 43-54.

SBG. *Simulador de Quantificação GEOSSIT.* Disponívelem: https://www.sgb.gov.br/geossit/geossitios/simulador/>. < vAcesso em: 18/09/2024

Guerra, A. J. T.; Jorge, M. C. O (2018). *Geoturismo, geodiversidade e geoconservação***.** Ofitexto, 256 p.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2021). *Imagens do Território*. [Imagem]. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2022). *Cidades e Estados – Roraima*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rr/uiramuta.html.

INFOAMAZÔNIA (2024). *Garimpo na fronteira entre Brasil e Guiana ameaça indígenas no território Raposa Serra do Sol. INFOAMAZÔNIA.* <https://infoamazonia.org/2024/02/15/garimpo-na-fronteira-entre-brasil-e-guiana-ameaca-indigenas-no-territorio-raposa-serra-do-sol/

IPEA (2024). *Objetivos do Desenvolvimento Sustentável*. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. https://www.ipea.gov.br/ods/ods11.html

Ladeira, L. F. B.; Dantas, M. E. (2014). Compartimentação geomorfológica. In: Holanda, J. L. R., Marmos, J. L.; Maia, M. A. M. (Orgs.). *Geodiversidade do estado de Roraima.* Serviço Geológico do Brasil, 33-64.

Pinheiro, S. S.; Reis, N. J.; Costi, H. T. (1990). *Geologia da Região de Caburaí, Nordeste de Roraima*. [relatório Técnico]. Serviço Geológico do Brasil - RIGEO.

PLANET SCOPE (2024). *Planet Basemaps: Comprehensive, High-Frequency Mosaics for Analysis*. www.planet.com/products/basemap

Reis, N. J et.al. (2017). Stratigraphy of the Roraima Supergroup along the Brazil-Guyana border in the Guiana shield, Northern Amazonian. *Brazilian Journal of Geology, 47*(1), 43-57.

Uhlein, A.; Paim, P. S. G.; Tassinari, C. C. G.; Pedreira, A. J. (2015). Análise estratigráfica de bacias rifte paleo-mesoproterozoicas dos crátons Amazônico e São Francisco. *Geonomos*, 23(2), 1-130.

USGS - Serviço Geológico dos Estados Unidos (2024). *EarthExplorer*.[Imagem]. Earth Resources Observation and Science (EROS) Center. https://earthexplorer.usgs.gov

GEOEDUCAÇÃO POR MEIO DA TRILHA ECOLÓGICA DO IGARAPÉ ÁGUA BRANCA, MANAUS (AM)

Isaque, da Silva Caetano[1]; Solange, dos Santos Costa[1]; Ana Helena, Menezes Rodrigues[1]; Marcus Vinícius, Reis Andrade[1]; Lorrana, Correa de Araujo[1]; Anne Caroline, Prado Souza[1]; William, Nunes Santos[1]; Ana Cláudia, Albuquerque da Silva[1]; Monique Àgatha, Barreto de Arruda[1]; Pedro Henrique, de Souza Volpini[1]; Melrian, Fernandes Vasconcelos[1]; Matheu, Silva Vieira[1]; Jhade, Coelho Figueiredo[1]; Henrique, Tunes Villani[1]; Pilar, Evanovich Grazziotin[1]

[1]**Universidade Federal do Amazonas - UFAM**

geoisaqueufam@gmail.com; solangecosta@ufam.edu.br; helena.menezes@gmail.com; marcus.ufam@gmail.com; lorrana.araujo@ufam.edu.br; annecarolinepsouza@gmail.com; william.ufam@gmail.com; ana8133silva@gmail.com; moniqueagatha57@gmail.com; volpini.ufam@gmail.com; melrianvasconcelos2gmail.com; matheuvilaca@gmail.com; jhadeanca98@gmail.com; henriquetvillani@gmail.com; grazziotp@gmail.com

RESUMO

A sensibilização ambiental é fundamental para a compreensão da importância da geodiversidade e sua relação com a sustentabilidade. Na Amazônia, embora abrigue a mais densa bacia hidrográfica global, problemas como desmatamento e ocupações irregulares afetam áreas urbanas, a exemplo de Manaus, onde a maioria dos igarapés se encontra poluída. Como exceção, na porção oeste da cidade, localiza-se o Igarapé Água Branca, o único em área urbana que mantém condições ambientais preservadas. Este trabalho apresenta os principais resultados de seis anos (2018-2024) da atividade "Trilha Ecológica do Igarapé Água Branca", desenvolvida pelo PET Geologia da Universidade Federal do Amazonas. A metodologia consistiu em proporcionar visitas guiadas para 320 pessoas, entre professores e alunos do 4º e 5º ano do ensino fundamental das escolas da rede pública, por meio das quais são observados elementos naturais como geologia, geomorfologia, solos, rede de drenagem, vegetação e uso do solo. O principal objetivo desta atividade consiste na sensibilização ambiental dos participantes, tornando-os agentes multiplicadores de conhecimento, atuando na preservação do igarapé, da mata ciliar e na redução de impactos ambientais na área.

PALAVRAS-CHAVE: Educação ambiental; Geodiversidade; Geoconservação; Manaus.

INTRODUÇÃO

A Região Amazônica é reconhecida mundialmente por sua biodiversidade e por abrigar a maior e mais complexa bacia hidrográfica do planeta, sustentando ecossistemas únicos e populações humanas. No entanto, esta riqueza natural enfrenta uma realidade preocupante marcada pelo avanço do desmatamento, por ocupações desordenadas e pela expansão urbana, que têm causado grandes impactos socioambientais, especialmente em áreas urbanas.

Em Manaus, o crescimento populacional sem o devido planejamento urbano tem alterado ambientes naturais de forma crítica. Um dos sinais mais visíveis desta transformação são as degradações nas proximidades de igarapés (Silva e Costa, 2022; Silva, Costa e Rabelo, 2023). Esses cursos d'água, que anteriormente possuíam águas preservadas, encontram-se, em sua maioria, poluídos e assoreados. As microbacias hidrográficas urbanas, que deveriam atuar como reguladoras naturais do ambiente, tornaram-se espaços de vulnerabilidade, espelhando os impactos da ação antrópica.

Contrastando com esse cenário, o Igarapé Água Branca, localizado no bairro do Tarumã, zona Oeste de Manaus, destaca-se como uma exceção relevante para estudo. Trata-se de um dos últimos igarapés urbanos de Manaus que mantém condições ambientais preservadas (Costa, 2019; Campinas *et al*., 2023), constituindo-se em uma oportunidade ímpar para educação e reconexão com a natureza. É neste contexto que se insere a atividade "Trilha Ecológica ao Igarapé Água Branca", desenvolvida pelo PET Geologia da Universidade Federal do Amazonas desde 2021. Este trabalho irá apresentar os principais resultados e o método avaliativo desta atividade educativa ao longo de seus seis anos de realização.

A atividade consiste em visitas guiadas para professores e alunos do 4º e 5º ano do ensino fundamental de escolas públicas da região, explorando no local elementos naturais como geologia, geomorfologia, solos, rede de drenagem, vegetação e uso do solo. Seu objetivo principal é desenvolver a sensibilização ambiental, estimulando a valorização e a preservação do patrimônio natural local. Adota-se a premissa da geoeducação, utilizando a educação ambiental como ferramenta de transformação social e o espaço natural como sala de aula. Espera-se que os participantes se tornem multiplicadores do conhecimento, promovendo mudanças de atitude que contribuam para a preservação não apenas do Igarapé Água Branca, mas de outros ambientes naturais urbanos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A atividade foi desenvolvida na microbacia hidrográfica do Igarapé Água Branca, situada no bairro do Tarumã, zona oeste de Manaus (AM). Este igarapé é reconhecido como o último curso d'água não poluído em área urbana da cidade, um fato atestado por seus indicadores de qualidade ambiental preservados, como a transparência da água, a presença de vegetação ciliar intacta e a biodiversidade local (Campinas *et al*., 2023).

A área foi selecionada por sua acessibilidade e por concentrar elementos representativos da geodiversidade amazônica, como feições geomorfológicas, padrões de drenagem, solos, vegetação e distintos usos do solo.

Materiais

Foram utilizados os seguintes materiais: Equipamentos de Proteção Individual (EPI) (botas de borracha, coletes salva-vidas e luvas); materiais para oficinas (telas para pintura, pincéis e tintas naturais confeccionadas com argila coletada no local); e kits de sensibilização (sacolas reutilizáveis, squeezes e porta-lanches).

Métodos

A atividade de sensibilização ambiental da visita guiada à Trilha Ecológica do Igarapé Água Branca, mostrou-se uma experiência educativa eficaz, que despertou a consciência ambiental em uma comunidade escolar de forma inovadora e engajante. Através da combinação de atividades práticas, com a oficina educativa e a distribuição de kits educativos, que proporcionou uma imersão no ambiente natural, foi possível aproximar os participantes da realidade ecológica local, promovendo um entendimento mais profundo sobre os desafios enfrentados pelos ecossistemas urbanos.

A abordagem contextualizada e a utilização da própria natureza como laboratório de aprendizado demonstraram que a educação ambiental, pode ser realizada de maneira significativa e impactante. O engajamento dos alunos e a mudança nas atitudes dos professores em relação à preservação dos recursos naturais confirmam a relevância de atividades desse tipo na formação de cidadãos mais conscientes e responsáveis.

Além disso, a ação de sensibilizar os participantes sobre a importância da mata ciliar, dos igarapés e da preservação ambiental em áreas urbanas reforça a necessidade urgente de integração entre educação, comunidade e políticas públicas, para garantir a manutenção dos ecossistemas locais e, consequentemente, a qualidade de vida das gerações futuras. Portanto, essa atividade não apenas contribuiu para a formação de um olhar crítico e cuidadoso sobre o meio ambiente, mas também deixou um legado de conhecimento e práticas que podem ser multiplicadas, gerando um impacto duradouro na preservação do igarapé Água Branca e de outros espaços naturais na cidade de Manaus.

As atividades da Trilha, iniciaram em 2018, porém devido a pandemia de Covid 19, foram suspensas e retornaram em 2022, de acordo com as etapas abaixo:

a) Seleção e Caracterização do Público-Alvo:

Foram realizadas, em média, três visitas anuais. O público-alvo consistiu em estudantes do 4º e 5º ano do ensino fundamental de escolas públicas municipais da zona oeste de Manaus. A seleção das escolas foi feita por demanda espontânea dos gestores escolares, que manifestaram interesse em participar do projeto após divulgação prévia, priorizando as escolas localizadas na porção oeste de Manaus. Ao longo dos seis anos, a atividade contemplou um total de 320 alunos, distribuídos em turmas de 10 estudantes cada. As visitas foram sempre realizadas com uma única turma por vez, para garantir a segurança, a logística e a qualidade da experiência educativa.

b) Apresentação do Projeto:

Rodas de conversa foram realizadas nas escolas selecionadas para apresentar o projeto, seus objetivos, a equipe responsável e a proposta de sensibilização ambiental.

c) Preparação e Trabalho de Campo Preliminar:

A equipe do PET Geologia realizou visitas prévias à trilha ecológica para reconhecimento e coleta de materiais (como argila para as oficinas). O percurso seguiu os seis pontos de observação definidos por Costa (2019), caracterizado como trilha de intensidade leve, formato aproximadamente linear e extensão total de 760 m.

d) Execução da Visita Guiada:

Cada participante recebeu os Equipamentos de Proteção Individual (EPI's) e o kit de sensibilização composto por ecobag, squeeze, porta lanche e tela para pintura. A visita guiada foi conduzida nos seis pontos de observação, onde foram abordados aspectos naturais como geologia, geomorfologia, solos, padrão de drenagem, vegetação e a importância da mata ciliar.

e) Oficina Educativa:

Após a trilha, foi realizada a Oficina de Pintura Natural, na qual os alunos produziram telas representando os elementos que mais lhes chamaram a atenção, utilizando tintas feitas com argilas coletadas durante o trabalho de campo preliminar.

f) Avaliação Final:

Para mensurar os resultados, aplicaram-se dois instrumentos avaliativos distintos: um questionário para os alunos, com perguntas de múltipla escolha e desenhos para avaliar a assimilação de conceitos; e outro questionário para professores e acompanhantes, com perguntas abertas, focadas na percepção sobre a eficácia da atividade e mudanças de atitude nos estudantes. A análise combinou métodos quantitativos (contagem de participantes e frequência de respostas) e qualitativos (análise de conteúdo das respostas abertas e dos desenhos).

RESULTADOS

O projeto apresentou impactos positivos nas escolas participantes, evidenciando o potencial da educação ambiental. Durante a visita guiada à Trilha Ecológica do igarapé Água Branca, os alunos tiveram contato com um ambiente natural preservado no contexto urbano, aprendendo sobre geologia, vegetação, solos, rede de drenagem e a importância da mata ciliar (Figuras 1, 2 e 3). A interação com esses elementos foi observada nos depoimentos dos alunos e nas atividades realizadas após a oficina, indicando engajamento e curiosidade pelo tema ambiental.

A oficina de pintura com tinta natural favoreceu a conexão emocional dos alunos com o igarapé, transformando o conhecimento adquirido em expressão criativa (Figura 4).

A avaliação realizada com alunos e professores indicou que a atividade atingiu seu objetivo principal: promover a consciência ambiental de maneira lúdica e significativa. Observou-se a implementação de pequenas mudanças de atitude, como maior cuidado com o lixo e respeito aos recursos naturais, no cotidiano escolar, sugerindo o início de práticas mais sustentáveis entre os participantes.

Figura 1. *Visita guiada em execução, travessia do igarapé após o Ponto1.*

Figura 3: *Ponto 6. Blocos de quartzo arenito.*

Figura 4: Oficina de Pintura com tinta natural.

DISCUSSÕES

Os achados indicam que atividades de educação ambiental em ambientes urbanos podem promover engajamento e conscientização tanto em crianças quanto em educadores. O contato direto com a Trilha Ecológica do Igarapé Água Branca funcionou como um ambiente experimental, onde os alunos puderam observar fenômenos naturais e compreender a relevância da preservação da vegetação e da qualidade do solo no contexto urbano.

A utilização de oficinas práticas, como a pintura com tintas naturais, evidenciou a importância de estratégias pedagógicas que integrem aprendizado sensorial e criativo. A análise dos depoimentos e das atividades posteriores sugere que essa abordagem facilitou a internalização do conhecimento e incentivou pequenas mudanças comportamentais relacionadas ao cuidado ambiental.

O envolvimento ativo dos professores reforçou o papel da escola como agente multiplicador de práticas ambientais. Essa colaboração evidencia que intervenções educativas têm maior efeito quando articulam alunos e educadores, ampliando a probabilidade de continuidade das ações e de disseminação do conhecimento.

Embora os resultados sejam promissores, é importante ressaltar que eles se referem especificamente às escolas participantes e ao contexto da Trilha Ecológica do igarapé Água Branca.

13 professores Efetivos
não concomitante

CONCLUSÕES

A atividade de sensibilização ambiental da visita guiada à Trilha Ecológica do Igarapé Água Branca, mostrou-se uma experiência educativa eficaz, que despertou a consciência ambiental em uma comunidade escolar de forma inovadora e engajante. Através da combinação de atividades práticas, com a oficina educativa e a distribuição de kits educativos, que proporcionou uma imersão no ambiente natural, foi possível aproximar os participantes da realidade ecológica local, promovendo um entendimento mais profundo sobre os desafios enfrentados pelos ecossistemas urbanos.

A abordagem contextualizada e a utilização da própria natureza como laboratório de aprendizado demonstraram que a educação ambiental, pode ser realizada de maneira significativa e impactante. O engajamento dos alunos e a mudança nas atitudes dos professores em relação à preservação dos recursos naturais confirmam a relevância de atividades desse tipo na formação de cidadãos mais conscientes e responsáveis.

Além disso, a ação de sensibilizar os participantes sobre a importância da mata ciliar, dos igarapés e da preservação ambiental em áreas urbanas reforça a necessidade urgente de integração entre educação, comunidade e políticas públicas, para garantir a manutenção dos ecossistemas locais e, consequentemente, a qualidade de vida das gerações futuras. Portanto, essa atividade não apenas contribuiu para a formação de um olhar crítico e cuidadoso sobre o meio ambiente, mas também deixou um legado de conhecimento e práticas que podem ser multiplicadas, gerando um impacto duradouro na preservação do igarapé Água Branca e de outros espaços naturais na cidade de Manaus.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE), pelas bolsas concedidas aos discentes do Grupo PET-Geologia, a ONG Mata Viva, pela execução de ações que propiciam a preservação do igarapé Água Branca.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Campinas, F.; Lima, V.; Oliveira, C.; Rodrigues, M.; Ramos, F.; Gonçalves. T. Concessionária de água monitora igarapé sem poluição em Manaus. Amazonas Atual, o seu jornal on-line. 28 de agosto de 2023. Disponível em: https://amazonasatual.com.br/concessionaria-de-agua-monitora-igarape-sem-poluicao-em-manaus/#:~:text=-Do%20ATUAL,outros%20canais%20urbanos%20de%20%C3%A1gua Acesso em: 30 de agosto de 2025.

Costa, S. S. 2019.Trilha Ecológica Igarapé Água Branca: introdução a conscientização ambiental de professores e alunos da rede pública. Relatório Final da Atividade Curricular de Extensão 2019. UFAM. 15 p.

Silva, R. S. C.; Costa. S. S. 2022. Análise do uso e ocupação do solo da microbacia do último igarapé **não poluído dentro da malha urbana de Manaus-AM, o igarapé Água Branca. IX SECT. UFAM. Manaus-AM.**

Silva, R. S. C.; Costa, S. S.; Rabelo, E. C. 2023. Utilização de imagens Sentinel-1a na análise do uso e ocupação do solo do igarapé Água Branca, porção oeste de Manaus-AM. XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis – SC.

Soares, R. B. Análise sobre a alteração da paisagem na microbacia do Igarapé da Água Branca. Relatório Final de Iniciação Científica do SIPAM/FAPEAM. 53 p. 2016.

GEOLOGIA UNIFESSPA: 20 ANOS EM RETROSPECTIVA

Gilmara Regina Lima Feio[1,2]; Cristiane Marques de Lima Teixeira[1]; Aderson David Pires de Lima[1], Ana Valéria dos Reis Pinheiro[1,3], Alice Cunha da Silva[1], Kelly Vitória Alves da Silva[1]

[1]Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará – Unifesspa; [2]Programa de Pós-graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação – PROFNIT; [3]Curso de Pós-graduação lato sensu em Geografia e Meio Ambiente, UFPA

gilmarafeio@unifesspa.edu.br; cristiane.marques@unifesspa.edu.br; aderson_lima@unifesspa.edu.br; valeria.pinheiro@unifesspa.edu.br; alicecunha@unifesspa.edu.br; kellyvitoria@unifesspa.edu.br

RESUMO

O trabalho apresenta uma retrospectiva histórica dos 20 anos do curso de Geologia da Unifesspa, destacando sua trajetória iniciada em 2005 pela UFPA, campus Marabá. Para entender como se deu essa história, foi realizado compilado de documentos institucionais (atas, PPC, relatórios e depoimentos de docentes e egressos), os quais foram tratados por meio de uma abordagem qualitativa, com enfoque histórico-institucional. Os resultados mostraram que desde a implementação do curso houve inúmeros desafios, tais como infraestrutura, recursos humanos, crises econômicas e pandemia. Ainda assim, em duas décadas, o curso formou 261 geólogos, com relativa equidade de gênero, que foram entregues ao mercado de trabalho. Nestes 20 anos, parcerias institucionais com a empresa Vale e outras empresas da região permitiram criação do programa de estágio, garantindo um aprendizado prático do profissional geólogo. Enquanto isso, professores estavam ativos aprovando projetos de pesquisa pelas agências de fomento, em especial Fapespa, CNPq e FINEP, que permitiu a construção de prédio próprio e laboratórios, aquisição de bens permanentes e custeio para pesquisa científica. Na avaliação de curso pelo Ministério da Educação (MEC), o curso subiu de nota, passando de conceito 3 em 2012 para conceito 4 em 2024. O protagonismo dos estudantes é destaque e foi fundamental nesse processo, teve-se a criação do Centro Acadêmico Yego Cunha Leal, da Empresa Prospectos Jr e a Atlética Vulcânica, que contribuíram para a integração acadêmica, convivência social prática profissional e atitude empreendedora.

PALAVRAS-CHAVE: Geologia; Ensino Superior; Amazônia

INTRODUÇÃO

Em 2005 foi iniciado o curso de Geologia em Marabá, como parte do Campus da UFPA, integrando-se à tríade de cursos instalados para qualificação profissional voltada para o setor mineral da Amazônia Sul-Oriental. No início, o curso de Geologia contou com apoio organizacional dos cursos de Engenharia de Minas e Engenharia de Materiais, ambos já tinham uma infraestrutura mínima e adequada para ensino, pois haviam sidos desmandados pela empresa Vale, mas diferente das engenharias, o curso

de Geologia possuía escassez de laboratórios, equipamentos e espaços adequados para o desenvolvimento do ensino, pesquisa e extensão, o que impôs desafios significativos à manutenção do curso. Com poucos docentes efetivos, precisou do apoio de instituições como UFES e UFPA (campus Belém) para manter seu funcionamento. Com a realização de concursos, chegou a 10 professores em 2010, mas ainda dependia de colaboradores. Apesar das dificuldades, essa fase foi fundamental para estruturar as bases acadêmicas e garantir a continuidade dos componentes formativos da graduação em Geologia.

A conclusão da primeira turma do curso se deu em 2009, com a graduação de 20 geólogos. Grande parte desses egressos deu continuidade à formação acadêmica em programas de mestrado da UFPA. Em 2011, o curso foi oficialmente reconhecido pelo Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CREA), marcando um importante avanço para os profissionais. Nesse mesmo ano, três professores efetivos foram aprovados em concursos para outras universidades (UFPA e UFSC), o que reduziu o quadro docente para sete professores, exigindo nova organização interna.

A primeira avaliação do curso pelo Ministério da Educação (MEC) ocorreu em 2012, e recebeu conceito 3, uma nota muito aquém para um curso de Geologia. O relatório apontou problemas principalmente na infraestrutura acadêmica.

Com a implantação da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (Unifesspa) em 2013, pelo programa de reestruturação e expansão das Universidade Federais – Reuni (Brasil, 2010), foi criada a Faculdade de Geologia, englobando os cursos de Geologia e de Engenharia civil, ambos atrelados do Instituto de Geociências e Engenharias. Neste mesmo ano, comunidade acadêmica enfrentou um episódio marcante e doloroso: o falecimento de um estudante durante uma prática de campo de mapeamento geológico. Com o incidente, novas diretrizes de segurança em atividades práticas externas foram criadas e reunidas no documento “Protocolo de segurança para práticas de campo”.

Em 2017, o Projeto Pedagógico do Curso (PPC, Unifesspa 2017) foi revisado, tornando-se mais moderno e dinâmico, em conformidade com as Diretriz Curricular Nacional para os cursos de Geologia (MEC 2015). Entre as principais inovações, destaca-se a inclusão de projetos extensionistas obrigatórios entre as componentes curriculares, fortalecendo a integração entre universidade e sociedade. Nesse mesmo período, foi estabelecido um programa de estágio em parceria com a empresa Vale, ampliando as oportunidades de formação prática e inserção profissional dos estudantes.

Já em 2018, os discentes iniciaram o movimento MEJ (Movimento Empresa Júnior) e fundaram a empresa Prospector Júnior, uma iniciativa voltada à promoção da vivência empreendedora e à aplicação prática dos conhecimentos adquiridos em sala de aula. Realizaram serviços de consultoria para pequenas empresas da região e capacitaram os estudantes com diversos minicursos e palestras.

A partir de 2020, com a chegada da pandemia de COVID-19, o curso precisou enfrentar desafios para manter o corpo discente motivado, para evitar a evasão, exigindo adaptações emergenciais no ensino remoto, na gestão acadêmica, no diálogo com alunos e na realização de eventos online. O esforço foi coletivo, docentes, discentes e equipe técnica possibilitaram a continuidade dos trabalhos em andamento.

Em 2024, o curso foi novamente avaliado pelo Ministério da Educação (MEC), obtendo conceito 4 (Sistema E-MEC), o que representou um importante reconhecimento institucional e confirmou os avanços alcançados ao longo dos anos em termos de infraestrutura, ensino, pesquisa e extensão. Com um quadro atual de 10 professores efetivos, que seguem atuando de forma integrada para consolidar a qualidade acadêmica.

Este ano o curso está celebrando 20 anos, com a formação de 261 geólogos (as) e uma história marcada por grandes desafios, conquistas e resiliência, mas também de oportunidades para expansão de cursos de pós-graduação e projetos de pesquisa e desenvolvimento na área de mineração.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados obtidos na pesquisa foram extraídos de fontes primárias e secundárias, incluindo documentos da Unifesspa (atas, PPC, relatório de avaliação do MEC, dados do CRCA – Centro de Registro e Controle Acadêmico) e relatos de professores e alunos. A organização do trabalho se deu de forma cronológica e interpretativa, com posicionamento de enfoque histórico-institucional de conquistas e desafios do curso, e com uma abordagem qualitativa de natureza descritiva. Para aprimoramento da clareza textual de algumas partes do texto foi utilizado a ferramenta de LLM (*large languange modes*), com sugestões criticamente avaliadas pelos autores.

RESULTADOS

Corpo Docente

Na primeira década (2005–2015), o curso funcionou com 10 docentes efetivos em regime concomitante e 13 docentes não concomitantes (Figura 1), com desequilíbrio de gênero e predominância masculina (10 homens e 3 mulheres). Uma parte do quadro docente foi redistribuído para UEMA, UFOPA, UFSC e UFPA, tornando necessária a ampliação da colaboração com professores vinculados a instituições externas, como a UFES e a UFPA, campus Belém.

Na segunda década (2015–2025), o curso continuou com 10 professores efetivos e apesar de novos episódios de exoneração e redistribuição, o tempo de permanência dos docentes no curso é maior, mostrando maior estabilidade e compromisso com a instituição. Além disso, atualmente são cinco homens e cinco mulheres, um avanço significativo em termos de equidade de gênero.

Desde 2005, ciclos sucessivos de elevada rotatividade do corpo docente marcaram o curso de Geologia, fenômeno característico de instituições de ensino superior localizadas fora dos grandes centros urbanos (Siqueira e Alves, 2016). Essa rotatividade docente comprometeu não somente o ensino, mas a consolidação de grupos de pesquisa e de projetos acadêmicos de médio e longo prazo.

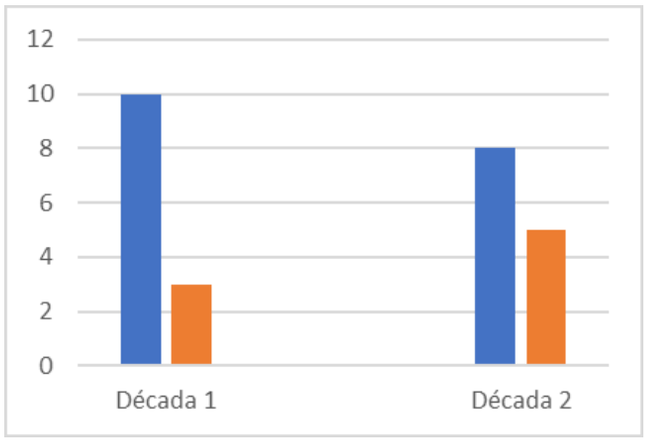


Figura 1 – Distribuição por gênero e vínculo de docentes efetivos do curso de Geologia da Unifesspa nas duas primeiras décadas.

Infraestrutura

No início da sua atuação, o curso de Geologia sofreu com limitações estruturais e operacionais, especialmente no que se refere à ausência de laboratórios adequadamente equipados e à escassez de recursos materiais para o desenvolvimento pleno das atividades de ensino e pesquisa. O único microscópio petrográfico disponível, doado pelo campus da UFPA em Belém, representou o primeiro equipamento de análise óptica para um curso de 20 pessoas na época, evidenciando a precariedade inicial da infraestrutura.

Diante desse cenário, foram adotadas estratégias alternativas, como a criação do Laboratório de Estudos Geológicos (LAEG), concebido como um espaço multifuncional que, apesar de suas limitações, viabilizou atividades práticas fundamentais, como a descrição macroscópica de minerais e rochas; a confecção manual de mapas geológicos. O LAEG (Figura 2) também se consolidou como ambiente de apoio ao estudo autônomo dos discentes, promovendo maior integração entre teoria e prática.

Figura 2 – Primeiro Laboratório de Estudos Geológicos.
Fonte: Arquivo pessoal Alice Cunha da Silva.

Posteriormente, parcerias institucionais permitiram a aquisição de novos equipamentos e material de escritório, com recursos oriundos da UFPA e de projetos de pesquisa apoiados pela Vale, FAPESPA e CNPQ. A construção do prédio próprio da Faculdade de Geologia foi viabilizada com o subsídio da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) (Figura 3A e B). O Museu de Geologia e Espeleologia foi construído com recurso do projeto PROCAV, convênio Vale/UFPA-Marabá/FADESP.

Figura 3 – (A) Atual Laboratório de estudo Geológico e (B) Laboratório de Petrografia.

Egressos - Indicadores acadêmicos

Entre 2009 e 2024, o curso de Geologia da Unifesspa formou 261 geólogos (Figura 4), segundo dados do CRCA (2025), sendo 125 mulheres e 136 homens. O número de concluintes oscilou significativamente ao longo desse período. Até 2011, os dados mostram queda no número de formandos, fato interpretado como possivelmente ligado à rotatividade docente, infraestrutura limita e os impactos da crise econômica de 2008. Mas a partir de 2012, iniciou-se um crescimento, chegando em 2014 a maior quantidade de concluintes do curso no mesmo ano, provavelmente inclui alunos retidos de anos anteriores, melhorias na infraestrutura com a construção do prédio próprio, permanência do corpo docente, ampliação de auxílios estudantis e maior estabilidade acadêmica.

Se manteve relativamente estável em termos de formando entre 2012 e 2020, apesar da crescente instabilidade político-institucional e da redução de investimentos públicos nas universidades. A partir de 2021, com a pandemia da COVID-19, inicia uma nova queda no número de concluintes, provavelmente devido à suspensão do calendário acadêmico, evasão, e dificuldades com práticas, saídas de campo e TCC. A partir de 2023, os dados indicam retomada institucional e acadêmica, com aumento de concluintes.

B

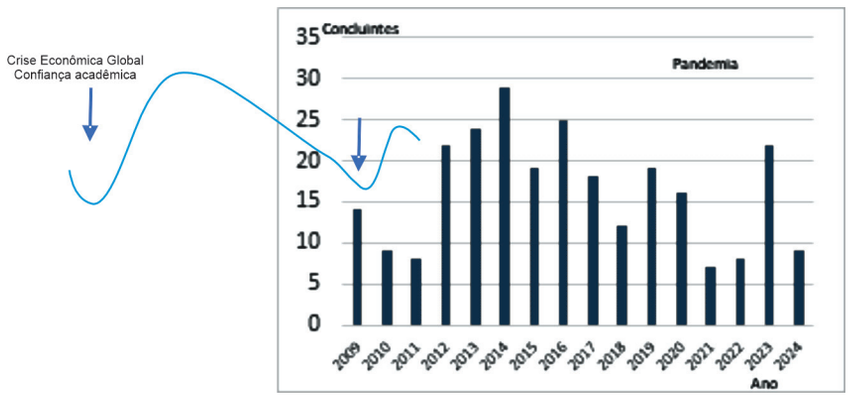


Figura 4 – Distribuição de concluintes (2009-2024), do curso de Geologia Unifesspa.

Protagonismo estudantil

Ao longo dos anos, os alunos desempenharam importante protagonismo político, social e empreendedor com a criação do Centro Acadêmico (CA) que, em 2013, passou a se chamar "Yego Cunha Leal" e a Empresa Prospector Júnior, fundada em 2017 (Figura 5). Em 2018 foi criada a Atlética Vulcânica, que é um espaço de estímulo ao esporte e socialização com estudantes de outros cursos internos e externos à Unifesspa. Além desses, é organizada a tradicional Semana da Geologia, que congrega egressos e estudantes desde 2006, para comemorar o Dia do Geólogo.

O Centro Acadêmico de Geologia Yego Cunha Leal (CAGEO) participa ativamente das decisões acadêmicas-administrativas da Faculdade de Geologia, organiza cursos de aperfeiçoamento, eventos beneficentes e tem contribuído com o cuidado de animais abandonados no campus.

A Prospector Jr - Soluções em Geologia e Meio ambiente, empresa júnior do curso de Geologia, fundada em 28 de agosto de 2017, pelo egresso Sílvio Ângelo Rabelo, presta serviços à sociedade, e conta com a supervisão dos docentes, possibilitando aos alunos a prática profissional.

Figura 5 – Primeiro time de integrantes da Prospector Júnior (com uniforme) juntamente com outros estudantes do curso de Geologia (foto: Prospector Jr. – Soluções em Geologia e Meio Ambiente no Facebook).

Como forma de incentivo a eventos beneficentes, esporte e festividades, que promovem interação social dentro da universidade foi criada a Atlética Vulcânica. Esses órgãos, em conjunto, são responsáveis pela organização de eventos do curso, em especial a Semana de Integração com os calouros e a Semana da Geologia, ambos com a participação dos egressos, que contribuem com palestras sobre trajetórias profissionais.

CONCLUSÕES

Ao completar 20 anos, a Faculdade de Geologia da Unifesspa apresenta uma trajetória marcada por desafios, como a alta rotatividade docente e limitações estruturais iniciais. Entre 2009 e 2024, foram formados 261 geólogos(as), com equilíbrio crescente na participação de mulheres (136 homens e 125 mulheres). As variações no número de concluintes refletem momentos de instabilidade institucional, crise econômica e pandemia, mas também períodos de crescimento e consolidação.

A resiliência e o engajamento do corpo docente, aliado ao protagonismo estudantil — com destaque para a Prospector Júnior —, contribuíram para a sustentação do curso. Atualmente, o curso enfrenta desafios para abertura de programas de pós-graduação na área de Geociências na Amazônia sul oriental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brasil. 2010. Expansão das Universidades Federais. Disponível em: http://reuni.mec.gov.br/expansao. Acesso em: 18/06/2025.

CRCA. 2025. CRCA em números: planilha disponibilizada pelo Centro de Registro e Controle Acadêmico da Unifesspa. Disponível em: [inserir URL]. Acesso em: 08/06/2025.

MEC. 2015. Diretriz Curricular Nacional para os cursos de Graduação na área de Geologia. Disponível em: Acesso em: 07/06/2025

Siqueira, W. R. de; Alves, L. C. F. 2016. Rotatividade de professores universitários: O caso de um campus fora da sede. Revista de Administração, Contabilidade e Economia da Fundace, 7(2). https://doi.org/10.13059/racef.v7i2.324

Unifesspa. 2017. Resolução nº 111, de 27 de abril de 2017: Aprova o Projeto Pedagógico do Curso de Bacharelado em Geologia da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará – Unifesspa. Disponível em: 15.2-Resoluo_n_111_de_27.04.2017_Geol2017.pdf. Acesso em: 18/05/2025.

UTILIZAÇÃO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL GENERATIVA NA PRODUÇÃO DE MATERIAIS DIDÁTICOS GEOLÓGICOS PARA CRIANÇAS-INDÍGENAS DO MUNICÍPIO DE UIRAMUTÃ (RR)

Guilherme Fontenele Galeno[1]; Samir do Nascimento Valcácio[1]

[1] Universidade Federal de Roraima - UFRR;

(guilhermefontenele2021@gmail.com; samir.valcacio@ufrr.br)

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo desenvolver materiais didáticos sobre geologia para crianças indígenas, voltado à realidade do município de Uiramutã, em Roraima. Embora temas de cunho geológico estejam presentes no cotidiano de comunidades indígenas — como riscos geológicos, impactos ambientais de resíduos sólidos, queimadas, recursos hídricos e minerais —, esses assuntos são geralmente pouco explorados nas dinâmicas escolares na Amazônia e, quando abordados, costumam estar descontextualizados das realidades socioculturais dos povos originários. Nesse cenário, ferramentas baseadas em inteligência artificial generativa (IA) apresentam potencial para integrar conteúdos científicos nestas regiões. O presente trabalho adotou uma metodologia a partir de três etapas principais: (1) elaboração de textos didáticos com explicações teóricas acessíveis e experimentos práticos (com respectivos fundamentos científicos), gerados a partir de um *prompt* padrão, utilizando as versões gratuitas de seis modelos de linguagem de grande escala; (2) análise por critérios de clareza e legibilidade com base em métricas avaliativas, utilizando índices e questionários SMOG, Coh-Metrix-Port e DISCERN; (3) seleção dos três modelos com melhor desempenho, com refinamento iterativo dos prompts até a obtenção de textos adequados aos objetivos didáticos. Apesar das limitações observadas como recusas sistemáticas de geração de conteúdo devido às políticas internas dos modelos e distorções ocasionais nas imagens, as ferramentas de IA generativa demonstraram eficácia na produção de conteúdo educativo adaptado às necessidades do público-alvo. Os resultados sugerem que o uso, desde que supervisionado, pode contribuir para a criação de recursos didáticos inclusivos em regiões com baixa oferta de material educativo contextualizadas às realidades locais.

PALAVRAS-CHAVE: Large Language Models; Inteligência Artificial Generativa; Uiramutã; Educação Indígena

INTRODUÇÃO

O município de Uiramutã está localizado na porção nordeste do Estado de Roraima, uma região caracterizada por notável diversidade geológica e geomorfológica (Teixeira, 2022), que, segundo Lauriola (2003), habitam comunidades indígenas como os Macuxi, Wapichana, Ingarikó, Patamona e Taurepan.

Essas comunidades enfrentam, historicamente, desafios significativos no campo da educação, especialmente devido à precariedade da infraestrutura, à escassez de materiais didáticos contextualizados e à falta de profissionais qualificados para atuar em contextos interculturais na Amazônia (Santos, 2024)

Outrossim, vemos que o uso de inteligências artificiais (IA) aplicadas ao ensino representa uma forma promissora de mediação pedagógica e interação com conteúdo complexo, podendo ser aplicada em comunidades indígenas diversas (Jian, 2023).

Zhao *et al*. (2024) apresenta, no contexto das geociências, os modelos de IA como ferramentas auxiliadoras para entendimento dos sistemas complexos da Terra, que podem ajudar cientistas no desenvolvimento sustentável e no gerenciamento de recursos naturais. Além disso, recursos de IA podem contribuir para o ensino mais personalizado, analítico e interativo (Zawacki-Richter *et al*., 2019). Todavia, no campo de ensino geológico, tais ferramentas demonstram-se incipiente no campo do ensino-aprendizagem, embora promissoras para difusão do conhecimento científico.

Com base nesse contexto, este trabalho objetivou produzir materiais educativos em temáticas de geologia a partir de técnicas de IA generativa com uso de Modelos de Linguagem de Grande Escala (LLMs), contextualizando o material para crianças indígenas do município de Uiramutã-RR.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em 3 etapas, priorizando a adequação cultural, ambiental e pedagógica dos conteúdos, em consonância com o contexto etnopedagógico das comunidades localizadas na Terra Indígena Raposa Serra do Solm no município de Uiramutã-RR.

Produção Textual e Visual

Na primeira etapa foi realizada a seleção de temas relevantes, com foco em aspectos geológicos e problemáticas locais. Os temas produzidos foram: (A) Resíduos sólidos; (B) Florestas e queimadas, (C) Riscos geológicos e Desastres naturais; (D) Rios e Proteção das águas; (E) Recursos Minerais e Energéticos.

A produção do material didático foi realizada entre março e junho de 2025, com o uso das versões gratuitas, no período que a pesquisa foi conduzida, de seis LLMs: ChatGPT (OpenAI), Claude (Anthropic), DeepSeek (High-Flyer), Gemini (Google), Grok (xAI) e Qwen (Alibaba Cloud). As imagens foram geradas com atenção à diversidade e ao respeito pelos traços culturais das comunidades indígenas, evitando representações estereotipadas. Para a etapa de ilustração, foram empregados os modelos de geração de imagens *gpt-image-1*, *DALL·E 3* e *Aurora*.

Tanto os textos quanto as imagens geradas foram inspirados na literatura didática existente, adotando estruturas textuais similares às utilizadas em materiais de geologia voltados ao público infanto-juvenil, como os trabalhos de Romaine (2017) e a série Junior Scientists, de Vestal (2020). Com base nesse referencial, o material didático foi organizado em quatro blocos principais: (i) ilustração digital contextualizada à cultura indígena local; (ii) explicação teórica do tema abordado; (iii) três experimentos práticos com materiais de fácil acesso nas comunidades; e (iv) descrição do passo a passo experimental acompanhada de sua fundamentação científica.

Para a geração textual do material didático foi fornecido o seguinte *prompt* padrão: "Eu estou fazendo um livro educativo infantil para crianças indígenas do município de Uiramutã, em Roraima. O meu livro terá vários capítulos, cada um tendo: uma página com uma imagem ilustrativa IA sobre o tema do capítulo (que eu adoraria que você sugerisse), a segunda página com um texto geral apresentando a teoria do que será abordado no capítulo (Use o nome do capítulo como de "[temática do capítulo]"). A terceira página apresenta etapas um experimento (que eu gostaria que você propusesse) envolvendo o título do capítulo, em que as crianças possam executar facilmente. Ainda na terceira página, você precisa fazer uma lista de materiais necessários para executar o experimento (no texto coloque apenas "Materiais:". Por fim, a quarta página será a parte do "Passo a passo", onde você diz, por etapas, como o experimento deverá ser executado. Ainda no final da página, deverá ter uma explicação científica do experimento (titulada "A Ciência por trás") que você propôs. Não esqueça de produzir um pequeno texto simples sobre "Cuidados" logo após o texto dos "materiais" para se ter durante o experimento. Na parte dos materiais que você produziu para o experimento, faça uma sugestão de imagem IA. Também faça essa sugestão na parte do "Passo a passo".".

Análise Linguística e Validação Pedagógica

Na segunda etapa, os textos gerados foram avaliados quanto à clareza e acessibilidade textual por meio de métricas linguísticas e discursivas. O *Coh-Metrix-Port* (Scarton e Aluísio, 2010) foi utilizado para analisar aspectos de coesão e coerência, como uso de conectivos, complexidade sintática e diversidade lexical. O Índice *Simple Measure of Gobbledygook* (SMOG) (McLaughlin, 1969) permitiu estimar a legibilidade a partir da frequência de palavras polissilábicas, indicando o nível de escolaridade necessário

para a compreensão dos textos. Já o questionário *DISCERN* (Charnock *et al*., 1999), adaptado ao contexto educacional, foi empregado para verificar a qualidade da informação, considerando clareza, imparcialidade e confiabilidade do conteúdo.

Estas métricas foram selecionadas por fornecerem uma avaliação direta do produto textual, sendo o Coh-Metrix-Port e o SMOG para analisar aspectos formais do texto, o DISCERN para verificar a consistência e credibilidade do conteúdo.

Além disso, todo o material passou por revisão e validação crítica realizada pelos autores, com o objetivo de identificar e corrigir possíveis imprecisões ou informações incorretas, assegurando a qualidade e evitando a disseminação de desinformações.

Refinamento Supervisionado por *Prompt Engineering*

Na terceira etapa, foram selecionados os três modelos de linguagem com melhor desempenho nas métricas quantitativas aplicadas na fase anterior. A partir dessa seleção, conduziram-se interações iterativas com ajustes sucessivos de *prompts*, até se alcançar níveis satisfatórios de adequação pedagógica, cultural e científica dos textos gerados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A geração de imagens por inteligência artificial demonstrou-se um fator limitante durante a produção dos capítulos. Na primeira etapa do trabalho o modelo de geração de imagem do Grok 3 apresentou sistema de moderação restritivo, o que resultou na impossibilidade de produção de diversas imagens solicitadas, mesmo quando os comandos utilizados estavam em conformidade com as diretrizes da ferramenta generativa.

Por outro lado, o gerador de imagens do ChatGPT (DALL·E 3) apresentou melhores resultados, sendo capaz de gerar imagens mais compatíveis com as descrições solicitadas. Ainda assim, verificaram-se distorções ou desvios em relação às descrições fornecidas em algumas imagens, o que demandou correções e reformulações nos *prompts* utilizados.

As médias obtidas nas métricas aplicadas na Etapa 2 indicam que os modelos ChatGPT, Grok e Gemini obtiveram os valores mais elevados no índice de legibilidade, com o ChatGPT alcançando média de 65,74 (Figura 1A). Na análise realizada por meio do índice SMOG (Figura 1C), os modelos ChatGPT, Claude e Grok apresentaram as melhores pontuações em termos de complexidade linguística compatível com o público-alvo. Já na avaliação textual baseada no questionário DISCERN (Figura 1B), as pontuações foram, em geral, inferiores ao valor médio esperado, o que pode ser atribuído ao rigor das 16 questões utilizadas. Nessa métrica, os maiores valores foram obtidos pelos modelos ChatGPT (2,94), Grok (2,86) e Gemini (2,85).

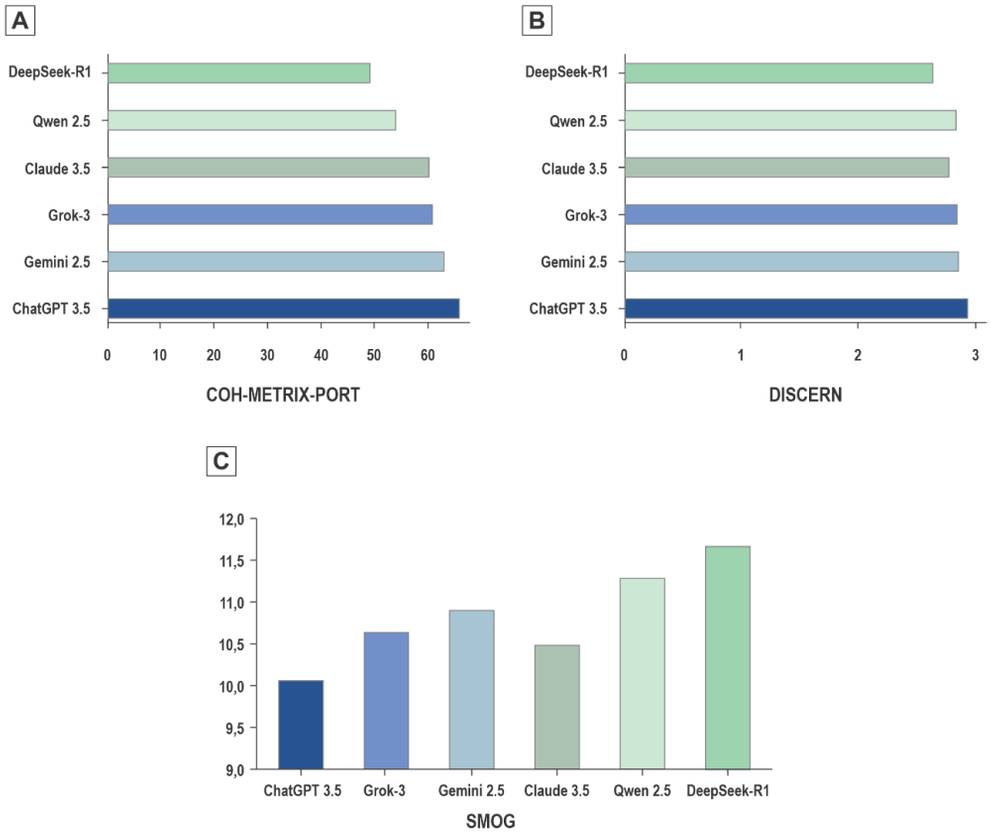


Figura 1 - Diagrama comparativo com as médias de métricas utilizadas neste trabalho. Em (A) Coh-Metrix-Port; em (B) pontuações obtidas através do questionário DISCERN; em (C) índice SMOG.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados indicam que o uso supervisionado e contextualizado de tecnologias emergentes de inteligência artificial generativa constitui uma estratégia viável para a elaboração de materiais educativos em contextos com limitada oferta didática e elevada diversidade sociocultural. A estrutura adotada — composta por texto teórico, experimentação prática, fundamentação científica e orientações de segurança — demonstrou potencial para facilitar a assimilação de conceitos geocientíficos de maneira acessível e culturalmente adequada.

Os dados de leiturabilidade obtidos por meio das métricas do Coh-Metrix-Port indicaram que os modelos ChatGPT 3.5, Grok-3 e Gemini 2.5 apresentaram, no período analisado, maior potencial para a geração de conteúdo didático, com médias superiores às demais LLMs avaliadas. Com base no índice SMOG, os modelos ChatGPT 3.5, Grok-3 e Claude 3.5 obtiveram os menores valores médios, sugerindo maior adequação à produção de textos com menor complexidade lexical e, portanto, mais acessíveis ao público-alvo.

Já os resultados provenientes da aplicação do instrumento DISCERN apresentaram médias inferiores a 3, o que caracteriza os textos como de qualidade moderada, com limitações quanto à confiabilidade das informações científicas. Ainda assim, os conteúdos gerados demonstram potencial de uso, desde que submetidos a revisões editoriais que assegurem maior precisão conceitual e consistência informativa.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Análise de Imagens Digitais do Núcleo de Pesquisas Energéticas e ao Departamento de Geologia da Universidade Federal de Roraima (UFRR) pela infraestrutura colocada à disposição durante o trabalho. O primeiro autor agradece à Fundação Ajuri de apoio ao Desenvolvimento da UFRR pela concessão de bolsa de iniciação à extensão. Este trabalho contou com apoio da Fundação Itaú (Projeto "GAIA: Ensino de Geologia na Amazônia por meio de Inteligência Artificial", coordenado por Samir Valcácio)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Charnock, D., Shepperd, S., Needham, G., & Gann, R. (1999). DISCERN: an instrument for judging the quality of written consumer health information on treatment choices. *Journal of Epidemiology and Community Health, 53*(2), 105–111.

Jian,M.J.K.O. (2023). Personalized learning through AI. *Advances in Engineering Innovation*,5,16-19.

Lauriola, V.M. (2003). Ecologia global contra diversidade cultural? Conservação da Natureza e Povos Indígenas no Brasil. O Monte Roraima e Terra Indígena Raposa- Serra do Sol. *Ambiente & Sociedade*. Vol.1. jan/jul. p. 165-189.

McLaughlin, G. H. (1969). SMOG grading — A new readability formula. *Journal of Reading*, 12(8), 639–646.

Romaine, G. (2017). Geology Lab for Kids: 52 projects to explore rocks, gems, geodes, crystals, fossils, and other wonders of the Earth's surface. Beverly (MA): *Quarry Books*, 144 p.

Santos, A. de O. (2024). Impactos das políticas educacionais nas comunidades ribeirinhas e indígenas da Amazônia. *Revista Ibero-Americana De Humanidades, Ciências E Educação*, *10*(7), 998–1013.

Scarton, C. E., & Aluísio, S. M. (2010). Análise da Inteligibilidade de textos via ferramentas de Processamento de Língua Natural: adaptando as métricas do Coh-Metrix para o Português. *Linguamática*, 2(1), 45-61.

Teixeira F, M. (2022). Geodiversidade do municipio do Uiramutã, Roraima e o Potencial para o Geoturismo. *William Morris Davis - Revista De Geomorfologia*, *3*(1), 1–9.

Vestal, M. (2020). Geology for Kids: A Junior Scientist's Guide to Rocks, Minerals, and the Earth Beneath Our Feet. Emeryville (CA): *Rockridge Press*, 98 p.

Zawacki-Richter, O., Marín, V.I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education – where are the educators? *International Journal of Educational Technology in Higher Education,* 16, 39, 1-27.

Zhao, T. *et al*. (2024). Artificial intelligence for geoscience: Progress, challenges, and perspectives. *The Innovation*, 5(5), 100691.

ÓLEOS LUBRIFICANTES E A SUSTENTABILIDADE: DESENVOLVIMENTO DE PLATAFORMA DIGITAL COMO MEIO DE DIVULGAÇÃO SOCIAL PARA USO E DESCARTE DE RESÍDUOS

Luana dos Santos Araújo[1]; Suelen Nonata de Souza Marques[1]

[1]Universidade Federal do Amazonas – UFAM

santos.araujo@ufam.edu.br*; nonata@ufam.edu.br)*

RESUMO

O descarte inadequado de óleo lubrificante usado ou contaminado (OLUC) causa sérios impactos ambientais. Este trabalho desenvolveu uma plataforma digital para informar a população de Manaus sobre o descarte correto desse resíduo. A pesquisa foi qualitativa e incluiu revisão bibliográfica, levantamento de campo, contato com empresas e desenvolvimento do site. Foram identificadas dificuldades como a falta de resposta dos pontos de coleta e a atuação de locais não autorizados, que armazenam o OLUC de forma incorreta. O site LubCiclo, criado no Canva e publicado no WordPress, reúne dados sobre os tipos de óleo, legislação e locais regularizados de descarte, promovendo a conscientização ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: Óleo Lubrificante Usado; OLUC; Descarte adequado; Manaus.

INTRODUÇÃO

A Engenharia de Petróleo e Gás desempenha um papel essencial no fornecimento de energia e matérias-primas que sustentam diversas atividades econômicas. No entanto, diante dos desafios ambientais contemporâneos, torna-se indispensável integrar conceitos de sustentabilidade às práticas da engenharia, promovendo soluções que atendam às necessidades humanas sem comprometer a saúde dos ecossistemas. (Calijuri & Davi, 2013). Isso inclui a adoção de tecnologias que induzam ao pensamento coletivo, sistemático e ambientalmente responsável, especialmente na gestão de resíduos. A cibercultura, conforme definida por Lévy (1999), representa um novo paradigma de organização social, onde a comunicação digital permite maior circulação de ideias e engajamento coletivo. Tais recursos têm se mostrado eficazes também na área da engenharia, promovendo inovações operacionais, aumento de eficiência e disseminação do conhecimento técnico, inclusive no meio acadêmico. Jenkins (2009) destaca que esse ambiente digital favorece a participação cidadã e a criação colaborativa de soluções, como é o caso das iniciativas voltadas à sustentabilidade. Entre os resíduos gerados pelo setor de petróleo e gás, os óleos lubrificantes ocupam lugar de destaque. De acordo com

a NBR 10004:2004, os óleos lubrificantes usados ou contaminados são classificados como resíduos perigosos, pertencentes ao grupo A (perigosos), subgrupo A1 (ABNT, 2004). Quando descartados de forma inadequada, esses resíduos podem causar sérios danos ambientais, como a contaminação do solo e da água, além de oferecer riscos à saúde humana (LWART, 2022). De acordo com Deus *et al*., (2015), a produção científica teve crescente aumento em publicações que envolvem o tema resíduos sólidos, com percentual quase triplicado entre 2003 e 2013. No entanto, tais publicações não são em sua totalidade, conteúdos que estejam disponíveis para a comunidade em geral, restringindo-se assim ao campo técnico e por vezes segregando a sociedade civil da oportunidade de conhecimento sobre o tema. Isso reforça a necessidade de plataformas acessíveis, com linguagem menos técnica e voltadas para a educação ambiental. Nesse sentido, a presente pesquisa propõe a elaboração de uma plataforma digital que organize e divulgue informações sobre o descarte correto de resíduos de óleos lubrificantes usado ou contaminado, com foco na cidade de Manaus. A proposta visa contribuir com a divulgação de práticas sustentáveis, facilitar o acesso da população ao conhecimento técnico, estimular atitudes conscientes e fortalecer a gestão ambiental urbana. Essa iniciativa está alinhada ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável nº 12 da ONU (consumo e produção responsáveis) e aos princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), além de servir apenas como modelo replicável para outras localidades. Assim, os esforços desta pesquisa concentram-se em: (1) classificar os tipos de óleos lubrificantes e os resíduos gerados na sua comercialização; (2) estabelecer critérios legais para o descarte adequado; (3) mapear os principais pontos de coleta de óleo usado em Manaus; (4) facilitar o acesso da comunidade ao conhecimento técnico sobre o tema; e (5) promover a consciência ambiental da população por meio da tecnologia.

MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa foi realizada em Manaus (AM), com abordagem qualitativa, natureza aplicada e caráter não experimental. O objetivo foi desenvolver uma plataforma digital que organizasse e divulgasse informações sobre o descarte correto de óleo lubrificante usado ou contaminado (OLUC), classificado como resíduo perigoso pela NBR 10004:2004.

A primeira etapa consistiu na revisão bibliográfica, com base em artigos científicos, relatórios técnicos, normas da ANP e legislações como a Lei nº 12.305/2010 e a Resolução CONAMA nº 362/2005. Essa base teórica orientou os critérios legais e ambientais para descarte adequado. Em seguida, foi realizada a pesquisa de campo, com levantamento de possíveis pontos de coleta na cidade. Utilizando dados públicos da ANP, os locais foram identificados e contatados para confirmar se realizam coleta autorizada de OLUC. Algumas empresas foram confirmadas como pontos regularizados. A estrutura do site foi criada inicialmente no Canva, para definir visualmente o conteúdo e a organização das seções. Após finalização da interface, foi feito o registro do domínio

e a plataforma foi publicada via WordPress, tornando-se acessível ao público. A plataforma reúne informações sobre tipos de óleos, normas, locais de descarte e orientações práticas, com foco em acessibilidade e linguagem simples. Ao final, o site foi divulgado digitalmente, visando ampliar o alcance da informação e incentivar práticas sustentáveis na comunidade.

RESULTADOS

A presente pesquisa resultou na consolidação de dados teóricos e práticos acerca do descarte adequado de óleo lubrificante usado ou contaminado (OLUC) na cidade de Manaus (AM). A etapa bibliográfica permitiu compreender a legislação vigente, os impactos ambientais do descarte incorreto e as possibilidades de reuso do resíduo, fornecendo os parâmetros necessários para o levantamento de campo. Com base em dados oficiais da Agência Nacional do Petróleo (ANP), foram identificadas empresas autorizadas para a coleta de OLUC no município. Em seguida, foram realizadas tentativas de contato com esses estabelecimentos, visando validar sua atuação regular e obter informações detalhadas sobre os métodos de coleta e destinação final. Apesar de dificuldades de retorno por parte de alguns agentes, foi possível confirmar a operação regular de empresas específicas no setor. Como principal produto da pesquisa, foi desenvolvido e nomeado um site institucional, estruturado com base nos dados obtidos. A plataforma reúne, de forma clara e acessível, informações sobre os tipos de óleos lubrificantes, os locais legalizados para descarte, a legislação aplicável e orientações sobre práticas sustentáveis. A iniciativa visa facilitar o acesso da população à informação confiável, promovendo a educação ambiental e incentivando o descarte responsável. A plataforma já está disponível para acesso público por meio do link: www.lubciclo.com.br . As figuras apresentadas neste trabalho ilustram a interface do site, destacando aspectos de organização, usabilidade e acessibilidade voltados ao usuário final.

Interface do site

O site LubCiclo foi desenvolvido com foco em acessibilidade, clareza visual e incentivo à sustentabilidade. Figura A: Apresenta a página inicial com o nome do site, slogan e elementos gráficos relacionados à energia limpa e responsabilidade ambiental, convidando o usuário à navegação. Figura B: Mostra a seção informativa sobre o que é óleo lubrificante e os três principais tipos automotivos disponíveis no mercado: sintético, semissintético e mineral. Figura C: Exibe as principais normas e regulamentações sobre o descarte de OLUC, como as resoluções do CONAMA e portarias interministeriais, com linguagem acessível. Figura D: Apresenta mapas com os pontos de coleta regularizados em Manaus, como Posto São Francisco, AutoCenter MaxiTroca, Sada Performance e Vietto Car Service. Figura E: Mostra o funcionamento correto do descarte do óleo, desde o armazenamento até o rerrefino, além de dicas úteis para o público sobre descarte seguro e legal.

Figura 1 – Interface do site; a) página inicial; b) seção informativa sobre óleo lubrificante.

Figura 2 – Interface do site; c) principais normas e regulamentações sobre o descarte de OLUC; d) mapas com os pontos de coleta de OLUC.

Figura 3 – Interface do site; e) funcionamento correto do descarte de OLUC e dicas.

DISCUSSÕES

Durante o desenvolvimento da pesquisa, identificou-se não apenas a importância da disponibilização de informações acessíveis sobre o descarte de óleo lubrificante usado ou contaminado (OLUC), mas também problemas práticos que comprometem a gestão adequada desse resíduo na cidade de Manaus.

Uma das principais dificuldades encontradas foi a falta de retorno por parte das empresas contatadas. Apesar da identificação de pontos de coleta com base em dados públicos, muitos estabelecimentos não responderam às tentativas de comunicação, o que dificultou a validação das informações e a confirmação de que realmente realizam a coleta de OLUC conforme as exigências legais.

Além disso, foi constatada a existência de pontos de descarte não autorizados, ou seja, locais que, embora realizem a coleta do resíduo, não possuem autorização legal para tal serviço. Essa informalidade representa um sério risco ambiental, especialmente porque muitos desses locais armazenam o óleo de forma inadequada, sem contenção apropriada, o que pode resultar em vazamentos, contaminação do solo, da água e prejuízos aos ecossistemas urbanos próximos. Essas constatações evidenciam a necessidade de ações mais efetivas de fiscalização, incentivo à regularização dos pontos de coleta e educação ambiental, tanto para empresas quanto para a população. Também reforçam a relevância de iniciativas como a criação do site LubCiclo, que busca ampliar o acesso à informação confiável e contribuir para o fortalecimento de práticas sustentáveis em nível local. A plataforma pode ainda servir como modelo replicável para outras regiões que enfrentam desafios semelhantes na gestão de resíduos perigosos.

CONCLUSÕES

A criação da plataforma LubCiclo representa um passo importante na promoção da sustentabilidade e da educação ambiental em Manaus, ao facilitar o acesso da população a informações sobre o descarte correto de óleo lubrificante usado. A pesquisa evidenciou, no entanto, desafios relevantes, como a dificuldade de comunicação com empresas e a existência de pontos de descarte irregulares, que representam riscos ambientais. Diante disso, a iniciativa mostra-se relevante não apenas como ferramenta informativa, mas também como apoio à fiscalização, conscientização e incentivo a práticas ambientalmente corretas.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à Universidade Federal do Amazonas, pela oferta de Editais de Iniciação Científica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR: 10004: Informação e documentação: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

Brasil. Lei 12.305, de 05 de agosto de 2010. Institui a política nacional de resíduos

Calijuri, M. C.; Cunha, D. G. F. Engenharia ambiental: Conceitos, tecnologia e gestão. Elsevier Brasil, 2013.

Deus, R. M.; Battistelle, R. A. G.; Silva, G. H. R. Engenharia Sanitária Ambient, v.20 n.4, out/dez. 685-698. 2015.

Lévy, P. Cibercultura *et al*. tradução de Carlos Irineu da Costa. São Paulo: Editora, v. 34, n. 3, 1999.

Jenkins, Henry. Cultura da convergência. Tradução: Suzana Alexandria. São Paulo. Aleph, v. 2, 2009.

Zalán, P. V. (2004). Evolução fanerozóica das bacias sedimentares brasileiras. In Mantesso-Neto, V. *et al*. (Orgs.). *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Flávio Marques de Almeida.* São Paulo: DECA, 2004, 595-612.

PALEONTOLOGIA NA ESCOLA: UMA PROPOSTA LÚDICA COM PINTURAS DE RÉPLICAS DE FÓSSEIS NO MUNICÍPIO DE PORTO VELHO/RO

Maíza Moreira Ribeiro Martarole[1]; Andrea Sander[2]; Patricia Duringer Jacques[3]

[1]Serviço Geológico do Brasil; [2]Serviço Geológico do Brasil;
[3]Serviço Geológico do Brasil

maiza.ribeiro@sgb.gov.br; andrea.sander@sgb.gov.br; patricia.jacques@sgb.gov.br

RESUMO

As geociências, apesar de presentes no cotidiano escolar e compreendem uma área abrangente de conhecimentos que permeiam as áreas da biologia, geografia, história, física, matemática e química, ainda são abordadas de forma fragmentada nos currículos do ensino fundamental, sendo limitada à teoria, devido muitas vezes, à falta de material didático adequado. Dentre essas áreas, a Paleontologia, segue subexplorada em sala de aula, muitas vezes, devido à escassez de materiais acessíveis e à restrição legal ao uso de fósseis reais. A pesquisa foi realizada no contexto da 21ª Semana Nacional de Ciência e Tecnologia, em escolas públicas de Porto Velho (RO) e teve como objetivo promover a popularização da paleontologia e despertar o interesse científico entre alunos da educação infantil e do ensino fundamental, por meio de oficinas de pinturas práticas e lúdicas com réplicas de fósseis em gesso, seguidas de um questionário de feedback com perguntas respondidas por professores. Os resultados indicaram alto grau de engajamento e entusiasmo por parte dos alunos, além de avanços na compreensão sobre fósseis. As oficinas demonstraram potencial para integrar ciência, educação e sustentabilidade, tornando o ensino de ciências mais atrativo, através de experiências sensoriais, cognitivas e lúdicas.

PALAVRAS-CHAVE: Paleontologia; Educação Geocientífica; Oficinas de Pintura;

INTRODUÇÃO

As Geociências ou Ciências da Terra compreendem uma área abrangente de conhecimentos que permeiam as áreas da biologia, geografia, história, física, matemática e química, estando presente no cotidiano dos alunos. No entanto, muitas vezes, as geociências têm uma abordagem fragmentada durante a formação desses estudantes. Compiani (1996) destaca a importância dos discentes se apropriarem dos conhecimentos das geociências, para desenvolverem uma visão ampla, com dimensões locais, regionais e planetárias do espaço e do tempo, reduzindo assim a visão antropocêntrica, o que prejudica a compreensão dos impactos da humanidade no meio em que vive.

Dentre as diversas áreas das geociências, se insere a paleontologia, uma interface entre geologia e biologia, definida por Simões, Rodrigues e Soares (2015) como a ciência que "*estuda os fósseis, ou seja, o vasto documentário de vida pré-histórica*". Estes autores destacam que os fósseis e, em particular os dinossauros midiáticos, são a porta de entrada para os estudantes de todas as idades à ciência.

Apesar disto o potencial pedagógico da paleontologia é subexplorado em sala de aula. Por um lado, a BNCC (Base Nacional Comum Curricular) faz referência à paleontologia e aos fósseis apenas no sexto ano do ensino fundamental, destacando a habilidade de "Identificar diferentes tipos de rocha, relacionando a formação de fósseis a rochas sedimentares em diferentes períodos geológicos" (BRASIL, 2018), e em parte, pela dificuldade em se encontrar material didático, em linguagem acessível e adequada, à idade dos alunos. Este material, quando disponível, em geral está redigido em linguagem excessivamente técnica e muitas vezes em língua estrangeira. Outra dificuldade está no acesso aos fósseis em si, uma vez que a legislação brasileira é restritiva quanto a disponibilização de material fossilífero, considerando que na Constituição do Brasil de 1988, os fósseis são bens da União e que há a responsabilidade do Estado na defesa deste patrimônio natural, entre diversas outras leis, que proíbem e criminalizam a venda e posse deste material fora das instituições de pesquisa. Por este motivo os fósseis não estão presentes em sala de aula, salvo raras exceções e a um público restrito.

As ações realizadas são estratégias de divulgação e popularização da ciência, pois os fósseis, e em particular os "midiáticos dinossauros" (SIMÕES; RODRIGUES; SOARES, 2015) povoam o imaginário infantil, sendo foco de diversas histórias, filmes e jogos de grande aceitação na faixa etária do público alvo (crianças da educação infantil e ensino fundamental). Os fósseis instigam a curiosidade dos alunos, provocando uma série de discussões e abrindo a possibilidade da introdução de diversos assuntos.

Diante desse cenário, o presente estudo visa apresentar atividades de divulgação geocientífica, voltadas ao despertar da curiosidade e do interesse dos alunos pela paleontologia, bem como analisar os efeitos pedagógicos de oficinas de pintura de réplicas de fósseis em gesso realizadas com alunos da rede pública municipal e estadual do município de Porto Velho (RO) em ações educativas realizadas pela equipe do SGBeduca, do Serviço Geológico do Brasil, no âmbito da 21ª Semana Nacional de Ciência e Tecnologia.

MATERIAIS E MÉTODOS

As ações foram realizadas em seis escolas públicas, municipais e estaduais, do município de Porto Velho (RO), envolvendo 11 professores e 620 alunos com idades entre 4 e 12 anos, da Educação Infantil e Ensino Fundamental I. Cada sessão durou aproximadamente 90 minutos e contou exposição e apresentação sobre diversos fósseis, incluindo os da megafauna da Região Norte do Brasil, como a garra de preguiça-gigante (*Eremotherium laurillardi*) e dentes do *Purussaurus brasiliensis*, além de réplicas de dentes de *Tyrannosaurus rex* e *Megalodon*, que despertaram grande curiosidade entre os

alunos. Após a apresentação as crianças participaram de oficinas de pinturas de réplicas de fósseis em gesso, onde escolhiam três peças, para pintar e levar para casa, estendendo o assunto para além do ambiente escolar.

Após a atividade, foi aplicado um formulário de feedback, para avaliação e impacto pedagógico das ações de divulgação geocientífica, com perguntas fechadas e abertas, voltadas para os professores. As questões investigavam:

- Qualidade das réplicas de fósseis;
- Eficácia das oficinas no apoio ao ensino de geociências;
- Adequação das réplicas para atividades práticas como pinturas;
- Recomendação da oficina a outros professores;
- Percepção da equivalência entre as réplicas e fósseis de museus;
- Interesse por investigação científica;
- Conexão entre fósseis e mudanças ambientais;
- Relatos sobre a experiência dos alunos.

RESULTADOS

As ações educativas envolvendo atividades práticas como as oficinas de pintura com réplicas de fósseis em gesso, realizadas com alunos de escolas públicas do município de Porto Velho (RO), foram avaliadas por professores participantes por meio de um questionário estruturado (Quadro 1). Os resultados demonstraram respostas altamente positivas.

As questões iniciais de 01 a 03 são campos de identificação dos entrevistados, das escolas e o nível de ensino. A questão 4: Como você avalia a qualidade das réplicas de fósseis? 100% dos entrevistados consideraram como “excelente”, evidenciando a qualidade dos materiais utilizados, tanto em termos de fidelidade visual quanto de acabamento.

A questão 5 investigou o interesse dos alunos durante o manuseio das réplicas, sendo que todos os professores relataram que os estudantes demonstraram “muito interesse”, o que reforça o caráter interativo, envolvente e atrativo da atividade.

Quadro 1 - Questões do questionário aplicado aos professores participantes

Nº	Questão	Tipo de Resposta
01	Nome do(a) professor(a)	Resposta aberta
02	Escola participante	Resposta aberta
03	Nível escolar atendido	Resposta aberta
04	Como você avalia a qualidade das réplicas de fósseis?	Excelente/ Boa/ Ruim
05	Os alunos demostraram interesse ao manusear as réplicas	Sim / Algum interesse / pouco ou nenhum interesse
06	As oficinas contribuíram para os objetivos de ensino e compreensão da paleontologia?	Sim, ajudaram bastante/ moderadamente com ajuda/ Não
07	As réplicas são adequadas para atividades práticas, como pintura?	Sim, adequadas/ Não, são complexas demais / Não, simples demais
08	Você recomendaria a oficina de pintura para outros professores?	Sim, recomendaria / Talvez / Não
09	A experiência com réplicas proporcionou vivência semelhante a uma visita a museus?	Sim/Não
10	Houve mudança no interesse ou entusiasmo dos alunos por geociências ou investigação científica após a oficina?	Sim, gerou grande interesse/ Sim, o interesse moderado / Não houve interesse
11	Os alunos conseguiram realizar a conexão entre fósseis e mudanças ambientais?	Sim, entenderam bem / Sim, com reforço / Não
12	Comentários adicionais sobre a experiência	Resposta aberta

Já na questão 6, sobre a eficácia das oficinas de pintura de réplicas de fósseis no apoio aos objetivos de ensino e na melhoria da compreensão dos alunos sobre a paleontologia, todos os docentes afirmaram que os recursos “ajudaram bastante”, destacando o potencial da abordagem para integrar saberes científicos ao conteúdo curricular, favorecendo a contextualização do conhecimento explorado em sala de aula.

A questão 7 avaliou se as réplicas são adequadas para atividades práticas, como pintura e novamente, as respostas foram unânimes, todos consideraram as réplicas “adequadas”, demonstrando que as atividades práticas e interativas, valorizam a experimentação e envolvem os participantes, tornando o ensino de ciências mais atrativo, através de experiências sensoriais, cognitivas e lúdicas através da pintura das réplicas em gesso. De forma semelhante, na questão 8, os professores foram unânimes em afirmar que “recomendariam” as oficinas de pintura para outros colegas profissionais da educação, reforçando o valor pedagógico e o caráter replicável da ação. Na questão 9, todos os professores apontaram que as réplicas proporcionaram aos estudantes uma experiência similar à observada em visitas aos museus, essa percepção evidencia o papel das atividades na popularização das geociências, quando amplia o acesso ao conhecimento paleontológico, promovendo a oportunidade de uma vivência educativa enriquecedora, rompendo barreiras geográficas e socioeconômicas e estimulando o interesse dos alunos por temas ligados às ciências da Terra.

Na questão 10, que investigou possíveis mudanças no interesse ou entusiasmo dos alunos por geociências ou investigação científica, as respostas selecionadas foram "sim, gerou grande interesse" evidenciando o potencial das oficinas de pintura com réplicas de fósseis para despertar a curiosidade científica e fomentar o pensamento investigativo. Na questão 11 (Gráfico 1), 64% dos docentes disseram que os alunos entenderam bem a conexão entre fósseis e mudanças ambientais; por outro lado 36% afirmaram que os estudantes compreenderam, mas com reforço pedagógico, indicando a complexidade do tema e possíveis lacunas de conhecimento prévio sobre o tema

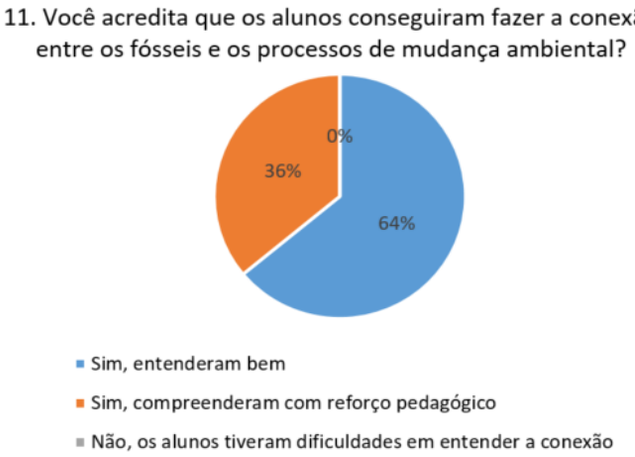


Gráfico 1 – Compreensão dos alunos sobre a relação entre fósseis e mudanças ambientais (Questão 11).

Fonte: Dados do formulário aplicado aos docentes (elaboração própria).

As respostas abertas do formulário indicaram que a oficina de pintura proporcionou um contato mais próximo e significativo com os fósseis. Os professores destacaram manifestações espontâneas de alegria, como os sorrisos e expressões de surpresa, além do alto grau de interesse, envolvimento e interação dos alunos. Relataram que a experiência contribuiu para a ampliação do conhecimento acerca dos fósseis amazônicos. Alguns alunos relataram que não imaginavam que as espécies extintas eram tão grandes.

É nítido para a experiência dos mediadores como a maioria dos participantes se surpreenderam com o contato direto com as réplicas de fósseis. O retorno dos alunos foi muito positivo, destacando como as atividades práticas enriqueceram o ensino das geociências.

DISCUSSÕES

Os resultados indicam que atividades que unem arte e ciência são extremamente eficazes para promover o interesse pelo conhecimento científico em crianças. A pintura

de réplicas de fósseis em gesso, além de divertida, torna-se uma poderosa ferramenta de mediação didática-científica, oportunizando o acesso à recursos que muitas vezes estão restritos aos centros de pesquisa, despertando o pensamento crítico e o imaginário dos alunos.

A prática também reforça a importância de estratégias interdisciplinares na educação infantil e ensino fundamental, aproximando conteúdos de Ciências e Artes de maneira integrada.

A escassez de material geocientífico prático e interativo disponível na rede de ensino, muitas vezes carece de práticas para contribuição no processo de ensino-aprendizagem, evidenciando a oportunidade para o desenvolvimento de ações conjuntas de divulgação geocientífica (SANDER et. al., 2022).

A proposta promoveu o contato direto com réplicas de fósseis em gesso de representações fossilíferas de forma acessível e lúdica, valorizando a paleontologia e popularizando o conhecimento geocientífico.

CONCLUSÕES

A atividade de pintura de réplicas de fósseis em gesso demonstrou-se uma estratégia pedagógica altamente eficaz na contribuição do entendimento dos alunos de escolas públicas sobre fósseis, e uma diferenciação prática no ensino de paleontologia, estimulando o interesse pela investigação científica, tornando o processo de ensino de ciências mais atrativo ao estudante, através de experiências sensoriais, cognitivas e lúdicas.

As atividades se demonstraram eficazes na relação do tripé ciência, educação e sustentabilidade, pois quanto maior o conhecimento das crianças sobre o Planeta Terra, maior será a conscientização, ampliando as conversas sobre preservação ambiental.

A experiência prática, ao permitir a manipulação e a personalização das réplicas, favoreceu uma aprendizagem ativa e significativa, aproximando os estudantes de elementos que normalmente estariam restritos a instituições de pesquisas. A oportunidade dos alunos de levarem suas réplicas para casa, oportuniza estender o aprendizado para fora do ambiente escolar, incentivando a participação dos pais e responsáveis, e envolvendo a família como um todo. Isso também proporciona à família e amigos a oportunidade de conhecimento.

As respostas dos professores também evidenciaram o impacto positivo da atividade na motivação dos alunos e na integração do conteúdo ao currículo escolar. Embora alguns docentes tenham sinalizado a necessidade de reforçar a mediação para aprofundar determinadas conexões conceituais, o saldo geral das ações foi amplamente positivo e perceptivo pela equipe executora.

Por fim, os resultados obtidos sinalizam a necessidade da continuação desse trabalho pela ampliação do número de oficinas e replicação desta metodologia em outras instituições de ensino, bem como a continuidade de avaliações qualitativas e seu impacto no contexto escolar.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio financeiro recebido (Edital CNPq/MCTI Nº 08/2024). Assim como as escolas participantes, aos diretores e professores que acolheram a iniciativa e aos alunos que compartilharam suas impressões com entusiasmo e envolvimento participativo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brasil. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília, 2018.

Compiani, M. As geociências no ensino fundamental: um estudo de caso sobre o tema A formação do Universo. 1996. 225 f. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. Disponível em: https://www.btdea.ufscar.br/teses-e-dissertacoes/as-geociencias-no-ensino-fundamental-um-estudo-de-caso-sobre-o-tema-201ca-formacao-do-universo201dAcesso em: 20 maio 2025.

Sander, A., Jacques, P., Oliveira, F. V., Suprani, S. B., Horn, B. L. (2022). Popularização da paleontologia brasileira através de oficinas de réplicas de fósseis. In: Encontro Brasileiro de Divulgadores de Ciências. Instituto Principia, São Paulo, Brasil. ISBN 978-6598038007.Disponível em: https://www.blogs.unicamp.br/ebdc/wp-content/uploads/sites/284/2023/05/31.pdf. Acesso em: 23 maio 2025.

Simões, M. G.; Rodrigues, S. C.; Soares, M. B. 2015. Introdução ao estudo da paleontologia. In:Soares, M. B. (Org). A paleontologia na sala de aula. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Paleontologia, 17 -31. Disponível em: https://www.paleontologia-nasaladeaula.com/. Acesso em: 10 maio 2025.

ESPAÇO ARQUITETÔNICO DO MUSEU DE GEOCIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA-MuGEO

Lucas Moraes Ribeiro[1]; Lena Simone Barata Souza[1]; Vitória Gardênia Vieira Silva[1]; Jackson Douglas Silva da Paz[1]; Maylla Barros Silva[1]

[1]Universidade Federal de Roraima - UFRR
(lucasmozart99@gmail.com; lenabarata@yahoo.com.br; vitoriagardenia07@gmail.com; geologiageral.ufrr@gmail.com; mayllabarros83035@gmail.com)

RESUMO

Os museus desempenham papel fundamental na proteção, conservação e conscientização para a preservação de bens para indivíduos e comunidade, desde escala local até global, tendo como função social principal a formação da consciência das comunidades, executando um papel educativo privilegiado, capaz de reforçar e repensar identidades e o sentimento de pertencimento. O Museu de Geociências da Universidade Federal de Roraima (MuGEO) desempenha tal função como local de aprendizado, tanto para a comunidade acadêmica da Universidade Federal de Roraima, bem como toda sociedade roraimense. Assim, a proposição de estratégias de revitalização do espaço arquitetônico do MuGEO, visa à requalificação de sua estrutura física e à otimização de sua funcionalidade como ambiente expositivo, educativo e de pesquisa, de forma a integrar aspectos técnicos, estéticos e pedagógicos, garantindo que o Museu atenda às demandas contemporâneas de acessibilidade, conservação e difusão do conhecimento científico no Estado de Roraima.

PALAVRAS-CHAVE: Tecnologia Social; Divulgação; Museu; Geociências; Roraima.

INTRODUÇÃO

Os museus universitários cumprem papéis estratégicos na preservação e difusão do conhecimento científico (ARAÚJO *et al*., 2019), funcionando como espaços educativos que fortalecem o vínculo entre a ciência e a sociedade (COUTO *et al*., 2016; TEXEIRA, 2014). Nesse contexto, o Museu de Geociências da Universidade Federal de Roraima-MuGEO destaca-se como instrumento de ensino, pesquisa e extensão, promovendo a valorização do patrimônio geológico local e regional do Estado de Roraima. Considerando sua relevância para a formação acadêmica e para a conscientização da comunidade sobre a importância dos bens naturais, o presente trabalho apresenta os esforços iniciais de revitalização do espaço físico e funcional do MuGEO. A proposta baseia-se na aplicação de conceitos de tecnologia social, com vistas à requalificação da estrutura arquitetônica e à ampliação da acessibilidade, organização e visibilidade do acervo. As ações implementadas incluem: (a) reabertura do Museu, visto que, o mesmo fora fechado à visitação pública durante o período da pandemia da Covid19 e a proble-

mas de infraestrutura, sendo reaberto de forma gradual em meados de 2022; (b) criação de um catálogo digital das rochas, minerais e fósseis; (c) reorganização do ambiente expositivo; e (d) adoção de um sistema de empréstimo de peças para fins educativos. Tais iniciativas refletem o compromisso institucional com a democratização do conhecimento e o fortalecimento do papel social do Museu na Amazônia.

MATERIAIS E MÉTODOS

O MuGEO está localizado nas dependências da Universidade Federal de Roraima, no município de Boa Vista, Estado de Roraima (Figura 1). O processo de revitalização do espaço envolveu ações como a limpeza, reorganização dos ambientes expositivos e a catalogação dos itens do acervo, que inclui rochas, minerais, fósseis, banners e maquetes. Todas as etapas foram conduzidas com o objetivo de preservar o material existente e proporcionar uma experiência mais enriquecedora aos visitantes. Para isso, foi implementado um sistema de identificação dos itens expostos, visando tornar as visitas mais dinâmicas, acessíveis e intuitivas.

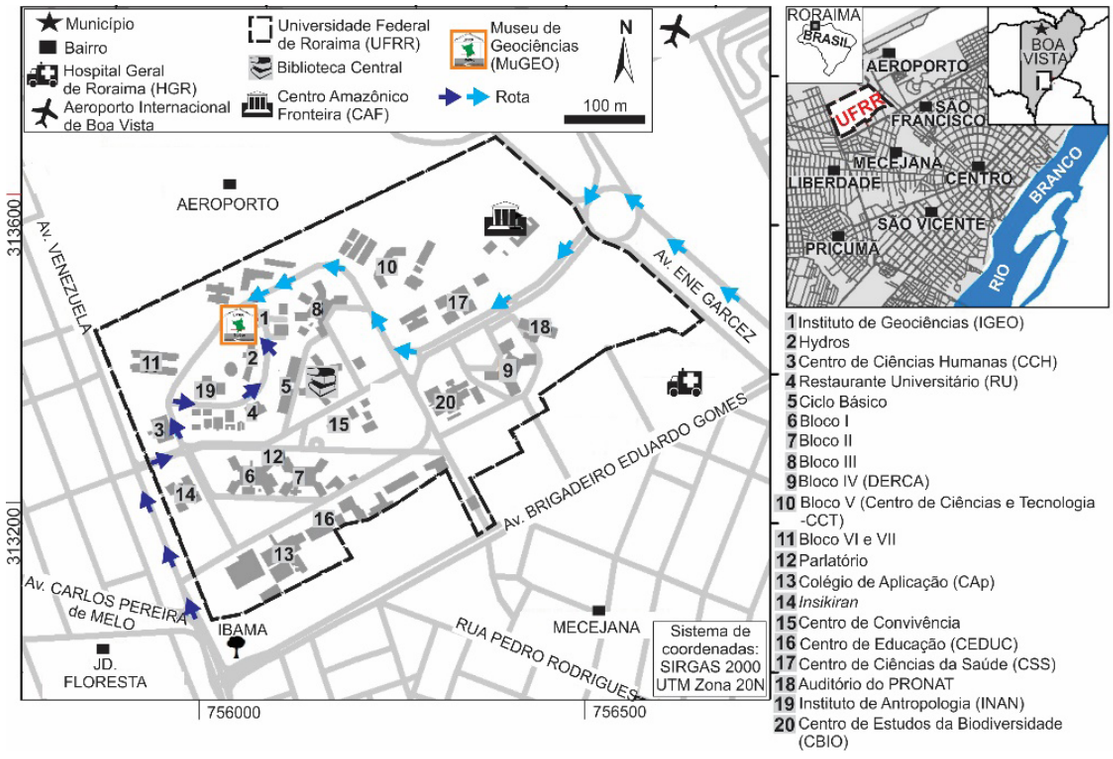


Figura 1 - Localização do Museu de Geociências da UFRR-MuGEO.
Fonte: Souza e Guimarães (2019).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A primeira etapa de revitalização consistiu na limpeza geral do espaço (Figura 2A) e no descarte dos materiais obsoletos ou sem mais utilidade para o acervo (Figura 2B). Essas ações foram fundamentais para recuperar áreas expositivas que não eram utilizadas, criando um ambiente mais acessível e organizado para os visitantes.

Posteriormente, iniciou-se a recatalogação do acervo litológico. As rochas foram separadas por tipo – ígneas, metamórficas e sedimentares (Figura 3A-D) e organizadas conforme o sistema de codificação: Museu (M), Rochas (R), Ígnea, Metamórfica ou Sedimentar (IMS) e o número da amostra, cujas siglas foram adaptadas do trabalho de Souza et. al (2019). Esse método de identificação facilita, tanto o manuseio técnico, quanto o entendimento por parte dos visitantes. É importante evidenciar que de acordo com Souza, Guimarães e Silva (2019) o acervo do MuGEO conta com rochas sedimentares (39%), ígneas (36%) e metamórficas (25%), e minerais distribuídos conforme exemplificado nas figuras 4A-B e 5A-B.

A categorização sistemática não apenas aprimorou o inventário museológico como também potencializou seu valor pedagógico, permitindo que visitantes identifiquem padrões e características das amostras expostas.

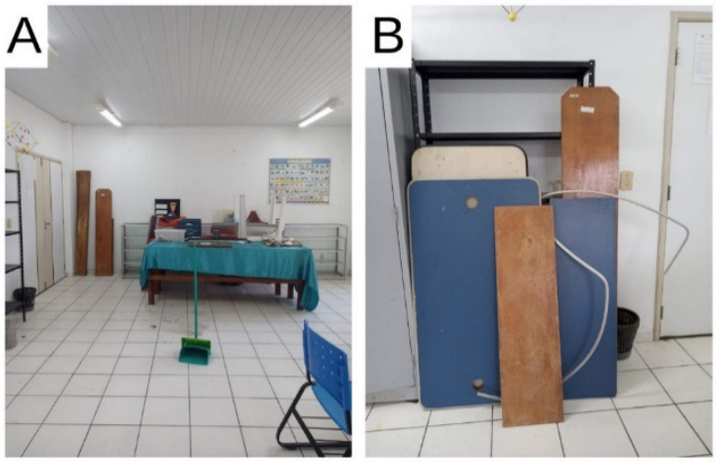


Figura 2 - Revitalização do espaço do MuGEO. (A) Etapa de limpeza. (B) Descarte de itens sem utilidade.

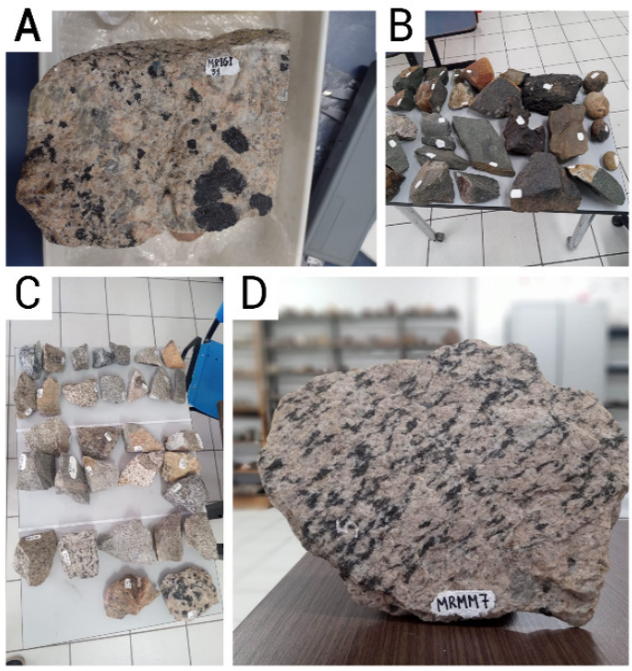


Figura 3 - Categorização das rochas. (A) Rocha ígnea intrusiva identificada.

(B) Separação das rochas ígneas extrusivas para identificação. (C) Separação das rochas ígneas intrusivas para identificação. (D) Rocha metamórfica identificada.

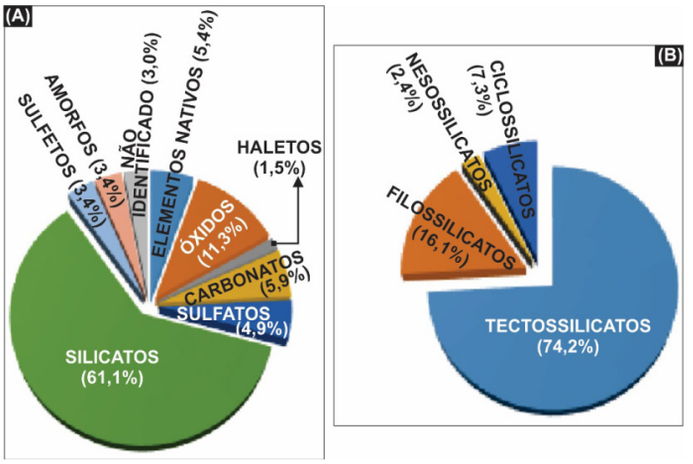


Figura 4 - Amostragem dos minerais do MuGEO. (A) Classe. (B) Subclasse. Fonte: Souza, Guimarães e Silva (2019).

Figura 5 - Categorização dos minerais. (A) Separação dos minerais por classe mineral. (B) Identificação dos minerais.

As ações de revitalização do MuGEO demonstraram-se eficazes ao recuperar a funcionalidade e atratividade do espaço museológico. A limpeza e a reorganização do acervo permitiram o resgate de áreas antes inutilizadas, proporcionando uma nova dinâmica ao ambiente expositivo. A recatalogação das amostras, com a adoção de um sistema de codificação específico, resultou em maior clareza e acessibilidade tanto para o público acadêmico quanto para visitantes externos. Além disso, a classificação sistemática dos minerais segundos suas classes mineralógicas, contribuiu para o valor pedagógico da exposição, promovendo uma experiência educativa mais completa.

A figura 6 ilustra o resultado das ações realizadas, isto é, a retomada das visitas ao MuGEO, tanto por parte da comunidade acadêmica quanto de visitantes externos. Tal retorno demonstra a efetividade das melhorias na infraestrutura e no acervo, reforçando o papel do Museu como um espaço vivo de educação e cultura científica.

Figura 6 - Diversas interações no Museu de Geociências da UFRR (MuGEO) por alunos de escolas públicas do município de Boa Vista/RR e acadêmicos da Unviversidade Federal de Roraima.

A interação do público com o ambiente revitalizado confirma o sucesso do reaproveitamento e democratização do conhecimento geocientífico.

A retomada das visitas presenciais evidencia o impacto positivo das melhorias implementadas. A utilização de princípios de tecnologia social fortaleceu a função do museu como instrumento de democratização do conhecimento geocientífico, aproximando a universidade da comunidade local e estimulando o interesse pela ciência e pelo patrimônio natural de Roraima.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revitalização do Museu de Geociências da Universidade Federal de Roraima--MuGEO demonstrou ser uma iniciativa bem-sucedida na requalificação do espaço arquitetônico e museológico, atendendo às necessidades contemporâneas de acessibilidade, organização e educação científica. As ações desenvolvidas ampliaram a funcionalidade do Museu, reforçando seu papel como agente de preservação e difusão do conhecimento geológico. Assim, reafirma sua importância institucional e social, consolidando-se como ambiente de aprendizagem, extensão e valorização do patrimônio natural da Amazônia.

AGRADECIMENTO

Ao grupo de pesquisa Caimbé-Geociências de Roraima.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araújo, B. M. De; Segantini, V. C.; Magaldi, M.; Heitor, G. K. M. (Orgs.). (2019). Museologia e suas interfaces críticas: museu, sociedade e os patrimônios [e-book]. Recife: Editora UFPE. ISBN 978-85-415-1132-2.

Couto, J. F.; Santos, M. M.; Cordeiro, E. A., Couto, L. F.; Francisco, L. C.; Reis, S. R. (2016). Organização do acervo de minerais e rochas do Museu de Minerais de Mineralogia. Geonomos, 24, 2, 135-139.

Souza, L. S. B.; Guimarães. Os primeiros passos do museu de geociências da Universidade Federal de Roraima (MuGEO): histórico e acervo. (2019). In: V. C. A. HRENECHEN (Org.). Comunicação, Mídias e Educação. Ponta Grossa/PR, Atena Editora, 2019. p. 1-15. DOI 10.22533/at.ed.4461922051.

Souza, L. S. B.; Guimarães, E. N.; Siva, E. S. (2019). Estado da arte do museu de geociências da Universidade Federal de Roraima. In: Artur Rosa Filho; Stélio Soares Tavares Junior. (Org.). Roraima 30 anos: Prof. Rafael da Silva Oliveira, ideário e pluralidade geográfica da Amazônia Setentrional. 1ed.Boa Vista/RR: EDUFRR, 3, 207-229.

Texeira, R. da S. (2014). Museu virtual: um novo olhar para a informação e comunicação na museologia. Perspectivas em Ciência da Informação, 19, 4, 226-238.

CIÊNCIA CIDADÃ EM AÇÃO: A ATUAÇÃO DO PET GEOLOGIA EM PRESIDENTE FIGUEIREDO

Ana Helena, Menezes Rodrigues[1]; Solange, dos Santos Costa[1]; Ana Cláudia, Albuquerque da Silva[1]; Anne Caroline, Prado Souza[1]; Isaque, da Silva Caetano[1]; Melrian, Fernandes Vasconcelos[1]; William, Nunes Santos[1]; Jhade, Coelho Figueiredo[1]; Matheu, Silva Vieira[1]; Monique Ágata, Barreto de Arruda[1]; Lorrana, Corrêa de Araujo[1]; Marcus Vinícius, Reis Andrade[1]; Henrique, Tunes Villani[1]; Pedro Henrique, de Souza Volpini[1]; Pilar, Evanovich, Grazziotin[1].

[1]Universidade Federal do Amazonas – UFAM

helena.menezesr@gmail.com; solangecosta@ufam.edu.br; ana8133silva@gmail.com; annecarolinepsouza@gmail.com; geoisaqueufam@gmail.com; melrianvasconcelos2gmail.com; william.ufam@gmail.com; jhadeanca98@gmail.com; matheuvilaca@gmail.com; moniqueagatha57@gmail.com; lorrana.araujo@ufam.edu.br; marcus.ufam@gmail.com; henriquetvillani@gmail.com; volpini.ufam@gmail.com; grazziotp@gmail.com.

RESUMO

O município de Presidente Figueiredo, no Amazonas, destaca-se pela sua diversidade geológica, sendo frequentemente selecionado como área de estudo em trabalhos de campo por alunos do curso de Geologia. É comum que essas atividades envolvam o acesso a propriedades privadas, cujos moradores, muitas vezes, desconhecem o valor geológico presente em suas terras, evidenciando que o conhecimento geológico ainda é pouco difundido entre a população local. Diante disso, o Programa de Educação Tutorial (PET) do curso de Geologia da Universidade Federal do Amazonas, que tem como pilares o Ensino, a Pesquisa e a Extensão, procura mudar essa realidade por meio de ações educativas e integradoras no município, como os projetos *Rota do Saber*, do próprio grupo PET, por meio do qual foram realizadas treze visitas, e a participação no II Workshop *(Com)Ciência Cidadã*, com a participação de 350 pessoas, iniciativas que utilizam uma linguagem acessível, à partir da troca de experiências entre o conhecimento científico e o tradicional, além de oficinas educativas, exposições de resumos e recursos didáticos para sensibilizar a população sobre a importância da geodiversidade e do cuidado com o meio ambiente. Assim, por meio da ciência cidadã, busca-se fortalecer o vínculo com a comunidade, democratizar o conhecimento científico e promover a valorização do patrimônio geológico local.

PALAVRAS-CHAVE: Extensão universitária; Ensino de geociências; Geodiversidade; Patrimônio natural.

INTRODUÇÃO

A região de Presidente Figueiredo, no Amazonas, é amplamente conhecida como a "Terra das Cachoeiras" e se destaca como um importante destino turístico. Sua beleza natural singular atrai visitantes interessados na grande geodiversidade local, que inclui paisagens impressionantes, além de sítios geológicos, paleontológicos, e arqueológicos.

Do ponto de vista geocientífico, Presidente Figueiredo abrange duas unidades geotectônicas significativas: o embasamento cristalino do Cráton das Guianas e a Bacia Sedimentar do Amazonas. Essa combinação torna a área um verdadeiro laboratório natural, onde é possível encontrar uma grande variedade de rochas ígneas, sedimentares e metamórficas, além de feições geológicas que evidenciam processos tectônicos, como falhas e fraturas. A região também apresenta uma diversidade de ambientes naturais, como corredeiras, cachoeiras, grutas, cavernas e cânions, que não apenas encantam os turistas, mas também oferecem excelentes oportunidades para estudos acadêmicos e pesquisas científicas em geociências (Oliveira *et al*., 2022).

Dessa forma, uma parte significativa das atividades de campo realizadas pelo curso de Geologia da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) ocorre na região de Presidente Figueiredo. Apesar disso, grande parte das exposições das unidades geológicas estão localizadas em propriedades privadas, de moradores que acolhem os estudantes para realizarem pesquisas em suas terras mas que não possuem conhecimento sobre a geologia do local em que habitam, apesar de demonstrarem curiosidade sobre o material.

Neste sentido, apesar dos avanços nas práticas para popularização do conhecimento científico no país, ainda há pouca disseminação para a sociedade como um todo na área das geociências (Waldherr *et al*., 2021). Por este motivo, visando a popularização do conhecimento adquirido, o PET Geologia elaborou e participou no ano de 2024, de ações no município que buscavam a divulgação das geociências de forma acessível, através da ciência cidadã. Dentre essas iniciativas estão a participação no II Workshop *(Com)Ciência Cidadã*, promovido pelo Departamento de Geologia (DEGEO-UFAM), e o desenvolvimento do *Projeto Rota do Saber*, idealizado pelo próprio grupo PET. A primeira edição do *(Com) ciência* cidadã foi em 2023 no município de Novo Airão-AM, e a segunda em 2024, em Presidente Figueiredo, contando com palestras, mesas-redondas, oficinas educacionais e diálogos participativos que abordaram temas como geoturismo, geodiversidade e desenvolvimento sustentável. O *Rota do Saber* foi realizado pela primeira vez em 2024, o qual envolveu treze visitas a comunidades locais, rodas de conversa, exposição de banners e distribuição de material didático, incluindo um kit de amostras de rochas da região acompanhado de uma cartilha explicativa sobre a geologia local.

MATERIAIS E MÉTODOS

Nos projetos realizados pelo PET na região do município de Presidente Figueiredo foram utilizados materiais específicos para cada atividade, assim como as metodologias.

Materiais *Projeto Rota do Saber*:

1. Kit com amostras de rochas e réplica de fósseis de braquiópodes;
2. Cartilha sobre geologia local;
3. Banners.

No *Projeto Rota do Saber,* a metodologia foi dividida em três etapas, com envolvimento dos quatorze discentes do PET. Na primeira etapa, foi realizada a coleta de amostras. Na segunda etapa, ocorreu a preparação dos materiais didáticos utilizados no evento como: kit de amostras de rochas coletadas em campo, produção das réplicas em gesso de braquiópodes, presentes na Formação Manacapuru, e uma cartilha com informações geológicas da área; e na terceira etapa, foram realizadas treze visitas, sendo doze propriedades privadas e uma escola da região, promovendo rodas de conversa sobre a formação das rochas locais e seus respectivos ambientes geológicos. Durante essas visitas, os participantes puderam manusear os kits, interagir com os materiais visuais e esclarecer dúvidas sobre a geologia da região e repassaram informações sobre outras áreas que possuem o mesmo tipo de material de suas propriedades. Esse tipo de informação é extremamente importante para as próximas práticas de campo.

Materiais Workshop *(Com)Ciência Cidadã*:

1. Caixa de areia de realidade aumentada - *Sandbox;*
2. Óculos de realidade virtual;
3. Réplicas de fósseis em gesso;
4. Tintas naturais;
5. Amostras de rochas, minerais e fósseis.

No II Workshop *(Com)Ciência Cidadã*, também teve metodologia dividida em duas etapas. Na primeira, ocorreu a seleção de amostras para exposição, e a também confecção dos materiais que foram utilizados nas oficinas, como as réplicas de fósseis de gesso, feitas com molde de resina e das tintas naturais feitas de argilas e vivianitas, além da montagem da caixa de areia e óculos de realidade virtual. Na segunda etapa, ocorreu a realização do Evento, no período de 12 a 14 de junho de 2024, à partir de apresentações em formato de diálogos, com a participação de pesquisadores da Universidade Federal do Amazonas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Universidade de São Paulo, Universidade Estadual de Campinas e da população local, por meio da participação da Secretaria do Meio Ambiente, Secretaria de Cultura e Turismo, Comunidade Ramal do Urubui, Biblioteca Paulo Freire e Associação de Moradores de Balbina. Foram realizadas cinco oficinas educativas para os alunos das escolas de Presidente Figueiredo, sendo: i) amostras de rochas e minerais, ii) caixa de areia de realidade aumentada, iii) óculos de realidade virtual para observar afloramentos da região, iv) pinturas em tela com tintas naturais e v) réplica de fósseis. Tendo como foco a integração e a troca de conhecimentos entre a população do município e os integrantes, o projeto proporcionou a troca ativa de conhecimento entre os membros do PET e a população também por meio de rodas de conversa.

RESULTADOS

No II Workshop *(Com)Ciência Cidadã* 2024, os quatorze discentes do grupo PET Geologia UFAM puderam integrar conhecimentos adquiridos na universidade com a sabedoria popular dos moradores do município, através do projeto que abriu espaço para conversar sobre geoturismo, geodiversidade e desenvolvimento sustentável. A atividade contou com a participação da comunidade, especialmente de escolas locais. As ativi-

dades realizadas despertaram grande interesse, especialmente pelo uso de tecnologias como a caixa de areia interativa e os óculos de realidade virtual. Esses recursos proporcionaram aos participantes uma experiência inovadora, tornando-a atrativa. Iniciativas como as oficinas de pintura de telas e de fósseis também contribuíram para tornar a geologia mais acessível e envolvente, com atividades lúdicas e práticas. Essas ações despertam a curiosidade, incentivam a aprendizagem ativa e promovem uma maior valorização do patrimônio geológico e natural (Figura 1).

O grupo também realizou, pela primeira vez, o *Rota do Saber*, projeto no qual ocorreram treze visitas entre os dias 26 a 28 de dezembro de 2024, sendo doze em propriedades dos ramais Brava Gente II e Boa Esperança e a uma escola local, que resultou na produção de materiais didáticos sobre a geodiversidade de Presidente Figueiredo, que incluem treze kits com dez amostras de rochas locais, duas réplicas fósseis de braquiópodes da Formação Manacapuru, cartilhas educativas e banners. Foram realizadas treze rodas de conversa que permitiram a participação da comunidade através do manuseio das amostras, observação das ilustrações e esclarecimento de dúvidas sobre aspectos geológicos da região. Durante a atividade, cada comunidade visitada recebeu um kit com amostras e uma cartilha intitulada *"O que tem no quintal da minha casa?"*. Isso permitiu observar o interesse e o envolvimento das pessoas, mostrando a curiosidade e a receptividade da comunidade em relação à geologia. Além disso, foram entregues cestas básicas como forma de agradecimento pelo apoio contínuo que essas comunidades oferecem, por sempre disponibilizarem suas casas para auxiliar no desenvolvimento dos trabalhos de campo (Figura 2).

Entre os principais resultados alcançados nas atividades, destacam-se o aumento do desempenho acadêmico dos estudantes, o fortalecimento do vínculo entre os alunos petianos e a comunidade local e o esclarecimento de dúvidas recorrentes da população sobre o potencial do material geológico existente na região. Além disso, a participação nos projetos estimula a prática constante de estudo, especialmente nas disciplinas vinculadas às atividades de campo, contribuindo para ampliar a compreensão crítica dos discentes sobre as desigualdades sociais presentes no território. Dessa forma, é notável o estímulo à formação de profissionais mais conscientes, críticos e comprometidos com a realidade ao seu redor.

Figura 1 – Workshop *(Com)Ciência Cidadã*; a) oficina de pintura com tintas naturais; b) caixa de areia de realidade aumentada; c) óculos de realidade virtual.

Figura 2 – *Projeto Rota do Saber*; a) banners e kit de amostras; b) entrega de cestas básicas junto ao projeto PET Social.

DISCUSSÕES

As ações foram realizadas para promover o desenvolvimento acadêmico e social dos discentes por meio de uma série de atividades integradas no município de Presidente Figueiredo, que possuem como objetivo a divulgação científica na região, incentivando a aquisição de novos conhecimentos, a troca de informações, o estabelecimento de novos contatos e a vivência de experiências significativas em trabalhos cooperativos.

Dessa maneira, o grupo PET se alinha aos seus pilares fundamentais - Ensino, Pesquisa e Extensão - ao aproximar a comunidade acadêmica da sociedade, promovendo um diálogo mais acessível e significativo entre ambos, como destacado por Alves *et al*., (2024). Essa interação possibilita o desenvolvimento de ações socioeducativas voltadas para a superação de desigualdades sociais e para o fortalecimento dos vínculos entre universidade e comunidade. Contribuindo assim, para a democratização do conhecimento científico e, no contexto das geociências, promovendo a valorização do patrimônio geológico local.

CONCLUSÕES

As ações desenvolvidas pelo grupo PET Geologia em Presidente Figueiredo demonstram como a ciência cidadã pode ser eficiente como ferramenta de aproximação entre universidade e sociedade. Por meio de atividades interativas e educativas, como o Workshop *(Com)Ciência Cidadã* e o *Projeto Rota do Saber*, é possível aproximar a população local com o universo da geologia, despertando a curiosidade, o interesse e a valorização do patrimônio natural da região.

A participação ativa da comunidade e o entusiasmo com os recursos didáticos utilizados mostram a importância de iniciativas que traduzam o saber científico em linguagem acessível. Além disso, essas experiências contribuíram significativamente para

a formação acadêmica e cidadã dos discentes envolvidos, fortalecendo o compromisso social da universidade e o papel transformador da extensão universitária. Assim, esse trabalho reafirma o valor de projetos que unem ensino, pesquisa e extensão como caminhos para democratizar o conhecimento e estimular uma consciência ambiental e geocientífica mais sólida nas comunidades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves, J. V. A., Barreto, C. J. S., Silva, I. N. M., Costa, S. G., e Silva, F. M. R. (2024). Curso de divulgação científica em geociências: o papel da extensão universitária sob a perspectiva dos extensionistas. *Estudos Geológicos*, 34(1), 68–82.

Bueno, W. C. (2010). Comunicação científica e divulgação científica: aproximações e rupturas conceituais. *Informação & Informação*, 15(esp), 1–12.

Oliveira, M. A., Andretta, E. R., Oliveira Filho, I. B., Marmos, J. L., & Souza, A. G. H. (2022). Avaliação geotécnica nos atrativos geoturísticos de Presidente Figueiredo, AM. *Serviço Geológico do Brasil – CPRM*, 1–43.

Waldherr, F. R., Silva, T. M., Cambra, M. F. E. S., & Mansur, K. L. (2021). 20 anos de experiências em popularização da Geologia no Brasil e na Alemanha: Considerações a partir dos projetos "Caminhos Geológicos" e "Cem Obras-primas". *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, 44(2), 1–14.

ROTEIRO GEOLÓGICO DE RORAIMA: UM PERFIL GEOESTRUTURAL PASSANDO DA CROSTA PROFUNDA ATÉ AS SUCESSÕES SUPRACRUSTAIS NA PORÇÃO CENTRAL DO ESCUDO DAS GUIANAS

Túlio Amós de Araújo Mendes[1]; Antonio Charles Silva Oliveira[1]; Fábio Luiz Wankler[2]; Mayara Fraeda Barbosa Teixeira[3]; Rielva Solimairy Campelo do Nascimento[3]

[1]Serviço Geológico do Brasil - SGB; [2]Universidade Federal de Roraima - UFRR; [3]Universidade Federal do Amazonas - UFAM

tulio.mendes@sgb.gov.br; charles.oliveira@sgb.gov.br; fabio.wankler@ufrr.br; mayarafraeda@ufam.edu.br; rielva@ufam.edu.br

RESUMO

Roraima está situada no norte do Cráton Amazônico e registra cerca de dois bilhões de anos do tempo geológico, desde o Orosiriano ao Mesozoico. Neste trabalho se propõe um roteiro geológico do centro-sul ao norte do estado, integrando o conhecimento da geologia regional. Na porção meridional, predominam rochas metamórficas de alto grau, metagranitos e charnockitoides (Martins Pereira, Serra da Lua e Cinturão Rio Urubu; 1,97-1,91 Ga), características de crosta média a profunda, além de rochas do Magmatismo Uatumã (1,89-1,86 Ga). Esse setor é afetado por zonas de cisalhamento do Orógeno Intracontinental K'Mudku (1,45-1,10 Ga). Na região central, próximo a Boa Vista, um magmatismo calimiano (1,43 e 1,37 Ga) gerou as rochas da Serra Grande, enquanto alguns morros constituem derrames basálticos (~200 Ma) associados à abertura da margem equatorial do Oceano Atlântico. Nessa área, há uma vasta planície coberta por vegetação de savana sobre uma bacia de deposição de sedimentos cenozoicos. Rumo a norte, há rochas metamórficas de alto grau que compõem o embasamento geológico (Cinturão Cauarane-Coeroeni; 2,02-2,00 Ga), seguidas por uma associação vulcanoplutônica orosiriana (Cinturão Orocaima; 2,00-1,96 Ga) parcialmente afetada por um cinturão de falhas e dobras. Sobre estas unidades, as sucessões basais do Supergrupo Roraima (1,96-1,87 Ga) também registram essa deformação. Esta geodiversidade sustenta ecossistemas únicos, com potencial geoturístico associado a paisagens icônicas (tepuis, serras e savanas), além de propiciar um amplo registro da evolução tectônica do Cráton Amazônico. O roteiro foi estruturado com base em critérios de relevância geológica, qualidade de exposição e acessibilidade, priorizando afloramentos representativos dos principais eventos tectônicos. Foram incluídos afloramentos-chave que ilustram desde processos de formação de crosta profunda no Orosiriano até eventos de rifteamento no Mesozoico, conectando feições geológicas de campo ao contexto tectônico. A metodologia combinou revisão bibliográfica com trabalhos de campo para validação dos locais, considerando também potencial educativo e de geoconservação. O trabalho visa servir como referência para pesquisas acadêmicas, atividades de campo e geoturismo, valorizando o patrimônio geológico amazônico.

PALAVRAS-CHAVE: Roraima; roteiro geológico; Escudo das Guianas.

INTRODUÇÃO

Roraima se localiza no extremo norte do Brasil e apresenta notável diversidade geológica, registrando cerca de dois bilhões de anos de evolução crustal. Seu arcabouço geológico inclui desde rochas de crosta profunda (*e.g.* granulitos e charnockitos) até sucessões vulcanossedimentares. Essa geodiversidade sustenta ecossistemas desde florestas tropicais e áreas pantanosas, até savanas e serras, que amparam serviços ecológicos essenciais como a agricultura, regulação climática e manutenção da biodiversidade. Portanto, o conhecimento geológico é vital para a gestão desse território, conciliando o uso de recursos, a integridade dos ecossistemas e o bem-estar humano.

Este trabalho propõe um roteiro ao longo do estado de Roraima, desde a cidade de Rorainópolis na região centro-sul até Uiramutã no extremo norte (Figura 1). A rota conecta afloramentos-chave para o entendimento geotectônico da porção central do Escudo das Guianas. Além do interesse geológico, este trabalho serve como base para estudos acadêmicos e pesquisas futuras em disciplinas mais amplas das geociências.

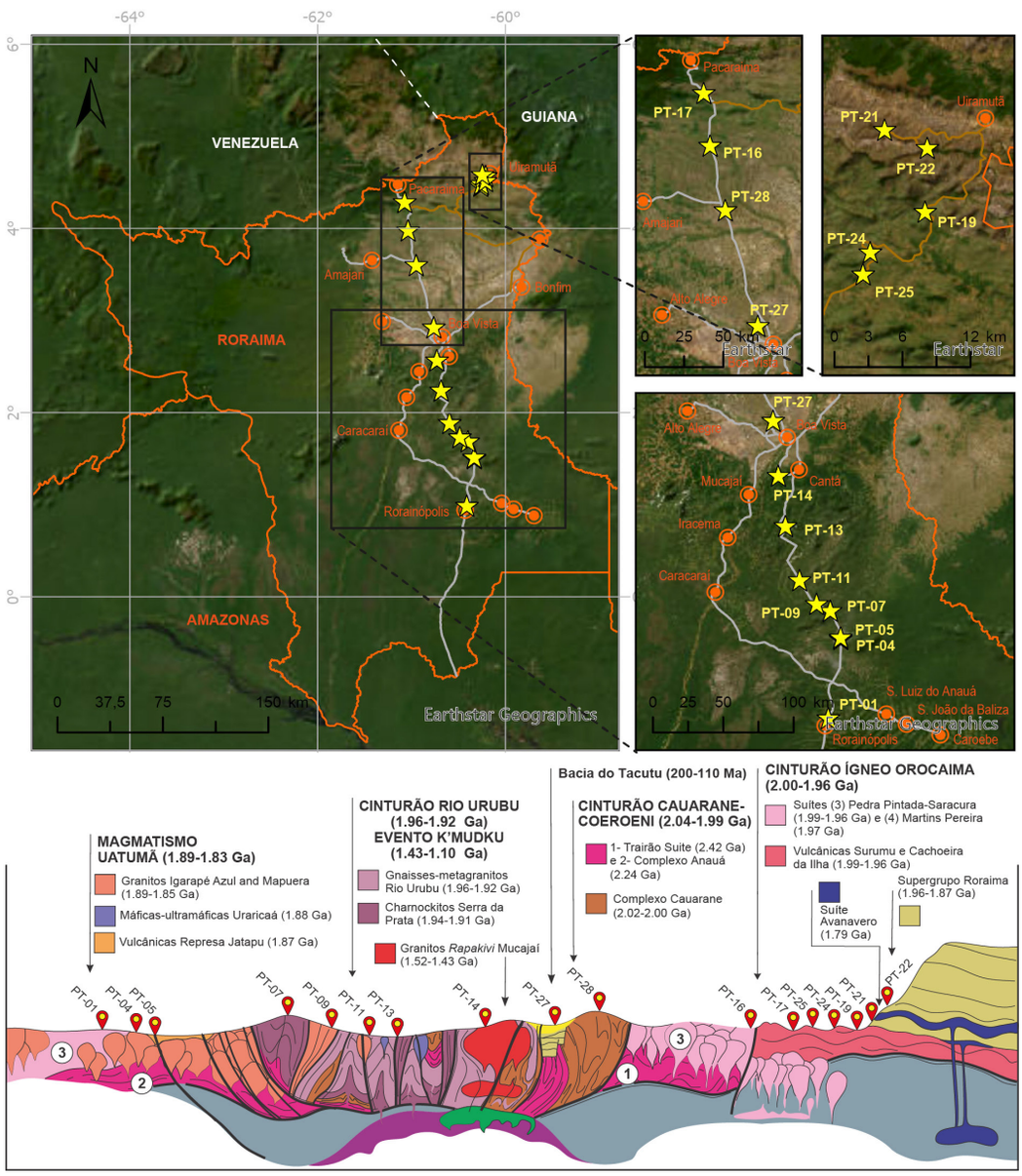


Figura 1 – Mapa de localização do roteiro com os pontos de visitação (imagens obtidas do Basemap do software ArcGIS Pro) e, na base da figura, perfil geotectônico esquemático com os pontos geológicos do itinerário.

METODOLOGIA

A seleção dos afloramentos seguiu três critérios (Bentivenga *et al*., 2017): 1) relevância geológica, 2) qualidade da exposição e 3) acessibilidade. A metodologia envolveu triagem inicial de afloramentos previamente conhecidos pelos autores seguida de validação em campo. Muitas unidades litoestratigráficas não constam no roteiro devido questões de acessibilidade. Nesse resumo iremos nos ater aos pontos essenciais ao entendimento geológico regional. O roteiro completo compõe um artigo dos mesmos autores, estando em processo de submissão em periódico científico e irá contar com mais afloramentos e descrições expondo os potenciais geoturístico, econômico e de valor ecológico. Esse roteiro também compõe uma proposta de excursão no 18º Simpósio de Geologia da Amazônia.

ROTEIRO GEOLÓGICO DE RORAIMA

O roteiro é dividido em dois trechos, respectivamente a sul e a norte da capital Boa Vista. As descrições que faremos em seguida se dará em pontos próximos as rodovias BR-174, BR-432, BR-433 e RR-171, ao longo de 600 km (Figura 1).

Setor Meridional: eventos magmáticos orosirianos e o retrabalhamento intracratônico mesoproterozoico

A Suíte Martins Pereira (1,97-1,96 Ga) compõe o embasamento dos magmatismos Rio Urubu e Uatumã na porção centro-sul de Roraima, nos arredores de Rorainópolis. Na Pedreira Pedra Norte (PT-01) um metatexito estromático dobrado tem leucossoma cristalizado em 1909 ± 6 Ma (Almeida *et al*., 2007). Neste ponto, se observa como as rochas do embasamento foram afetadas pela deformação e metamorfismo dos eventos orosirianos.

Avançando para norte na BR-432, o ponto PT-04 apresenta matacões da Suíte Mapuera indeformados e contendo xenólitos da sucessão vulcânica associada (Magmatismo Uatumã; 1,89-1,83 Ga). Nesse ponto, além do contraste deformacional em relação ao embasamento, se observa como se deu a relação do sistema vulcano-plutônico. A rocha efusiva cristalizou previamente em superfície e a câmera magmática se manteve ativa e em expansão, capturando fragmentos das camadas vulcânicas sobrejacentes. Não muito distante, o PT-05 revela camadas de tufos cineríticos e brechas vulcânicas (xenólitos do ponto anterior; Formação Represa Jatapu), alçadas umas sobre as outras por falhas de empurrão que mergulha para noroeste. Essas rochas apresentam idade de cristalização de 1884 ± 4 Ma (Lopes *et al*., 2021). Interpreta-se que uma falha transpressional (Falha do Itã), teria gerado as estruturas do afloramento, sendo relacionada ao Orógeno Intracontinental K'Mudku (1,45-1,10 Ga).

Na Serra Barauana, as rochas do Cinturão Rio Urubu estão metamorfisadas em condições de fácies granulito. Próximo a serra, o ponto PT-07 apresenta hornblenda, biotita, ortopiroxênio e clinopiroxênio em uma matriz quartzofeldspática recristalizada, além de enclaves de granulitos máficos (possíveis autólitos no protólito). E, mais a norte

se vê outra rocha de alto grau (PT-09) que consiste em um metatexito estromático cujo resíduo apresenta idade de cristalização compatível com a SLIP Uatumã (1855 ± 9 Ma) e leucossoma cronocorrelato ao Evento K'Mudku (1442 ± 3 Ma; Oliveira *et al.,* 2023). Um metatexito dobrado (PT-11) do Complexo Serra da Lua apresenta flanco longo e falhas com mergulho para noroeste, podendo haver relação entre essa estruturação com a das camadas vulcânicas com falhas de empurrão do PT-05. O PT-13 revela uma mistura entre rochas do Cinturão Rio Urubu. O contato entre um allanita granito e um enderbito revela um processo de mistura física entre magmas distintos (*magma mingling*).

Na Serra Grande, já próximo a Boa Vista, o ponto PT-14 apresenta um mangerito porfirítico com cerca de 60% de fenocristais de alcalifeldspato que chegam a medir 8 centímetros. Essa rocha tem idade de cristalização de 1367 ± 6 Ma com herança de 1423 ± 7 Ma (Lopes *et al.,* 2021), o que indica relação entre o magmatismo intraplaca e o orógeno intracontinental mesoproterozoicos.

Setor Setentrional: da separação entre América do Sul e África no Mesozoico à tectônica orosiriana

A savana roraimense (Lavrado) recobre uma vasta planície onde os rios Tacutu e Uraricoera se encontram para formar o Rio Branco. Em um trecho de cerca de 100 km, o Rio Tacutu corre em uma direção NE-SW paralelamente a uma megaestrutura distensiva (Gráben do Tacutu) formada durante a separação entre a América do Sul e a África, próximo a margem equatorial do Oceano Atlântico. Além dos sedimentos depositados nessa bacia, alguns morros nas imediações a norte de Boa Vista apresentam o registro do magmatismo do tipo-rifte desse evento mesozoico. O PT-27 consiste em camadas traquiandesitos basálticos ricos em amígdalas no topo de cada derrame. Essas rochas vulcânicas máficas têm elevadas concentrações de potássio, cálcio e magnésio, sendo um ótimo insumo para a indústria agropecuária mediante a técnica de rochagem – aplicação de rocha moída como fertilizante natural de liberação lenta (Benevides Filho e Blaskowski, 2022).

A norte do Gráben do Tacutu os primeiros afloramentos são do Cinturão Cauarane-Coeroeni. Na Serra do Cauarane (PT-28) aflora uma sucessão de alto grau metamórfico, incluindo muscovita-biotita gnaisse com granada e formação ferrífera bandada com grunerita e piroxênio, que se apresenta estruturada em uma megadobra isoclinal recumbente e redobrada. Essas rochas são as mais antigas desse roteiro, fazendo parte do embasamento regional.

Em seguida, adentramos ao Cinturão Orocaima, onde granitos de crosta média a rasa e rochas vulcânicas ácidas predominam. A semelhança do que observamos no PT-04, no ponto PT-16 um granito da Suíte Pedra Pintada contém xenólitos vulcânicos da Formação Surumu, revelando novamente a interação plutanovulcânica, só que agora na associação magmática do Cinturão Orocaima. Adiante, uma cadeia de montanhas forma um relevo do tipo Apalacheano. As camadas vulcânicas do Magmatismo Orocaima se apresentam dobradas, com plano axiais próximos à direção ESE-WNW (Mendes *et al.,* 2022). As rochas efusivas mostram um padrão de partição da deformação, que tende

a se concentrar em algumas bandas de cisalhamento. Isso se observa na Cachoeira do Macaco (PT-17), onde aflora uma camada de riodacito porfirítico com fenocristais de alcalifeldspato, uma riolito com fenocristais de quartzo e um vulcanito afírico. Embora boa parte do afloramento não apresente nenhuma foliação evidente, localmente uma zona de falha que mergulha em alto grau para sul deforma o acamamento e gera planos descontínuos de cisalhamento. Além da relevância geológica, esse ponto apresenta acesso fácil e boas condições de balneabilidade, com alguns poços e quedas d'água ao longo do igarapé.

Ao longo do Cinturão Orocaima, as rochas vulcanoclásticas predominam, formando afloramentos em pináculos com atitudes subverticais ESE-WNW em função da foliação metamórfica, a qual é mais penetrativa nesses litotipos menos competentes ante a deformação. O ponto PT-25 apresenta metatufos de cristal de cor cinza esverdeado, onde se pode observar a relação de corte entre o acamamento com mergulhos suaves para norte e a foliação que mergulha em alto grau para sul. Logo adiante, sob a ponte do Igarapé Socó, o ponto PT-24 consiste em traquiandesitos com entablaturas que conferem padrões erosionais únicos em que: as seções verticais têm fraturas colunares, enquanto as seções ortogonais se assemelham a padrões de colmeias. Assim como nas efusivas do PT-17, a deformação se concentra em bandas estreitas (50 cm) de cisalhamento que mergulham para sul.

Ainda no trecho onde o substrato rochoso é constituído pelas metavulcânicas do Cinturão Orocaima, no PT-19 se tem uma parada para observação frontal das camadas areníticas basais do Supergrupo Roraima na Serra Lilás. (Formação Arai; 1,96-1,87 Ga). Observa-se dobras suaves e abertas com plano axial próximo a direção E-W, além de uma falha de empurrão indicando transporte tectônico para norte. Na Cachoeira do Urucá (PT-21), localizada a poucos quilômetros de Uiramutã e que tem uma queda d'água de 25 metros sobre um poço com águas de tonalidade verde esmeralda, há arenitos intercalados com paraconglomerados oligomíticos (seixos de quartzo e vulcanitos do embasamento). Pouco abaixo do poço se observam falhas de empurrão antitéticas (mergulho para sul) que corroboram o esforço tectônico impresso nas camadas dobradas vistas na Serra Lilás. Na Cachoeira Sete Quedas (PT-22), camadas de arenito exibem a sucessão de topo dessa formação basal do Supergrupo Roraima, apresentando outro ponto de atrativo geoturístico.

CONCLUSÕES

Esse itinerário compõe a fase inicial da criação de um roteiro geoturístico, envolvendo a seleção de pontos de relevância científica e a identificação dos atrativos. Espera-se que este diagnóstico do potencial de geodiversidade possa fomentar ações de gestão turística pelas comunidades e entidades públicas locais, com o apoio de profissionais das geociências na formulação de projetos que contribuam para o desenvolvimento da indústria do turismo na região.

Embora a maioria dos estudos geológicos sobre a região amazônica priorize dados analíticos, que são contribuições de fato valiosas, os elementos fundamentais para compreender a geologia regional, como as rochas e estruturas observáveis em campo, frequentemente ocupam um plano secundário em publicações científicas. Este trabalho prioriza dados geológicos da porção central do Escudo das Guianas, no estado de Roraima, trazendo à tona parte do potencial científico ainda pouco explorado da região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, M.E., Macambira, M.J.B., Oliveira, E.C. (2007). Geochemistry and zircon geochronology of the I-type high-K calc-alkaline and S-type granitoid rocks from southeastern Roraima, Brazil: Orosirian collisional magmatism evidence (1.97–1.96 Ga) in central portion of Guyana Shield. Precambrian Research, 155, 69–97.

Benevides Filho, P.R.R., Blaskowski, A.E. (2022). Avaliação do potencial agromineral do Brasil: Eixo Manaus – Boa Vista. Manaus: SGB-CPRM, 66 p.

Bentivenga, M., Palladino, G., Prosser, G., Guglielmi, P., Geremia, F., Laviano, A. (2017). A Geological Itinerary Through the Southern Apennine Thrust Belt (Basilicata-Southern Italy). Geoheritage, 9, 1-17.

Fraga, L.M.B., Cordani, U.G., Dreher, A.M., Sato, K., Reis, N.J., Nadeau, S., de Roever, E., Kroonenberg, S., Maurer, V.C. (2024). Early Orosirian belts of the central Guiana Shield, northern Amazonian Craton: U-Pb geochronology and tectonic implications. Precambrian Research, Amsterdã, 407, 107362.

Lopes, P.R.S., Oliveira, A.C.S., Goulart, L.E.A., Silva, S.R.A., Aguiar, L., LIRA, R.R.C., Garcindo, L.B., Queiroz, L.C., Souza, A.G.H. (2021). Mapa Geológico do Centro-Sudeste de Roraima. Manaus: SGB-CPRM. 1 mapa. Escala 1:500.000.

Mendes, T.A.A., Oliveira, A.C.S., Almeida, M.E., Caxito, F.A., Novo, T.A. (2022). The structural framework of the north-central Guiana Shield: a fossil fold and-thrust belt in northeastern Roraima state, Brazil. Journal of the Geological Survey of Brazil, 5, 1-19.

Oliveira, A.C.S., Mendes, T.A.A., Almeida, M.E., Lopes, P.R.S. (2023). Sistema de zonas de cisalhamento Jauaperi e Itã-Barauana: efeitos do Orógeno Intracontinental K'Mudku na SLIP Uatumã. Simpósio de Geologia da Amazônia, 17.

DIVULGAÇÃO DO TADP (TRANSAMAZON DRILLING PROJECT) USANDO FERRAMENTAS INTERATIVAS

Carlos Eduardo Manjon Mazoca[1]; Raquel Mamblona Marques Romão[1]; Maria da Glória Motta Garcia[1]; André Oliveira Sawakuchi[1]

[1]Universidade de São Paulo - USP

carlos.mazoca@usp.br; raquel.romao@usp.br; mgmgarcia@usp.br; andreos@usp.br

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de recursos interativos voltados à divulgação científica, ao ensino e à valorização dos aspectos geológicos e ambientais da Amazônia, no contexto das ações de Outreach do Transamazon Drilling Project (TADP). O TADP realiza perfurações nas bacias do Acre e do Marajó com o objetivo de investigar a origem do bioma amazônico, as transformações nos grandes rios, a dinâmica sedimentar, a influência tectônica e as mudanças climáticas ao longo do Cenozóico. A criação de ferramentas digitais acessíveis ao público geral - como modelos 3D e passeios virtuais - representa uma estratégia inovadora e colaborativa de comunicação das geociências, com envolvimento direto de moradores das regiões de perfuração. Essa abordagem busca não apenas promover o conhecimento científico, mas também ampliar o alcance e a relevância social do projeto para as comunidades locais.

PALAVRAS-CHAVE: Divulgação científica; Passeio virtual; Modelos 3D; *Outreach*.

INTRODUÇÃO

O bioma amazônico possui grande importância no regulamento dos sistemas terrestres, um fato de grande relevância no atual contexto de aquecimento climático global. Sob o dossel das florestas e demais ecossistemas da região encontram-se estratos de rochas e sedimentos com potencial para explicar tanto a origem da biodiversidade amazônica, quanto alterações de curso ou porte dos grandes rios, o papel da tectônica e as mudanças climáticas ao longo do Cenozóico. Porém, afloramentos que contemplem esse intervalo temporal são escassos, e por isso testemunhos de sondagens são a principal fonte de dados para obter informação contínua do Cenozóico. Nesse contexto foi criado o *Transamazon Drilling Project* (TADP) (Baker *et al*., 2015) para colher testemunhos nas bacias do Acre (Cunha, 2007) e Marajó (Zalán e Matsuda, 2007), um projeto internacional no âmbito do *International Continental Scientific Drilling Project* (ICDP), uma organização sem fins lucrativos que abriga projetos de perfuração científica por meio de financiamento e suporte operacional. Projetos vinculados ao ICDP possuem necessidade institucional de atividades de *Outreach*, ou promoção das Ciências da Terra

por meio de divulgação científica. Devido à experiência adquirida em tarefas desse tipo, membros do GeoHereditas (Núcleo de Apoio a Pesquisa em Patrimônio Geológico e Geoturismo da Universidade de São Paulo) se tornaram responsáveis pelo Outreach do TADP, e uma estratégia de divulgação e ensino embasada em dados científicos está sendo implementada através de etapas de trabalho *in situ*, elaboração de material didático e criação de ferramentas interativas de divulgação de geociências. Dentre os recursos interativos foram criados modelos 3D e um passeio virtual. A partir dos modelos tridimensionais foi possível criar subprodutos, como impressões 3D e recursos de realidade aumentada. O passeio virtual está sendo construído de forma colaborativa, com a participação de moradores da região do Alto Juruá.

MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente planejado como uma sequência de furos desde a região do antepaís andino até a foz do Rio Amazonas para obter testemunhos contínuos de ciclos correlatos em bacias diferentes, o TADP concretizou duas perfurações, a primeira na Bacia do Acre, no município de Rodrigues Alves/AC, e a segunda na Bacia de Marajó, no município de Bagre/PA (Figura 1). Nos dois furos foi usada uma sonda Boart Longyear LF-230, a qual foi acoplado um instrumento de prevenção de acidentes com gases durante a operação (*Blowout Preventer* – BOP). Abrigos diversos ao redor da sonda compunham a Praça de Perfuração, e incluíam estrutura para o pessoal técnico da empresa responsável (Geosol), estrutura para abrigar cilindros dos testemunhos, laboratórios e praça científica, utilizada pelos pesquisadores que, em turnos alternados, fizeram a catalogação e descrição dos testemunhos durante toda a operação.

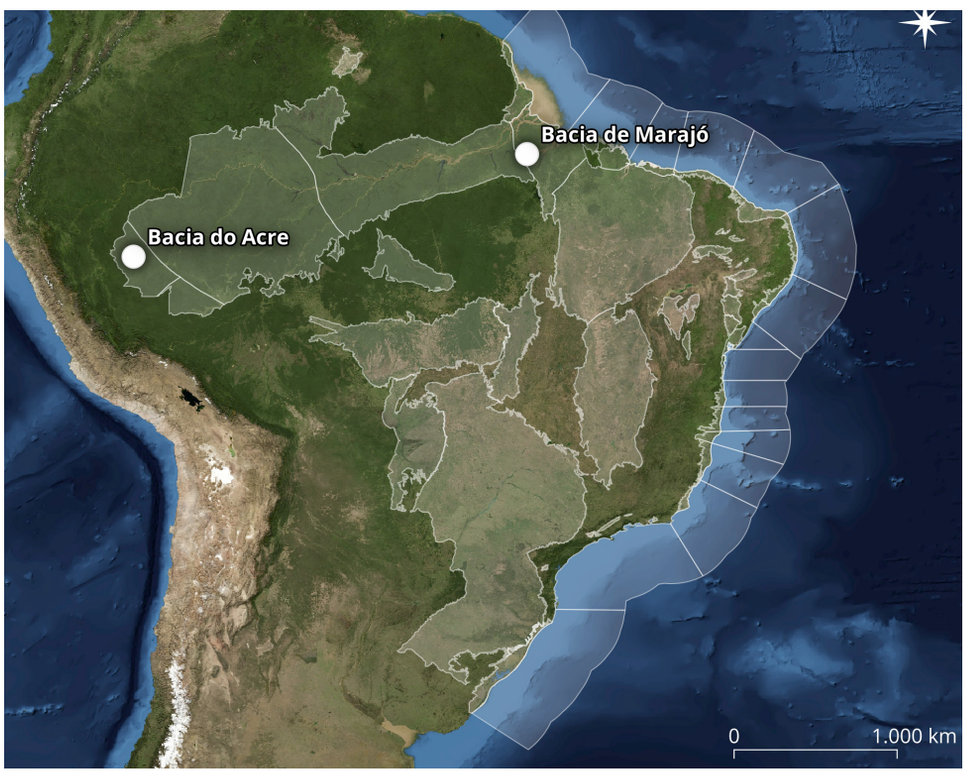


Figura 1 – Localização dos locais de perfuração do TADP em mapa contendo os limites das bacias sedimentares brasileiras em polígonos de cor clara, sobre imagem de satélite MODIS.

Estas amostras foram armazenadas em repositório especializado da Universidade de Minnesota (CSD - *Continental Scientific Drilling Facility*), onde passaram por processamento de testemunhos de sondagem, incluindo análises geofísicas de varredura (susceptibilidade magnética, radiação gama natural, resistividade elétrica), espectrofotometria, produção de imagens de alta resolução, fluorescência de raios X, e descrição sedimentológica.

O trabalho de Outreach teve início, em cada local antes da operação de perfuração, em maio/2023 no Acre e maio/2024 no Pará, com atividades realizadas *in loco* de apresentação do projeto para membros da administração municipal em reuniões específicas. Este trabalho foi seguido por workshops de introdução às Geociências com educadores e agentes de instituições públicas. Foram feitas atividades de introdução a tópicos de geociências da Amazônia nas escolas públicas locais e cursos, além de manter presença na mídia local, reuniões abertas ao público e conversas com membros das comunidades, que também foram feitas com o objetivo de promover as geociências, especialmente os temas ligados ao TADP. O trabalho posterior às perfurações inclui principalmente a elaboração de material educativo e de divulgação científica em colaboração com pessoas das comunidades locais, incluindo os recursos interativos online.

A criação destes recursos, especificamente modelos tridimensionais e passeios virtuais, envolve trabalho de dois tipos: 1) aquisição de dados e montagem dessas ferramentas, e 2) elaboração e adição de conteúdo de divulgação científica adaptado para público não-acadêmico. No que diz respeito à aquisição dos dados, o inventário de sítios geológicos indicou locais em que foram usados VANT (DJI Mavic 2 Pro), câmera 360° (Insta x3) e DSLR (Nikon D7000) para capturar imagens usadas em modelos 3D ou panorâmicas 360°. A montagem de imagens panorâmicas foi feita em software específico com métodos fotogramétricos baseados em definição de pontos em comum entre imagens (PTGui Pro ou software proprietário da Insta360). A criação dos modelos tridimensionais foi feita com fotogrametria (*Structure from Motion* - SfM) (Carrivick *et al*., 2016) no programa Agisoft Metashape, eventualmente editados no Blender. Alguns modelos 3D foram criados plenamente com ilustração manual no Blender. A produção dos passeios virtuais foi feita em software específico (3DVista Virtual Tour Pro). A adição de conteúdo interpretativo, assim como a escolha dos temas apresentados, foi feita usando princípios da Interpretação Ambiental apresentados em Tilden (1957), Ham (1992) e Beck e Cable (2002).

RESULTADOS

As perfurações nas bacias do Acre e de Marajó atingiram respectivamente 923 m e 924 m, com mais de 80% de aproveitamento. Este material é composto principalmente por sedimentos não consolidados, sendo até o momento os registros contínuos que contemplam os maiores intervalos de tempo/profundidade já atingidos para a região amazônica dentro do Cenozóico.

Após a conclusão do trabalho de divulgação científica *in situ* foi iniciada a produção de material didático e de divulgação, incluindo os recursos digitais. Foram criados modelos 3D de fósseis da Formação Solimões a partir de amostras sob a responsabi-

lidade do Prof. Francisco Ricardo Negri, do Laboratório de Paleontologia da UFAC (Universidade Federal do Acre) campus Cruzeiro do Sul, outros modelos tridimensionais incluem peças geradas a partir de modelos digitais de elevação, esquema do furo de sondagem e uma representação da própria sonda usada nas perfurações. Alguns destes modelos foram usados na criação de peças de realidade aumentada, acessíveis via *links* ou *QR codes*, enquanto outros modelos foram impressos em uma impressora 3D e pintados manualmente por paleoartistas.

O passeio virtual criado é um roteiro de visita a 21 localidades representadas por imagens panorâmicas aéreas em 360°, há também imagens panorâmicas 360° ao nível do solo em alguns locais. O roteiro inicia na Serra do Divisor, segue pelo Rio Moa, pelas cidades de Cruzeiro do Sul e Rodrigues Alves, acompanha o Rio Juruá, e por fim visita pontos no Rio Croa. Em cada localidade/panorâmica há pontos ou zonas de interesse representadas por pontos ou polígonos interativos, que contém informação explicativa ou interpretativa, apresentada em vídeos ou janelas de informação com elementos visuais e texto sobre o assunto do ponto/zona de interesse.

Figura 1 – Recursos de divulgação científica usados no TADP: a) sonda de perfuração, b) visão do passeio do Alto Juruá, c) janela de informação do passeio virtual contendo conteúdo interpretativo, d) modelo esquemático de um furo do TADP visto em realidade aumentada, e) réplica do dente de um *Purussaurus brasiliensis* criada a partir do modelo 3D do fóssil, f) impressão 3D colorida manualmente do relevo terrestre e submarino na região da foz do Rio Amazonas e leque submarino.

DISCUSSÕES

As atividades realizadas nos locais de perfuração tiveram grande aceite pelo público participante, o que foi registrado em notas escritas nos pedidos de comentários/sugestões sobre os eventos efetuados. O bom recebimento destas atividades incentivou a manutenção do contato com educadores locais após o fim das operações de sondagem. Estes educadores são os principais colaboradores para a continuidade do ensino e da divulgação de geociências nos locais onde atuam. O passeio virtual será ajustado de acordo com as observações dos moradores do local, tanto no que diz respeito ao layout geral do recurso, quanto no que diz respeito à seleção e apresentação da informação

sobre geociências da área. Qualquer recurso online com o objetivo de instigar a curiosidade das pessoas sobre o assunto deve ser capaz de manter a atenção dos usuários por um tempo minimamente necessário para que ele se interesse sobre os temas abordados. Como recursos feitos para envolver principalmente o público estudantil - pessoas que cresceram com acesso à internet e uso de dispositivos móveis -, passeios virtuais e modelos 3D tem a vantagem de, ao mesmo tempo, serem algo familiar à um público acostumado ao ambiente virtual mas com um fator de ineditismo devido ao tópicos apresentados de forma interativa, visto que, se esses temas são tratados nas escolas, eles são apresentados de acordo com as práticas formais de ensino.

Adicionalmente, qualquer pessoa de qualquer local pode acessar esse conteúdo, contribuindo tanto para o ensino, quanto para a divulgação e a promoção da geodiversidade das regiões dos locais de perfuração, e desse modo, promovendo a geodiversidade da Amazônia e de sua história geológica.

CONCLUSÕES

O TADP é um projeto de grande porte, com obtenção do maior intervalo contínuo de amostras já feito em uma perfuração terrestre na região Amazônica. Esse material será analisado por anos em diversas pesquisas sob a responsabilidade de pesquisadores de diversas áreas, incluindo sedimentologia, paleoclimatologia, geofísica, micropaleontologia, palinologia, hidrologia, etc. Devido à associação com o ICDP há exigência institucional de ações de Outreach, e por isso membros do GeoHereditas foram vinculados ao projeto.

As ações de divulgação do TADP, ensino e promoção dos aspectos geológicos e ambientais das duas regiões de perfuração ocorrem em atividades *in situ* e posteriormente com a produção de material digital, incluindo a criação de recursos interativos como modelos 3D e um passeio virtual colaborativo, além de material derivado dos modelos tridimensionais. Com a produção de material digital, as ações de Outreach ganharam um alcance amplo, visto que recursos disponíveis online podem ser acessados a qualquer momento, por qualquer pessoa, em qualquer lugar, garantindo que os temas abordados nestes produtos estejam acessíveis para os interessados mesmo após a conclusão da operação de sondagem.

A existência de uma equipe de Outreach distingue esse projeto de demais trabalhos geológicos, sejam eles de perfuração ou de campo, visto que dessa forma a população não é alienada do que os pesquisadores estejam realizando nos locais de vivência dessas pessoas. Ao contrário disso, o TADP aproveitou a oportunidade de inserir moradores locais em atividades de ensino e promoção das geociências, uma parceria que envolveu também outros pesquisadores do projeto, professores de universidades locais, educadores e alunos das redes de ensino, em uma perspectiva de respeito à essas pessoas e ao seu conhecimento sobre o ambiente em que vivem.

AGRADECIMENTOS

O TADP (*Transamazon Drilling Project*) é um projeto internacional financiado pelo ICDP (*International Continental Scientific Drilling Project*), com apoio monetário para as tarefas operacionais da NSF (*National Science Foundation*) e do *Smithsonian Institute*. O apoio financeiro brasileiro para atividades gerais e de operação é dado pelo Projeto Temático FAPESP 2018/23899-2.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Baker, P. A., Fritz, S. C., Silva, C. G., Rigsby, C. A., Absy, M. L., Almeida, R. P., Caputo, M., Chiessi, C. M., Cruz, F. W., Dick, C. W., Feakins, S. J., Figueiredo, J., Freeman, K. H., Hoorn, C., Jaramillo, C., Kern, A. K., Latrubesse, E. M., Ledru, M. P., Marzoli, A., Myrbo, A., Noren, A., Piller, W. E., Ramos, M. I. F., Ribas, C. C., Trnadade, R., West, A. J., Wahnfried, I., and Willard, D. A. (2015). Trans-Amazon Drilling Project (TADP): origins and evolution of the forests, climate, and hydrology of the South American tropics, Scientific Drilling, 20, 41–49.

Beck, L. e Cable, T. (2002). *Interpretation for the 21st century: fifteen guiding principles for interpreting nature and culture*. 2nd ed. Champaign: Sagamore Publishing.

Carrivick, J.L., Smith, M.W. e Quincey, D.J. (2016). *Structure from Motion in the Geosciences*. West Sussex: John Wiley & Sons.

Cunha, P. R. C. (2007). Bacia do Acre. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 15, 207–215.

Ham, S.H. (1992). *Environmental interpretation: a practical guide for people with big ideas and small budgets*. Golden: North American Press.

Tilden, F. (2007). *Interpreting our heritage*. 4th ed. Chapel Hill: University of North Carolina Press.7

Zalan, P. V. e Matsuda, N. S. (2007). Bacia do Marajó. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 15, 311–319.

MÁQUINA DE CIÊNCIAS DA TERRA

Jamile Dehaini[1]; Alderlene Pimentel Brito[2]; Idecy Melissa Souza da Silva[1]; Jose Guilherme de Sousa Oliveira[1]; Alcemir Pereira da Trindade[1]; Isaque Castro Icavino[1]; Maria Eduarda Santos Leal Augusto[1]; Marcus Vinicius Farias Rocha[1]

[1]Universidade do Estado do Amazonas - UEA;
[2]Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA

jdehaini@uea.edu.br; alderlenebrito@gmail.com; imsdsi.mtr24@uea.edu.br; jgdso.gen23@uea.edu.br; apdt.gen23@uea.edu.br,; ici.gen23@uea.edu.br; mesla.mtr22@uea.edu.br; mvfr.eng20@uea.edu.br

RESUMO

Esse trabalho apresenta um relato sobre projeto de extensão em andamento no campo das Ciências da Terra com auxílio financeiro e alunos de graduação bolsistas. O objetivo do projeto tem como base proporcionar aos estudantes de ensino básico e sociedade em geral conhecimento sobre o Sistema Terra no contexto científico com atividades de pesquisa, dinâmicas pedagógicas, desafios, brincadeiras e redes sociais. É de significativa importância desenvolver a percepção de como o planeta se formou até chegar na atualidade como também enfatizar sobre a questão das mudanças climáticas com o aumento de dióxido de carbono na atmosfera produzido por atividades antropogênicas. O projeto Máquina de Ciências da Terra procura ressaltar o aspecto da Terra como um sistema onde ocorrem trocas de massa e energia entre seus subsistemas (atmosfera, hidrosfera, litosfera, biosfera e criosfera) os quais interagem entre si e que mudanças em um dos subsistemas provocam mudanças nos outros. Também trabalha com conteúdo de Astronomia, Paleontologia, Metodologia Científica, Ciclo Hidrológico. Dessa forma procura-se mostrar didaticamente o conhecimento científico já adquirido sobre o funcionamento do planeta como uma máquina de mecanismos complexos em contraposição às opiniões pessoais compartilhadas nas redes sociais que distorcem a realidade e não contribuem para um futuro ambientalmente favorável à vida humana. A proposta é divulgar conceitos de astronomia, sistema Terra e seus subsistemas, ciclo das rochas, ciclo hidrológico e segurança hídrica, efeito estufa e a sua intensificação, mudanças climáticas e eventos extremos. Entender a unicidade do planeta Terra, a interação entre os subsistemas e promover a importância de cada ser vivo no sistema e seu papel na influência das mudanças climáticas é fundamental para fazer entender o papel de cada um para sobrevivência da humanidade. As atividades do projeto encontram-se na fase de postagens de conteúdos em rede social com um número significativo de visualizações e interações.

PALAVRAS-CHAVE: Divulgação Científica; Geociências; Astronomia; Paleontologia.

INTRODUÇÃO

A experiência que o mundo viveu durante a pandemia em 2020 mostrou um lado perverso das redes sociais e outros meios de comunicação, desprovidos de qualquer tipo de controle, que foram utilizadas intensamente devido ao isolamento. Foi um período durante o qual ocorreu uma avalanche de "teses" absurdas e mentiras com características criminosas sendo reproduzidas numa rapidez impressionante. Nesse contexto um dos principais pano de fundo foi gerar desconfiança nos cientistas e questionamentos duvidosos sobre a Ciência que circulavam desde eficácia e importância das vacinas, tradicionalmente respeitadas, até a absurda crença de que a Terra seria plana, ideia essa descontruída desde o período da antiguidade pelos gregos os quais de forma simples verificaram a esfericidade do planeta e que atualmente com amplo aparato tecnológico visualizá-la externamente (Venturi *et al.* 2022; Terrae Didatica 2023, 2021; Fabrício & Vitte 2019).

Entender o mundo que nos rodeia sempre foi interesse da humanidade e a partir dos gregos os quais iniciaram a história da metodologia científica com observações de cunho científico e vem se aprimorando para satisfazer um mínimo de entendimento sobre nossas origens e nosso futuro (Fabrício & Vitte 2019). Os conhecimentos adquiridos na área das Geociências ou Ciências da Terra podem combater essa desconexão da realidade propagada no mundo das redes sociais por sua característica inter/multidisciplinar (Terrae Didatica 2023, 2021).

Portanto, atualmente com os problemas que a humanidade enfrenta em relação a possibilidade de sobrevivência, a ciência faz parte, direta ou indiretamente, do cotidiano de qualquer cidadão, sendo cada vez mais imprescindível a sua comunicação assertiva e entendimento público (Faria *et al.* 2021; Bueno 2010). A sociedade deve valorizar a ciência e se informar sobre os problemas do planeta adquirindo conhecimento do conceito de Sistema Terra (Rocha & Massarani 2017; Rocha 2012). É fundamental um melhor entendimento sobre o funcionamento e a complexidade dos subsistemas terrestres, para o desenvolvimento de uma sociedade cientificamente educada e consciente, quanto à vulnerabilidade natural do planeta (Lima & Antunes 2021; Martin *et al.* 2021; Monteiro *et al*. 2021).

O campo de estudo das Ciências dos Sistemas Terrestres (onde se incluem as Ciências Naturais, a Geologia e a Biologia) promove a visão integrada do Sistema Terra, nomeadamente reforçando as interligações e interações entre os seus subsistemas (atmosfera, hidrosfera, biosfera, litosfera e criosfera) (Lima & Antunes 2021).

A atual mudança climática, a necessidade de exploração de novos minerais, o uso sustentável dos recursos hídricos e a proteção da bio e geodiversidade (IPCC 2022) são alguns exemplos dos desafios que enfrentamos, que só com cidadãos cientificamente informados poderão desenvolver a conscientização das atividades antropogênicas impactantes no planeta (Franzoni *et al.* 2023; Faria *et al.* 2021).

Desde 2015, com a definição dos objetivos de desenvolvimento sustentável das Nações Unidas, e da sua adoção em todas as áreas do conhecimento, da ciência à educação, o foco na sustentabilidade na Terra percorreu um longo caminho, ensinando e comunicando a todos os cidadãos que a Terra é um sistema dinâmico. A abordagem

tradicional na educação através de sistema de reprodução e aprendizagem mecânica não tem proporcionado estímulo à procura de conhecimento e formação de cidadãos conscientes, desde crianças até os adolescentes os quais ficam susceptíveis às mensagens rápidas e desprovidas de comprovações científicas (Faria *et al.* 2021; Lima & Antunes 2021; Bueno 2010).

No contexto científico a Terra deve ser estudada como um sistema constituído de subsistemas interligados e que as atividades humanas têm impactado os subsistemas atmosfera, hidrosfera, biosfera, litosfera e criosfera.

Diante do exposto a proposta de desenvolver o projeto "Máquina de Ciências da Terra" no campo da extensão é uma área curricular pela qual procura proporcionar a dimensão dos problemas globais através de conhecimento científico para crianças, adolescentes e adultos através de atividades práticas a fim de contribuir na formação de cidadãos responsáveis pelas suas ações diante do planeta como também serem estimulados a procurar conhecimento com base científica.

As atividades são diversificadas e desenvolvidas com alunos de graduação, alunos de ensino fundamental II e ensino médio.

METODOLOGIA

A metodologia aplicada no projeto é constituída de atividades didáticas de divulgação científica e outra no campo do ensino e pesquisa com de aplicação de oficinas, material didático com animação a ser distribuído, divulgação nas redes sociais sobre os temas do projeto desenvolvendo experimentos simples, mas que os alunos participem (Faria *et al.* 2021; Bueno 2010)..

Dessa forma, o projeto é focado em estudantes de ensino básico e graduação onde procura: a) demonstrar a metodologia científica aplicada na aquisição de conhecimento da formação do sistema solar e do planeta Terra (Martin *et al.* 2021); b) desenvolver atividades observacionais com planetário e visitação de escolas; c) programar com telescópio sessões noturnas de observações do céu para alunos de graduação; d) proporcionar noções sobre metodologia científica para entendimento do desenvolvimento da vida através de paleontologia (Franzoni *et al.* 2023; Graffunder *et al.* 2022); e) promover competições de lançamento de foguetes feitos de garrafas PET e impulsionados por bomba de ar de pneu de bicicleta.

No ensino básico a aquisição de conhecimento sobre a superfície do planeta e os fenômenos atuantes proporciona uma visão muito abstrata e desinteressante. Com base em Resende & Vieira (2021), por exemplo, os quais desenvolveram o projeto Google Maps e Google Earth através de um perfil no Instagram são realizados vídeos com as possibilidades de uso dessas ferramentas. Também é utilizada a literatura utilizada nos cursos de graduação em Ciências da Terra como base para desenvolver os materiais (Christopherson & Birkland 2017; Grotzinger & Jordan 2014; Teixeira *et al.* 2008).

Os bolsistas do projeto numa primeira fase trabalham com levantamento bibliográfico sobre os temas os quais são publicados nas redes sociais. Os conteúdos que têm sido divulgados são discutidos pela equipe e assim são gerados materiais didáticos. a elaboração de oficinas, as estratégias e produção das apresentações e, definição das visitas nas escolas e oficinas para os alunos de graduação, a montagem de ambientes geológicos no aquário físico adquirido no projeto anterior, as estratégias e produção das apresentações e, definição das visitas nas escolas e oficinas para os alunos de graduação. Os temas e formas de desenvolver são pré-definidos.

O conteúdo científico didático é pesquisado por levantamento bibliográfico como também serão criadas animações. Alguns conceitos importantes são abordados através de ferramentas didáticas providas de animações como o CANVA de domínio público.

RESULTADOS

Como resultados deste projeto estão as atividades de divulgação científica na plataforma Instagram, no perfil @maquinacienciasdaterra. Até o momento, foram realizadas postagens com conteúdos educativos voltados à compreensão do funcionamento sistêmico do planeta Terra e à conscientização ambiental.

Os materiais produzidos são: o papel da Geofísica, o Sistema Solar, a importância do cuidado com o planeta e o conceito da Terra como uma máquina integrada. Os posts adotam uma linguagem acessível, com uso de ilustrações, perguntas e chamadas interativas. Entre os dias 15 de maio e 13 de junho o perfil contabilizou 7 publicações, 78 seguidores e 66 perfis seguidos, 3,1 mil vizualizações e 337 interações. As ações buscam ampliar o alcance da ciência por meio das redes sociais (Figura 1).

O projeto é coordenado por uma docente e conta com a participação de uma pesquisadora, quatro bolsistas de graduação em; Meteorologia, Engenharia Mecânica, Engenharia Naval e três voluntários do curso de Meteorologia.

Figura 1 – Postagens realizadas em rede social Instagram (@maquinacienciasdaterra).

As articulações para a próxima etapa do projeto já estão em andamento e envolverão ações presenciais em escolas.

DISCUSSÕES

A divulgação científica se destina ao público leigo, espera-se ver, no geral, uma audiência não alfabetizada cientificamente (Bueno 2010). O termo "popularização da ciência" é de origem francesa e refere-se ao ato de tornar a ciência popular (Rocha 2017).

Nesse caso, trata-se de um esforço mais amplo do que "apenas" divulgar a ciência - é também estar atento aos movimentos sociais (populares), colocando a ciência dentro do campo da participação popular e deixando-a a favor das ações culturais necessárias aos grupos oprimidos e marginalizados da população (Rocha, 2012). Neste sentido, as ações de extensão universitária, caminham para a popularização da ciência e justiça social.

CONCLUSÕES

Como conclusões preliminares, o projeto de extensão "Máquina de Ciências da Terra" tem promovido a divulgação científica por meio de divulgação científica de conteúdo nas redes sociais. A proposta desse projeto busca explicar, de forma didática, o funcionamento sistêmico do planeta Terra, suas origens e mudanças ao longo dos 4,56 bilhões de anos, integrando temas como astronomia, geociências, ciclo das rochas, mudanças climáticas e ações humanas sobre os subsistemas terrestres.

O projeto encontra-se na fase de postagens de conteúdo em rede social e tem apresentado quantidade de visualizações e interações significativos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bueno, W. C. (2010) Comunicação científica e divulgação científica: aproximações e rupturas conceituais. *Informação & Informação, Londrina*, v. 15, n. 1 esp., p. 1-12. Disponível em: https://ojs.uel.br/ revistas/uel/index.php/informacao/article/view/6585.

Christopherson, R. W., Birkeland, G. H. (2017). *Geosystems: An Introduction to Physical Geography* Tenth Edition. Hoboken, NJ: Pearson. 605p ISBN-10: 0-134-59711-7; ISBN-13: 978-0-134-59711-9

Fabrício, D. C. B.; Vitte, A. C. (2019). A Terra esférica e o olhar transcendental na Antiguidade Greco-Romana. *Terræ Didatica*, *15,* 1-5, e19054. doi: 10.20396/td.v15i0.8657615

Faria, D. R. de, Ramos, M. C., & Coltri, P. P. (2021). Sequência Didática como estratégia para ensino sobre desafios socioambientais relacionados às Mudanças Climáticas. *Terræ Didatica*, *17* (Publ. Contínua), 1-12, e021052. doi:10.20396/td.v17i00.8667126.

FranzonI, J., Laino, L., & Martín, R. (2023). Paleontology as a didactic tool to learn about environmental change. *Terræ Didatica*, *19* (Publ. Contínua), 1-7, e023032. doi:10.20396/td.v19i00.8674448.

Graffunder, K. G., Camillo, C. M., & Gonçalves, R. R. (2022). Ludicidade em foco: jogo didático sobre a origem e evolução da vida para o ensino médio. *Terræ Didatica, 18* (Publ. Contínua), 1-9, e022005. doi:10.20396/td.v18i00.8668182.

Grotzinger J., Jordan T. H. (2014). *Understanding Earth*. W. H. Freeman and Company. England Seventh Edition. 672p. ISBN-13: 978-1-4641-3874-4

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). Caretta, M.A., A. Mukherji, M. Arfanuzzaman, R.A. Betts, A. Gelfan, Y. Hirabayashi, T.K. Lissner, J. Liu, E. Lopez Gunn, R. Morgan, S. Mwanga, and S. Supratid, 2022: *Water. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 551–712, doi:10.1017/9781009325844.006

Lima, D. M. C. H. de, & Antunes, S. C. F. M. (2021). Visão holística do Sistema Terra para o desenvolvimento sustentável. *Terræ Didatica*, *17* (Publ. Contínua), 1-11, e021025. doi: 10.20396/td.v17i00.8665564.

Martín, R. S., Franzoni, J., Rizk, G. R. (2021). Cambio Climático y Evolución Ambiental, un taller donde construir el concepto de Tiempo Geológico. *Terræ Didatica*, *17* (Publ. Contínua), 1-9, e021031. doi:10.20396/td.v17i00.8666408.

Monteiro, A. F. M., Yamamoto, A. L. C., Silva, P. N., & Reboita, M. S. (2021). Conhecer a complexidade do sistema climático para entender as mudanças climáticas. *Terræ Didatica*, *17* (Publ. Contínua), 1-12, e021006. doi: 10.20396/td.v17i0.8663763

Rezende, L. C. de, & Vieira, A. C. B. (2021). Geogle Maps: Google Maps como ferramenta de ensino de Geociências. *Terræ Didatica*, *17*(Publ. Contínua), 1-11, e021003. (Art. Bilíngue). doi:10.20396/td.v17i00.8661509.

Rocha, M. B. (2012) O potencial didático dos textos de divulgação científica segundo professores de ciências. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, v. 5, n. 2, p. 47-68, maio/ago. DOI: 10.3895/S1982-873X2012000200005

Rocha, M.; Massarani, L. (2017) Panorama general de la investigación en divulgación de la ciencia en América Latina. *In:* MASSARANI, Luisa *et al*. (org.). *Aproximaciones a la investigación en divulgación de la ciencia en América Latina a partir de sus artículos académicos*. Rio de Janeiro: Fiocruz: COC. p. 13-38.

Teixeira W., Fairchild T.R., Toledo M.C.M., Taioli F. (orgs). (2008). *Decifrando a Terra*. São Paulo: Cia. Edit. Nac. 623p.

Terrae Didatica (2023). Editorial: Rumos 'pós-pandêmicos' da Pesquisa, Educação e História de Ciências da Terra Campinas, SP v.19 1-4 e023001

Terrae Didatica (2021). Editorial: The challenge of spreading Geosciences in times of pandemic and anti-Science movements. Campinas, SP. v.17. 1-2. e021001 2021 Doi:10.20396/td.v17i00.8663971

Venturi, T., Bartelmebs, R. C., Lohmann, L. A. D., Souza, A. M. G. de, & Umeres, I. C. (2022). História da Vacina e História da Astronomia: episódios históricos para a Educação em Ciências em tempos negacionistas. *Terræ Didatica*, *18* (Publ. Contínua), 1-12, e022014. doi: 10.20396/td.v18i00.8668944.

ROCHAS QUE CONTAM HISTÓRIAS: LITOLOGIA, IDENTIDADE E EDUCAÇÃO PATRIMONIAL NO CEMITÉRIO SÃO JOÃO BATISTA/MANAUS

Wingrid Liane Silva de Souza[1]; Raimundo Humberto Cavalcante Lima[1,2]

[1]Curso de Geologia da Universidade Federal do Amazonas - UFAM;
[2]Programa de Pós Graduação em Geociências/UFAM

wingrid.souza@ufam.edu.br; humbertoclima@ufam.edu.br

RESUMO

O Cemitério São João Batista, em Manaus, representa um relevante patrimônio histórico, cultural e geológico. Com mais de um século de existência, abriga túmulos de personalidades de destaque e um acervo expressivo de rochas ornamentais, como mármore de Carrara, Calcário Lioz e granitos. Este trabalho teve como objetivo levantar pontos de interesse de estudo e descrever as rochas presentes nos jazigos, buscando a valorização do patrimônio geológico e cultural do local. As atividades envolveram levantamento de dados históricos, visitas de campo, análise macroscópica das litologias e registros fotográficos. A proposta visa fomentar o geoturismo cemiterial como estratégia educativa, sustentável e de preservação da memória e da identidade cultural de Manaus.

PALAVRAS-CHAVE: Patrimônio geológico; Rochas ornamentais; Memória histórica; Cemitério São João Batista em Manaus.

INTRODUÇÃO

A cidade de Manaus, conhecida por sua beleza natural e riqueza cultural, também se destaca por um valioso patrimônio arquitetônico que reflete seu desenvolvimento histórico e econômico. Durante o ciclo da borracha, no século XIX, a capital amazonense vivenciou um processo intenso de urbanização e modernização, que resultou na construção de diversos monumentos icônicos, como o Teatro Amazonas, o Palácio da Justiça e a Igreja da Matriz. Nesse contexto, houve a ampla utilização de rochas ornamentais, muitas delas importadas, que hoje fazem parte da memória histórica e geológica da cidade.

Entre os espaços que preservam esse patrimônio, os cemitérios se destacam como verdadeiros museus a céu aberto, reunindo não apenas expressões artísticas e arquitetônicas, mas também um vasto acervo geológico. O Cemitério Municipal São João

Batista, o mais antigo de Manaus, constitui um importante registro histórico, social e litológico, refletindo práticas culturais e escolhas materiais de diferentes períodos.

Este trabalho tem como objetivo realizar a caracterização geológica e patrimonial do Cemitério São João Batista, entendendo-o como um patrimônio ex situ, onde diferentes rochas e materiais foram retirados de seu ambiente natural e ressignificados em um contexto cultural. A proposta busca, além de divulgar as geociências para a sociedade, despertar um novo olhar sobre esses espaços. A pesquisa propõe-se a catalogar os principais litotipos presentes nos jazigos e monumentos, analisar seu estado de conservação e contribuir para estratégias de preservação desse patrimônio histórico, cultural e natural, valorizando-o como instrumento de educação e turismo científico.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido por meio de análise macroscópica de rochas, com quatro etapas: (1) revisão bibliográfica sobre o contexto histórico e geológico da necrópole; (2) delimitação da área de estudo, considerando a diversidade litológica e a importância histórica dos sepultados; (3) levantamento em campo de seis jazigos, utilizando lupa de bolso (30x) para identificação dos materiais pétreos; e (4) organização e caracterização dos dados em gabinete.

RESULTADOS

No decorrer de um ano de pesquisa, conseguiu-se realizar a confecção do guia ilustrado do roteiro geoturístico pelo cemitério São João Batista em Manaus. O modelo do guia foi inspirado no modelo do mapa de localização do livro “Cemitério Municipal de São João”, de Humberto Barata Neto, que foi redesenhado para atender as necessidades do projeto.

O modelo redesenhado possui a identificação das duas entradas da necrópole, assim como também ilustra de locais importantes, como a capela de São João, a administração, o cruzeiro e a localização dos banheiros. Além, desses locais de identificação básicos, o mapa também ilustra os pontos de estudos levantados e catalogados durante o decorrer do projeto.

Eduardo Ribeiro

Importância histórica

Eduardo Gonçalves Ribeiro, era natural de São Luís, no Maranhão, nasceu em 18 de setembro de 1862, e foi o primeiro governador negro do Amazonas. Sua gestão se destacou pela modernização de Manaus, com obras de urbanização, construção de escolas, continuidade do Teatro Amazonas, implantação do Reservatório do Mocó, iluminação pública e melhorias na infraestrutura, transformando a cidade na chamada “Paris dos Trópicos”. Eduardo Ribeiro faleceu no dia 14 de outubro de 1900. Sua lápide (Figura 2.A) encontra-se nas seguintes coordenadas - 03º06’55’’S 60º01’08’’W.

Caracterização geológica do jazigo

A rocha (Figura 2.1) caracteriza-se por ser uma mármore de Carrara, uma rocha metamórfica de baixo à médio grau, originada a partir do metamorfismo do calcário, uma rocha sedimentar, composta por carbonato de cálcio (CaCO3) e magnésio (MgCO3), que quando submetida a altas temperaturas e pressão, começa a se metamorfizar originando o mármore, uma rocha cristalina e compacta, composta principalmente por calcita (CaCO3) e/ou dolomita (CaMg(CO3)2), ambos carbonatos. Usualmente ele apresenta uma estrutura maciça, mas pode apresentar bandamento de cor em padrões variados, de acordo com seu nível de pureza.

Família B. Lins

Caracterização geológica do jazigo

A rocha (Figura 2.2) caracteriza-se por ser um Calcário Lioz, um calcário bioclástico, composto por materiais de composição carbonática, constituídos por algas calcárias, compostas de carbonato de cálcio (CaCO3) e carbonato de magnésio (MgCO3), ou por fragmentos de conchas, e calciclástico, (uma rocha sedimentar que tem tendência oolítica, ou seja, com finas pontuações ou nódulos) compacto, rico em bioesparito (rocha formada por fragmentos de conchas e esqueletos de organismos marinhos) e microesparito (rocha formada por sedimentos microscópicos), geralmente de cor bege, ocorrendo variedades da cor cinza azulado, amarelo claro e amarelo avermelhado. A lápide (Figura 2.B) da família B. Lins está situada nas coordenadas 03º06’56’’S e 60º01’09’’W.

Doutor Adriano Jorge

Importância histórica

Adriano Augusto de Araújo Jorge Filho, nascido em Maceió em 20 de agosto de 1879, formou-se em medicina na Bahia e se mudou para Manaus. Atuou como médico, professor, jornalista (usando os pseudônimos Pam Gloss e Ruy Blass) e político. Foi um dos fundadores e o primeiro presidente da Academia Amazonense de Letras em 1918. Eleito vereador pelo PSD, presidiu a Câmara Municipal de Manaus de 1947 até sua morte em novembro de 1948. Sua lápide (Figura 2.C) encontra-se nas seguintes coordenadas 03º06’52’’S e 60º01’07’’W.

Caracterização geológica do jazigo

Apesar de seu alto grau de intemperismo, a rocha (Figura 2.3) caracteriza-se como sendo um granito, uma rocha plutônica. Nela foram identificados minerais como: hornblenda ((Ca,Na)2-3(Mg,Fe,Al)5(Al,Si)8O22(OH,F)2), plagioclásio ((Na,Ca)Al(Si,Al)Si2O8). quartzo (SiO2) e biotita (K(Mg,Fe)3AlSi3). Sua coloração era mais escura, ou seja, uma rocha de composição mais máfica e possuía uma textura fanerítica.

Arlindo Júnior

Importância histórica

Arlindo Pedro da Silva Junior, nascido em Manaus em 20 de maio de 1968, foi levantador de toadas do Boi Caprichoso, conhecido como "Pop da Selva" por seu carisma e talento. Atuou por 15 anos no festival de Parintins, sempre se destacando com as maiores notas. Em 2016, revelou estar com câncer de pleura, doença que evoluiu, levando-o ao falecimento em 29 de dezembro de 2019, aos 51 anos. Sua lápide (Figura 2.D) está situada nas coordenadas 03º06'51''S e 60º01'06''W.

Caracterização geológica do jazigo

A rocha (Figura 2.4) caracteriza-se como sendo um granito, uma rocha plutônica, onde foi identificada uma composição mineralógica de quartzo (SiO2), biotita (K(Mg,Fe)3AlSi3), hornblenda((Ca,Na)23(Mg,Fe,Al)5(Al,Si)8O22(OH,F)2) e plagioclásio ((Na,Ca)Al(Si,Al)Si2O8), classificada como sendo uma rocha mais máfica, de coloração escura com uma textura fanerítica.

Amandina S.

Caracterização geológica do jazigo

A rocha (Figura 2.5) deste jazigo, assim como a de Eduardo Ribeiro, é constituída inteiramente de mármore de Carrara, embora as referidas estejam em diferentes estágios de intemperismo, ambas as rochas parecem ter a mesma proveniência, a região de Carrara, na Toscana, Itália, de onde é extraída e exportada. A lápide de Amandina S. (Figura 2.E) está situada nas coordenadas 03º06'51''S e 60º01'10''W.

Família P. Lins

Caracterização geológica do jazigo

A rocha (figura 2.6) caracteriza-se como sendo um granito, uma rocha de origem intrusiva (ou plutônica), onde foi identificada uma composição de essencialmente de feldspato potássico ((K,Na)AlSi3O8), quartzo (SiO2), plagioclásio ((Na,Ca)Al(Si,Al)Si2O8), biotita (K(Mg,Fe)3AlSi3) e talvez alguma presença de hornblenda ((Ca,Na)2-3(Mg,Fe,Al)5(Al,Si)8O22(OH,F)2), devido a essa composição mineralógica de minerais mais félsicos, a rocha foi classificada como sendo uma rocha mais ácida, de cor clara, com uma textura fanerítica. A lápide (Figura 2.F) da família P. Lins está situada nas coordenadas 03º06'51''S e 60º01'11''W.

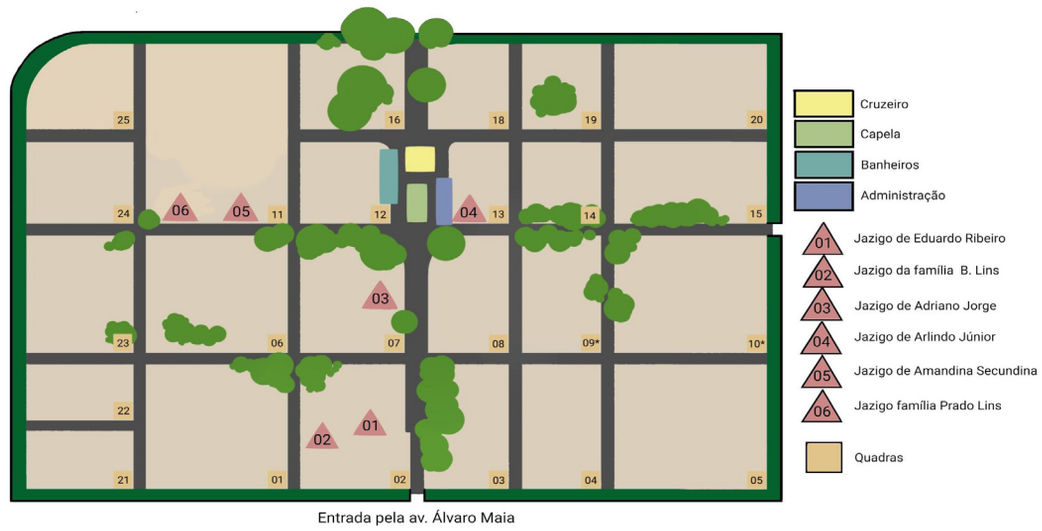


Figura 1 – Croqui guia do cemitério São João Batista em Manaus, identificando a localização das lápides. (Fonte: Do autor).

Figura 2 – Rochas estudadas; A) Lápide de Eduardo Ribeiro; B) Lápide da família P. Lins; C) Lápide do Dr. Adriano Jorge; D) Lápide de Arlindo Júnior; E) Lápide de Amandina S.; F) Jazigo da família P. Lins; 1) Mármore de Carrara; 2) Calcário Lioz; 3) Granito 1; 4) Granito 2; 5) Mármore de Carrara; 6) Granito vermelho; G) Busto do ex-governador Eduardo Ribeiro esculpido em mármore; H) Escultura de um anjo, esculpido em Calcário Lioz; I) Escultura de cobre que retrata o busto de Jesus Cristo; J) Busto de Arlindo Júnior esculpida em cobre; K) Escultura de um anjo olhando para o chão; L) Crucifixo feito de mármore. (Fonte: Do autor.)

DISCUSSÕES

Os resultados obtidos no Cemitério São João Batista reforçam a visão de que esses espaços funcionam como verdadeiros "museus a céu aberto", conforme defendido por Borges (2014) e Pedrosa (2024). A variedade de materiais pétreos identificados, como mármore de Carrara, Calcário Lioz e diferentes tipos de granito, dialoga diretamente

com a análise feita por Kuzmickas e Del Lama (2015) no Cemitério da Consolação, em São Paulo, onde a escolha dos materiais reflete não apenas critérios estéticos, mas também a condição social dos sepultados e os contextos econômicos da época.

A utilização de rochas importadas, como o mármore de Carrara e o Calcário Lioz — este último também amplamente registrado nos monumentos históricos portugueses, segundo Silva (2008) —, demonstra o poder econômico de famílias influentes durante o ciclo da borracha. Esse padrão se repete na análise feita por Barata Neto (2012), que ressalta a influência europeia na arquitetura funerária de Manaus.

Além disso, o estado de conservação de alguns túmulos, como o do Dr. Adriano Jorge, afetado pelo intemperismo, reflete as mesmas preocupações descritas por Kuzmickas e Del Lama (2023), que destacam os desafios de conservação do patrimônio construído com rochas suscetíveis às intempéries.

O presente estudo reforça, portanto, a importância de integrar geologia, história e cultura como forma de preservar e divulgar a memória coletiva e o patrimônio material de Manaus.

CONCLUSÕES

O presente estudo, desenvolvido no âmbito dos estudos pétreos em espaços cemiteriais, evidenciou a expressiva utilização de materiais litológicos de elevado valor histórico, cultural e científico, tais como o Calcário Lioz, o mármore de Carrara e diferentes tipos de granitos. A análise e catalogação desses litotipos demonstram não apenas critérios estéticos e funcionais adotados na composição dos monumentos, mas também revelam aspectos significativos da geodiversidade incorporada ao patrimônio construído. Diante disso, constata-se que os cemitérios configuram-se como relevantes espaços de divulgação científica, capazes de promover a conscientização sobre a importância da geologia no cotidiano, bem como de estimular ações voltadas à valorização, preservação e interpretação do patrimônio geológico e cultural ali presente.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pela FAPEAM (Fundação de Amparo à Pesquisa do Amazonas), que se interessou e enxergou potencial no projeto e nas pesquisas voltadas para a conservação patrimonial. Agradeço ao Professor Doutor Raimundo Humberto Cavalcante Lima, pela orientação e contribuições valiosas na condução desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barata Neto, Humberto D. F. Cemitério Municipal de São João - Manaus: Governo do Estado do Amazonas - Secretaria de Estado e Cultura, 2012. 40p.:il. ISBN 978-85-65409-21-6.

Borges, Maria E. VII CONGRESSO INTERNACIONAL IMAGENS DA MORTE: Tempos e Espaços da Morte na Sociedade, o Cemitério Como “Museu a Céu Aberto” - UFG/PPGH/ Brasil.

Duarte, Durango Martins. Manaus Entre o Passado e o Presente - 1.ª ed. Manaus: Ed. Mídia Ponto Comum, 2009. 296p.;il. ISBN 978-85-61540-00-5

Garcia, Etelvina. Manaus, Referências da História - 3 ed. Rev. Manaus, Norma editora, 2014.

Kuzmickas E Del Lama. Roteiro Geoturístico pelo Cemitério da Consolação, São Paulo. (2023). Revista do instituto de Geociências - USP

Pedrosa, Fábio. Loborum Meta: Sociedade e arte nos cemitérios de Manaus (1860-1930). Tese (Mestrado). Manaus: Instituto de Filosofia Ciências Humanas e Sociais (IFCHS) - UFAM.

USP. Rochas - Materiais Didáticos - USP. Disponível em https://didatico.igc.usp.br/rochas.

GROPPO, Sofia; FIGUEIREDO, Rodrigo; DEL LAMA. Roteiro geoturístico pelo cemitério São Paulo (SP). (2023). Revista do Instituto de Geociências - USP

MAPA GEOLÓGICO E DE RECURSOS MINERAIS DO ESTADO DE RONDÔNIA

Carlos Eduardo Santos de Oliveira[1]; Dalton Rosemberg Valentim da Silva [2]; Gustavo Negrello Bergami [3]

[1]Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM, Residência de Porto Velho;
[2]Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM, Núcleo de Natal;
[3]Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM, Núcleo de Curitiba

carlos.oliveira@sgb.gov.br; dalton.rosemberg@sgb.gov.br; gustavo.bergami@sgb.gov.br

RESUMO

O Estado de Rondônia, situado no sudoeste do Cráton Amazônico, possui um arcabouço geológico formado por terrenos polimetamórficos e registros de magmatismo, sedimentação e deformação, relacionados às províncias geocronológicas Rio Negro-Juruena (1,80–1,55 Ga), Rondoniano-San Ignácio (1,55–1,30 Ga) e Sunsás (1,30–1,00 Ga). A terceira versão do Mapa Geológico do Estado de Rondônia (escala 1:500.000), conduzida pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB), integrou dados de levantamentos aerogeofísicos (magnetometria e gamaespectrometria), dados geocronológicos e análises geoquímicas, consolidando informações das versões anteriores e incorporando levantamentos recentes. O presente trabalho reúne a caracterização de unidades litoestratigráficas representativas da evolução policíclica do embasamento, como o Terreno Roosevelt-Juruena, o Terreno Jamari, a Faixa Alto Guaporé e a Faixa Nova Brasilândia, além de sucessões sedimentares do Mesoproterozoico ao Fanerozoico. Foram identificadas manifestações de magmatismo anorogênico tipo A, depósitos sedimentares intracratônicos e eventos orogenéticos sucessivos, refletindo a complexa evolução tectono-magmática da região. O mapa também destaca áreas potenciais para recursos minerais, incluindo depósitos de estanho, ouro, diamante, cobre, níquel e insumos para agricultura, como calcário. Os resultados obtidos atualizam o conhecimento geológico do estado, servindo de referência para a indústria mineral, o setor público e a comunidade acadêmica.

PALAVRAS-CHAVE: Cráton Amazônico; Mapeamento Geológico; Recursos Minerais Rondônia.

INTRODUÇÃO

Rondônia localiza-se no sudoeste do Cráton Amazônico, região que registra uma evolução geodinâmica policíclica, vinculada a eventos paleoproterozoicos e mesoproterozoicos. Os trabalhos desenvolvidos pelo SGB, desde a década de 1970, permitiram a confecção de duas versões anteriores do mapa do estado (Lobato *et al*., 1966; Scan-

dolara, 1999; Quadros e Rizzotto, 2007). No entanto, o avanço das técnicas analíticas e o acúmulo de dados demandaram uma atualização cartográfica. O projeto Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado de Rondônia teve como objetivo principal revisar e detalhar o conhecimento geológico da região, incorporando dados recentes e identificando áreas potenciais para recursos minerais.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia envolveu revisão bibliográfica, compilação cartográfica, interpretação de dados aerogeofísicos (magnetometria e gamaespectrometria), análises geoquímicas e geocronológicas, além de mapeamento de campo. Foram integrados, em ambiente SIG, dados legados, bancos institucionais (GeoSGB), informações de projetos recentes e interpretações estratigráficas. As unidades geológicas foram reavaliadas com base em critérios litológicos, estruturais e geocronológicos, permitindo a elaboração de um novo arcabouço cartográfico na escala 1:500.000.

RESULTADOS

O arcabouço geológico de Rondônia reflete uma evolução complexa do Cráton Amazônico, marcada por eventos acrescionários, colisões continentais e fases extensivas, desde o Paleoproterozoico até o Neoproterozoico. O mapeamento permitiu caracterizar e refinar três províncias geocronológicas principais:

Província Rio Negro-Juruena (1800-1550 Ma): Representa os terrenos mais antigos da região, formados por complexos granito-gnáissicos, arcos vulcano-plutônicos e sucessões metassedimentares. Estes terrenos resultam da acresção de terrenos juvenis e processos de colisão continental no Paleoproterozoico.

Província Rondoniano-San Ignácio (1500-1300 Ma): Associada a fases acrescionárias mesoproterozoicas, registra arcos magmáticos juvenis, complexos graníticos e sucessões metassedimentares deformadas em cinturões orogenéticos. Eventos de colisão e tectonismo contribuíram para a construção da margem sudoeste do Cráton.

Província Sunsás (1300-1000 Ma): Corresponde à Faixa Sunsás e suas unidades correlatas, incluindo a Faixa Nova Brasilândia. É marcada pela evolução tardi-orogênica e pós-colisional, com desenvolvimento de bacias sedimentares de retro arco, cinturões metamórficos e intrusões graníticas tipo-A. O magmatismo anorogênico reflete regimes tectônicos extensivos após o fechamento das bacias oceânicas internas.

Coberturas sedimentares fanerozoicas e neoproterozoicas: Recobrem grande parte do embasamento. Destacam-se a Formação Palmeiral e as formações da Bacia dos Parecis, depositadas em contextos intracratônicos, sobre superfícies de erosão pós-tectônicas.

O refinamento das unidades litoestratigráficas e o reconhecimento dos principais eventos tectono-magmáticos permitiram redefinir a história geológica do sudoeste do Cráton Amazônico. As províncias registram uma sequência de eventos orogenéticos e pós-orogenéticos, vinculados ao crescimento continental e à reorganização crustal na borda sul do Cráton.

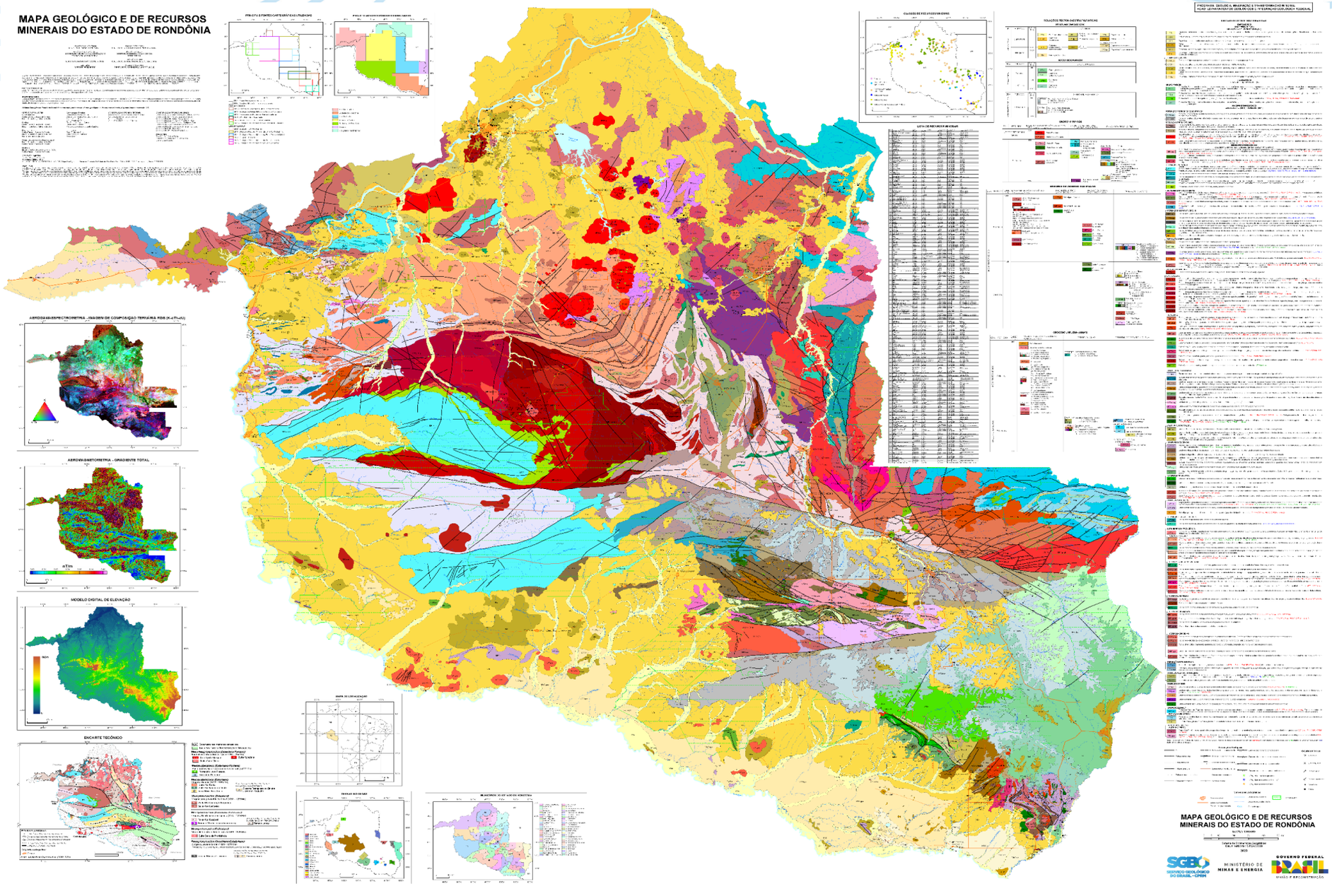


Figura 1 –Mapa Geológico de Rondônia.

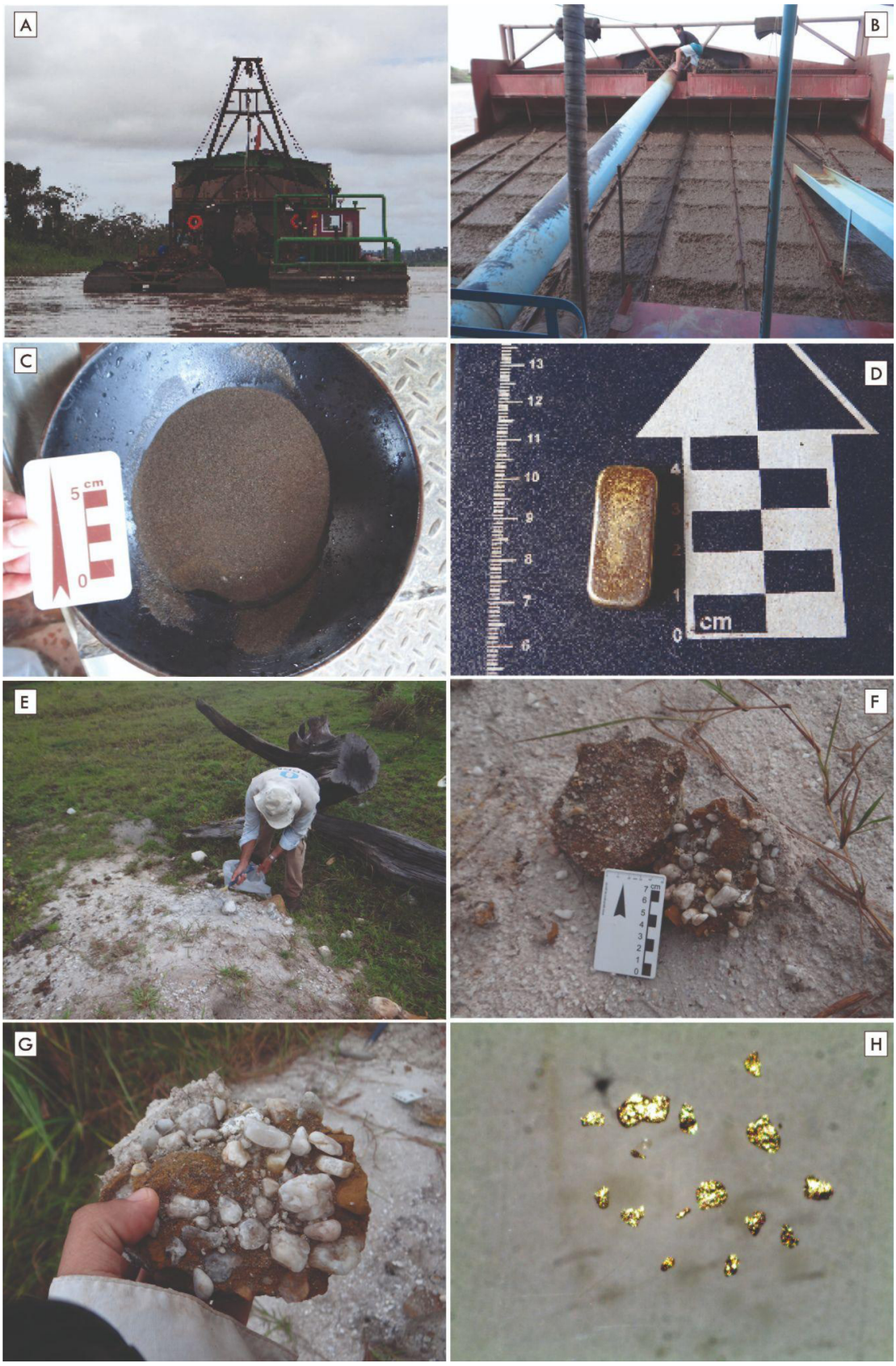


Figura 2 – Ocorrências e processo produtivo de ouro no rio Madeira.

O mapeamento geológico e a integração de dados geoquímicos, aerogeofísico e geocronológicos permitiram identificar áreas potenciais para diferentes tipos de recursos minerais no estado de Rondônia. Destacam-se depósitos metálicos, minerais industriais e insumos estratégicos para a agricultura:

Estanho (Sn): Rondônia é um dos principais produtores históricos de estanho no Brasil. As ocorrências estão associadas a granitos diferenciados, veios hidrotermais e zonas de cisalhamento relacionados a eventos tardi-tectônicos do Mesoproterozoico, principalmente nas províncias Rondoniano-San Ignácio e Sunsás.

Ouro (Au): As mineralizações ocorrem em ambientes orogenéticos e em veios hidrotermais, principalmente nas Faixas Nova Brasilândia e Alto Guaporé, além de depósitos secundários em paleoplacers em depósitos no Rio Madeira (Figura 2).

Diamantes: As ocorrências se concentram em aluviões recentes e, em menor escala, em corpos kimberlíticos pouco estudados. Existem áreas prospectivas na porção centro-sul do estado, com potencial para exploração primária e secundária.

Cobre (Cu) e Níquel (Ni): Associados a corpos máfico-ultramáficos identificados na região sudoeste do estado, esses metais apresentam potencial estratégico crescente, especialmente para aplicações na indústria de baterias e energias renováveis.

Calcário: Distribuídos nas coberturas sedimentares neoproterozoicas e fanerozoicas, esses insumos atendem à demanda do agronegócio regional, sendo essenciais para correção de solos e fertilização.

Minerais industriais: Quartzo, areia industrial, argilas e britas compõem um segmento importante para o setor da construção civil e indústrias locais.

O mapa atualizado não apenas refina o conhecimento geológico, mas define zonas potenciais prioritárias para a indústria mineral. As informações geradas orientam políticas públicas, atraem investimentos privados e fortalecem a base técnico-científica necessária para o desenvolvimento econômico sustentável do estado de Rondônia.

DISCUSSÕES

A análise integrada dos dados revela uma evolução tectônica complexa, vinculada a processos acrescionários e colisões continentais no Mesoproterozoico, seguidos por fases extensivas e magmatismo anorogênico no Neoproterozoico. As unidades litoestratigráficas delimitadas refletem esse histórico geodinâmico e contribuem para o refinamento da estratigrafia do sudoeste do Cráton Amazônico. O potencial mineral identificado reforça a relevância de Rondônia no contexto da mineração brasileira.

CONCLUSÕES

A atualização do mapa geológico de Rondônia resultou em um produto cartográfico mais preciso e detalhado, adequado às demandas do setor mineral, órgãos governamentais e pesquisadores. O levantamento consolidou o conhecimento estratigráfico e evidenciou o potencial mineral do estado. As informações geradas constituem uma base essencial para investimentos em exploração mineral e estudos acadêmicos futuros. Recomenda-se o avanço do conhecimento geocientífico, por meio da execução de mapeamento geológico em escalas de maior detalhe.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Serviço Geológico do Brasil, pelos recursos e apoio na execução do trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Lobato, A. C. *et al*. (1966). Mapa geológico do então Território Federal de Rondônia.

Scandolara, J. E. (1999). Mapa Geológico do Estado de Rondônia. CPRM.

Quadros, M. L. E.; Rizzotto, G. J. (2007). Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado de Rondônia.

PROCESSOS E IMPACTOS NA CONSTRUÇÃO COLABORATIVA DE PRODUTOS DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA PARA O *TRANS-AMAZON DRILLING PROJECT (TADP)*

Raquel Mamblona Marques Romão[1]; Maria da Glória Motta Garcia[1]; Carlos Eduardo Manjon Mazoca[1]; Isaac Salém Alves Azevedo Bezerra[1]; Francisco Ricardo Negri[2]; Carlos D'Apolito[2]; Janice Muriel-Cunha[3]; Ingo Wahnfried[4]; Maria Inês Feijó Ramos[3]; Edson Alves de Araujo[2]; Ivone Nazaré Monteiro de Moraes[3]; Railson Figueiredo dos Santos[3]; André Oliveira Sawakuchi[1]; Cleverson Guizan Silva[5]; Paul Baker[6]; Sherilyn Fritz[7]; Anders Noren[8].

[1]Universidade de São Paulo - USP; [2]Universidade Federal do Acre - UFAC; [3]Universidade Federal do Pará - UFPA; [4]Universidade Federal do Amazonas - UFAM; [5]Universidade Federal Fluminense - UFF; [6]Duke University; [7]University of Nebraska-Lincoln; [8] University Of Minnesota

r.m.m.romao@gmail.com; mgmgarcia@usp.br; carlos.mazoca@usp.br; isaacbezerra@usp.br; frnegriufac@gmail.com; carlosdapolito@gmail.com; janice@ufpa.br; iwahnfried@gmail.com; mramos@museu-goeldi.br; edson.araujo@ufac.br; ivone.moraes@iemci.ufpa.br; figueiredo.railson478@gmail.com; andreos@usp.br; cguizan@id.uff.br; pbaker@duke.edu; sfritz2@unl.edu; noren021@umn.edu

RESUMO

A divulgação científica desempenha papel fundamental na democratização do conhecimento e possibilita uma compreensão mais ampla e acessível dos avanços da ciência. Nas Geociências, uma forma de aproximação do conhecimento com a sociedade pode ser alcançada por meio da Geoconservação, ramo das Geociências que tem como objetivo identificar, conservar e promover locais com elementos geocientíficos representativos, por meio de ações sustentáveis. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo apresentar os processos e impactos de atividades e produtos de divulgação desenvolvidos com o objetivo de contribuir para um legado educacional e cultural, nas localidades onde ocorreram as sondagens geológicas para fins científicos do Trans-Amazon Drilling Project. Para tanto, foram utilizadas estratégias em Geoconservação, facilitadas por metodologias colaborativas e fundamentos da comunicação que permitiram a realização de ações voltadas à divulgação científica, como cursos, bate-papos, atividades práticas em Geociências, além de produtos como cartões postais, livretos infantis para colorir, folders, visitas guiadas e passeios virtuais.

PALAVRAS-CHAVE: Geoconservação; Divulgação em Geociências; Educação; Amazônia

INTRODUÇÃO

O distanciamento entre a ciência e a sociedade vem sendo uma questão de grande preocupação nas últimas décadas. Apesar de a ciência estar presente na vida do cidadão e influenciar nas escolhas e decisões mais simples do dia-a-dia, isso não é tão óbvio para grande parcela da sociedade. Desta forma, é fundamental estabelecer maneiras de aproximação, para que as pessoas compreendam conceitos e conhecimentos fundamentais da ciência e tenham acesso também às questões centrais que motivam projetos de pesquisas executados em suas localidades.

O papel social das atividades de divulgação científica é essencial na democratização da ciência. Embora necessária e importante, a tarefa de divulgar o conhecimento científico, principalmente de pesquisas em andamento, não pode ser considerada simples. Diversas etapas e obstáculos podem ser enfrentados neste processo. Inicialmente existe a preparação, que envolve o planejamento, idealização e a viabilidade da atividade proposta, contatos com agentes governamentais e atores sociais, espaço adequado, necessidades técnicas, autorizações, além de flexibilizar os meios para que a comunidade local participe. Em seguida, uma programação envolvendo diferentes atividades e tipos de públicos pode ser construída, onde existe a demanda para a preparação pedagógica das partes teóricas e/ou práticas que serão ministradas, sendo possível o apoio de especialistas como pesquisadores, professores e alunos, a depender do objetivo da atividade educativa. Somam-se a isso questões internas do meio acadêmico que levam cientistas a não conseguirem participar de atividades de divulgação, como a indisponibilidade de tempo e incentivo (tanto da própria instituição, como de colegas), dificuldades no uso de técnicas e linguagens apropriadas, além da carência de oportunidades para a formação continuada de pesquisadores e profissionais atuarem na divulgação científica (Liverman, 2008; Massarani e Moreira 2021).

Nas Geociências, uma possibilidade para o alcance de resultados positivos para a divulgação do conhecimento geocientífico pode ser alcançada por meio da Geoconservação. A Geoconservação é o ramo das Geociências que tem como objetivo identificar, avaliar, conservar, valorizar e promover locais com elementos geocientíficos representativos por meio de ações sustentáveis (Sharples, 2002; Henriques *et al*., 2011) . No Brasil, vários resultados vêm sendo alcançados por instituições e órgãos públicos, bem como em geoparques (Mansur, 2022; Garcia *et al*., 2022). Vale ressaltar também o crescimento de trabalhos com foco na criação de produtos de divulgação das Geociências, como passeios virtuais, recursos audiovisuais, roteiros geoturísticos, cursos, exposições, jogos, kits e materiais impressos diversos (Mansur, 2009; Mansur e Nascimento, 2007; Bourotte, *et al*., 2014; Garcia *et al*., 2014; Mazoca et. al., 2017; Mazoca *et al*., 2018; Mazoca et., 2021). Esse panorama vem demonstrando iniciativas bem sucedidas, além do crescente esforço em utilizar estratégias e ferramentas inovadoras para a aproximação do conhecimento geocientífico à sociedade.

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo descrever os processos e apresentar os resultados de atividades de divulgação científica, realizadas com o intuito de aproximar a sociedade às Geociências, nos locais onde foram realizadas as sondagens geológicas do *Trans-Amazon Drilling Project (TADP): origin and evolution of the fo-*

rests, climate and hydrology of the South American tropics. O TADP é o mais amplo programa de pesquisa científica em Geociências já organizado que tem por objetivo estudar a origem e a evolução da floresta Amazônica, do Rio Amazonas e do clima da América do Sul.

As atividades foram realizadas em municípios do Alto Juruá (Rodrigues Alves e Cruzeiro do Sul, AC), na Bacia do Acre e em Bagre (PA), na Bacia do Marajó, locais onde ocorreram as perfurações para coleta de testemunhos de sedimentos a serem estudados pelo TADP.

MATERIAIS E MÉTODOS

A construção dos produtos de divulgação científica contemplou três etapas, que são descritas a seguir:

i) Aplicação de estratégias em Geoconservação: Inventário de sítios geológicos a partir do potencial uso turístico e educativo (Brilha, 2018);

ii) *Design Thinking*: Uso de estratégia centrada em pessoas, que de forma humanizada, criativa e prática busca por soluções inovadoras para problemas globais. A metodologia é estruturada em cinco estágios, representadas por: Descoberta, Síntese, Idealização, Experimentação e Teste (Instituto Educa Digital 2014; Gonsales 2024);

iii) Uso de técnicas da divulgação científica e da comunicação visual: Compreensão dos padrões organizacionais de elementos em uma composição aplicada à divulgação (Ambrosie e Harris 2012; Williams, 2013).

RESULTADOS

Atividades educativas realizadas no ensino informal podem ser compreendidas como uma alternativa complementar ao processo de aprendizagem. Entre elas, algumas possuem um modelo consagrado pela divulgação científica (cursos, palestras, oficinas, exposições), outras surgiram nos últimos anos como alternativas inovadoras (passeios virtuais, realidade aumentada, modelos 3D).

Como forma de contribuir para um legado educacional e cultural às localidades no Acre e no Pará, diferentes ações de divulgação foram realizadas ou estão em andamento (Figura 1).

Atividades educativas

No total, doze atividades educativas foram conduzidas incluindo workshops, cursos, oficinas, bate-papos e visitas guiadas (Tabela 1). O público alcançado incluiu crianças, jovens e adultos, como alunos de escolas, professores da rede pública, gestores governamentais e sociedade civil. Estima-se que o conjunto dessas ações permitiu entrar em contato direto com 716 pessoas.

Figura 1 – a) Atividades práticas de observação de rochas e minerais com alunos de Bagre (PA); b) Observação de areias dos rios da Amazônia na lupa; c) Palestra de apresentação do TADP em escola de Rodrigues Alves (AC); d) Curso de formação em Ciências da Terra para professores; e) Uso e incentivo de recursos didáticos em Geociências para educadores; f) Saída de campo à Universidade Federal do Acre, visita ao laboratórios de paleontologia do campus Cruzeiro do Sul.

Tabela 1 - Exemplos de atividades de divulgação científica conduzidas no Acre e no Pará.

Atividade	Objetivo	Impacto
Workshops	Apresentação do projeto e atividades práticas	170
Cursos e Palestras	Formação de professores em Ciências da Terra	113
Oficinas e Bate-papos	Atividades práticas (observação de rochas, minerais, fósseis)	407
Visitas guiadas	Vivência na UFAC e na praça de sondagem em Bagre	26

Produtos de divulgação científica

Os produtos de divulgação científica estão em processo de elaboração e revisão, incluindo materiais digitais e impressos (Figura 2). Entre os produtos elaborados houve a criação de folders, cartões postais que tratam da geodiversidade do Alto Juruá, passeios virtuais e cartilhas educativas que tratam de temas da geodiversidade local do Acre, e um livreto infantil para colorir.

Figura 2- Exemplos de produtos de divulgação científica personalizados para o TADP. a) Cartilha educativa complementar ao conteúdo do passeio virtual. b) Folder explicativo dos objetivos de pesquisa do TADP. c) Livreto infantil para colorir que aborda temas de pesquisa do projeto.

DISCUSSÕES

Atividades de divulgação científica são ferramentas essenciais na apropriação da ciência pela sociedade. A participação dos integrantes do TADP no processo de comunicação da ciência com o público se faz importante e necessária, visto que esse tipo de ação pode diminuir os conflitos que se tem neste campo, considerando o distanciamento atual e a obscuridade com que parcela da sociedade enxerga a ciência e o cientista.

Determinados impactos e observações podem ser destacados neste processo: i) As atividades impactaram diretamente 716 pessoas. Dentre estes uma parcela razoável do público-alvo eram professores e gestores, que atuam como multiplicadores do conhecimento absorvido. No caso dos professores, o TADP realizou ainda a doação de diferentes recursos didáticos, como livros, mapas impressos, kits de minerais, rochas e réplicas de fósseis. Estes recursos irão enriquecer suas práticas pedagógicas e a divulgação do conhecimento geocientífico em sala de aula; ii) Além dos números, houve a coleta de depoimentos que demonstraram a importância e benefícios que tais atividades proporcionam no âmbito cultural e educacional; iii) Ao aumentar o conhecimento do público sobre o projeto foi possível combater a desinformação, principalmente quanto a rumores falsos sobre os reais objetivos do TADP; iv) Algumas contribuições positivas foram também verificadas à Geoconservação, como a promoção da rica geodiversidade da Amazônia, suas paisagens e feições geológicas, além da sensibilização do público para a importância deste patrimônio à sociedade, e a necessidade do uso sustentável dos elementos abióticos da natureza; e v) A importância da inserção da Geoconservação em projetos internacionais de grande porte.

CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou os processos adotados para a realização de diferentes atividades de divulgação científica vinculadas ao TADP e seus resultados preliminares. As ações demonstram a relevância em incentivar a reflexão sobre questões éticas, culturais e sociais relacionadas à ciência. Além da importância de ampliar as estratégias voltadas à difusão de conhecimentos científicos, principalmente no caso de projetos financiados por agências de fomento, visando fortalecer a implementação de medidas para assegurar a divulgação pública dos objetivos da pesquisa e a importância das Geociências para uma sociedade mais sustentável.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à CAPES, pela bolsa de doutorado concedida à primeira autora, e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP 2018/23899-2), ao International Continental Scientific Drilling Program (ICDP), à US National Science Foundation (NSF) e ao Smithsonian Tropical Research Institute (STRI) pelo financiamento do Trans-Amazon Drilling Project (TADP).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ambrose, G., Harris, P. (2012). Fundamentos de Design Criativo (segunda edição), *Bookman Editora*, 191p.

Bourotte, C., Toledo, M.C.M., Duleba, W., Aramqui, G.T., Campos, L.G.D., Viana,

P.J. (2014). Kit didático 'da rocha ao grão de areia'. *Terrae Didatica*, 10, 298-304.

Brilha, J. (2018). Geoheritage: inventories and evaluation. In: Reynard, E.; Brilha, J.

Geoheritage: assessment, protection, and management, 4, 69-86.

Garcia, M.G.M., Bourotte, C.L.M., Del Lama, E. A., Martins, L.; Raposo, M.I.B. (2014). O patrimônio geológico do litoral norte do estado de São Paulo: proposta de geoconservação. Biblioteca Virtual da Fapesp.

Gonsales, P. (2024). Design Thinking para Educadores. *Instituto Educadigital*, Zenodo, 76p.

Henriques, M.H., Brilha, J. (2017). UNESCO Global Geoparks: A strategy towards global understanding and sustainability. *Episodes Journal of International Geoscience*, 40(4), 349-355.

Liverman, D. G. (2008). Environmental geoscience; communication challenges. *Communicating Environmental Geoscience, 305.*

Mansur, K.L. (2022). Reflexões e breve histórico sobre estudos e ações sobre Geodiversidade e Conservação da Memória da Terra no Brasil. *Museologia e Patrimônio*, 15(1), 13- 54.

Mansur, K., Nascimento, V. (2007). Disseminação do conhecimento geológico: Metodologia aplicada ao Projeto Caminhos geológicos. *Simpósio de Pesquisa em ensino e história de Ciências da Terra*.

Massarani, L.; Moreira, I.C. (2012). A divulgação científica no Brasil e suas origens históricas. *Revista Tempo Brasileiro*, 188, 5-26.

Mazoca, C.E.M., Garcia, M.G.M., Del Lama, E.A. (2017). Produção de recursos digitais para divulgação de geociências: experiências do GeoHereditas, IGc/USP. *IV Simpósio Brasileiro de Patrimônio Geológico*, 4, 50-54.

Mazoca, C.E.M., Mucivuna, V.C., Garcia, M.G.M., Henriques, R., Del Lama, E.A., Bourotte, C. (2018), Panoramic 360 images and 3D models as tools to promote cultural and geological heritage: the example of Bertioga, central coast of São Paulo

State, Brazil. *ProGEO Symposium*, 128-129.

Mazoca, C.E.M., Garcia, M.G.M., Henriques, R. (2021). Research and outreach potential of digital products in geoconservation: examples from the state of São Paulo, Brazil. *IX International Online ProGEO Symposium*. 1, 117-118.

Sharples, C. (2002). Concepts and Principles of Geoconservation. *Tasmanian Parks & Wildlife Service*.

U*NDP*. (2017). Design Thinking: A Guide for Prototyping and Testing Solutions for Sustainable Development Goals. *United Nations Development Programme. 48p.*

Williams, R. (2013). Design para quem não é *designer: princípios de design e tipografia para iniciantes. Callis, 216p.*

AMPLIAÇÃO E MODERNIZAÇÃO DA COLEÇÃO DIDÁTICA DE ROCHAS METAMÓRFICAS DA FACULDADE DE GEOLOGIA/UFPA: APLICAÇÕES NO ENSINO DE GEOCIÊNCIAS

João Victor Paz Leal[1]; Paulo Sérgio de Sousa Gorayeb[1]; João Marinho Milhomem Neto[1]

[1]**Faculdade de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará**

victorpaz19991@gmail.com; gorayebp@ufpa.br; milhomem@ufpa.br

RESUMO

O trabalho aborda a estruturação de uma nova Coleção Didática de Rochas Metamórficas da Faculdade de Geologia da UFPA, cujo projeto tem como objetivo final a melhoria do ensino da Petrologia Metamórfica do Curso de Graduação em Geologia. A iniciativa busca tornar o aprendizado mais interativo e atualizado, com a incorporação de um novo conjunto de amostras didáticas com diversificados tipos petrográficos, facilitando a compreensão dos estudantes sobre as características e aplicações no estudo de rochas metamórficas. Assim, a modernização e expansão da coleção contribui para um ensino mais eficiente e atraente, promovendo maior interesse e entendimento da Petrologia Metamórfica. Além disso, a coleção expandida, digitalizada e diversificada pode ser usada para além da academia, em atividades de divulgação científica, exposições e eventos educativos, ajudando a despertar o interesse do público pelas Geociências.

PALAVRAS-CHAVE: Rochas Metamórficas; Coleção Didática; Faculdade de Geologia; UFPA.

INTRODUÇÃO

A Petrologia Metamórfica constitui um campo essencial da Geologia, voltado à compreensão dos processos de transformação das rochas sob condições específicas de pressão e temperatura geralmente associadas a eventos tectônicos ocorridos ao longo da evolução geológica da Terra. Essas transformações provocam alterações mineralógicas, texturais e estruturais, cujas características fornecem informações valiosas sobre a história tectono-termal e química de determinados setores da crosta terrestre. A observação de terrenos metamórficos e a caracterização de suas rochas são, portanto, fundamentais para a compreensão da evolução crustal, dos ambientes e processos tectônicos, além de contribuírem para o entendimento da gênese de diversos tipos de depósitos minerais.

No contexto acadêmico, o ensino da Petrologia Metamórfica exige uma abordagem didático-pedagógica diferenciada, em razão da complexidade dos processos envolvidos. É necessário aplicar técnicas específicas e procedimentos petrográficos sistemáticos que

possibilitem aos estudantes o contato direto com diversos tipos de rochas, promovendo o reconhecimento de suas principais características diagnósticas - passo essencial para a compreensão dos mecanismos de formação dessas rochas.

Nesse sentido, torna-se imprescindível a existência de uma coleção didática abrangente composta pelos principais tipos de rochas metamórficas e suas variações representando diferentes fácies e graus metamórficos bem como os principais ambientes tectono-metamórficos.

A Coleção Didática de Rochas Metamórficas da Faculdade de Geologia (FAGEO) vinculada ao Instituto de Geociências (IG) da Universidade Federal do Pará (UFPA) foi idealizada com esse propósito. Desde sua origem, nos anos 1970, com a contribuição de ex-professores como Elson Paiva de Oliveira (atualmente na UNICAMP) e Mauricio Rangel da Silva (UFPE), o acervo vem reunindo amostras provenientes de diversos contextos geológicos, tanto do Brasil quanto do exterior.

Apesar de ter passado por fases de crescimento, a coleção também enfrentou períodos de deterioração que comprometeram parte significativa de seu material.

Com o objetivo de revitalizar e ampliar esse acervo, foi iniciado o projeto acadêmico "Estruturação da Nova Coleção de Rochas Metamórficas da FAGEO", que visa à reestruturação sistemática da coleção, com a incorporação de novas amostras didáticas e a recuperação de exemplares históricos.

Apesar das tentativas anteriores voltadas à organização do acervo, somente nos últimos anos foi possível sistematizar efetivamente os trabalhos com uma abordagem moderna e abrangente.

Nesse sentido, em agosto de 2023, foi formalizado o projeto "Organização, expansão e modernização da nova coleção de rochas metamórficas da FAGEO-IG/UFPA" cujo objetivo é a reorganização física das amostras e lâminas petrográficas, sua categorização e a digitalização completa do acervo, incluindo imageamento.

Essa iniciativa resultou na criação de um banco de dados digital que passa também a ser acessível remotamente, promovendo inovação, acessibilidade e maior eficiência no processo de ensino. Além de sua função pedagógica no ensino de graduação, a nova coleção apresenta grande potencial para atividades de extensão e divulgação científica.

Sua organização sistemática, aliada à variedade de litotipos, qualidade visual das amostras e lâminas, torna o acervo ideal para exposições em feiras de ciências, eventos estudantis, mostras universitárias e outras ações voltadas também ao público externo.

Pretende-se elaborar painéis explicativos das rochas que podem contribuir significativamente para despertar o interesse de estudantes do ensino médio pelas Geociências. Ademais, a digitalização do acervo permite a criação de materiais multimídia e interativos, ampliando o alcance e o impacto educacional da coleção.

O projeto de ensino foi aprovado em todas as instâncias competentes da UFPA como no Conselho da FAGEO, na Congregação do IG, bem como no Edital PROEG 28/2023 - Subprograma LABINFRA-2024, que aportou recursos financeiros de custeio e capital, além da aprovação de duas bolsas para estudantes de graduação. Para apro-

vação desses órgãos, obrigatoriamente, o projeto teve que se alinhar ao novo Projeto Pedagógico do Curso de Geologia (Res. CONSEPE/UFPA 5.808/2024). A ação converge com as Diretrizes Curriculares Nacionais dos cursos de Geologia (Res. CNE/CES 1/2015), reforçando a conformidade às novas diretrizes do MEC conduzindo à melhoria contínua do Curso de Graduação em Geologia da UFPA.

DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

As atividades desenvolvidas para estruturar a nova coleção iniciaram-se com a triagem das amostras do acervo antigo que avaliou o estado de conservação das amostras, sua representatividade mineralógico-textural, composicional e classificatória, bem como sua aplicabilidade didática. As amostras consideradas adequadas foram separadas, catalogadas e reetiquetadas seguindo um padrão alfanumérico crescente (ex: M-001, M-002, M-003, ...).

Paralelamente, foram incorporadas novas amostras ao acervo oriundas de coletas recentes de diferentes terrenos metamórficos do Brasil, e do exterior. Essa iniciativa teve como objetivo ampliar a representatividade da coleção contemplando uma maior variedade de ambientes metamórficos, composições químicas e mineralógicas, estruturas, texturas e condições de metamorfismo.

Para cada novo exemplar foram catalogadas em torno de 10 amostras de mão e confeccionadas 15 lâminas delgadas correspondentes, todas devidamente etiquetadas com códigos alfanuméricos (ex: M-001, M-002, M-003, de A a O).

Na etapa seguinte, as descrições petrográficas de amostras e lâminas delgadas foram realizadas de forma sistemática, com base em referências bibliográficas consolidadas da Petrologia Metamórfica (Spear 1993, Passchier & Trouw 1996, Vernon 2004, Fettes & Desmons, 2007, Trouw *et al*. 2010, Bucher & Grapes 2011, Winter 2014, Yardley & Warren 2021), e na experiência dos professores no ensino e pesquisa da petrologia. As descrições incluem informações detalhadas sobre mineralogia, texturas, estruturas e microestruturas.

A classificação das amostras segue recomendações da *International Union of Geological Sciences (IUGS)* conforme estabelecido por Fettes e Desmons (2007), garantindo a padronização da nomenclatura de acordo com os critérios internacionalmente reconhecidos para rochas metamórficas. Todas essas informações são organizadas em fichas petrográficas digitais, acompanhadas por imagens das amostras de mão e fotomicrográficas das lâminas delgadas.

O armazenamento e organização dos dados são feitos em planilhas digitais no *Microsoft Excel*, com estrutura de banco de dados. O acervo está disponível no Laboratório de Petrografia, em ambiente anexo ao laboratório, separado da área dos microscópios, organizadas em armários apropriados e em gaveteiros específicos para lâminas (laminoteca) (Figs. 1.B, 1.C), permitindo seu uso por professores, pesquisadores e estudantes em aulas, estudos individuais ou em grupo.

RESULTADOS

Desde o início da implementação do projeto, avanços significativos foram obtidos na organização e ampliação da Coleção. Até o momento, o acervo conta com 85 espécimes catalogados (M-001 a M-085), cada um acompanhado por aproximadamente 15 lâminas petrográficas etiquetadas de A a O.

A coleção contempla sete grupos composicionais distintos, incluindo rochas derivadas de protólitos ígneos (plutônicos, vulcânicos, subvulcânicos) de natureza ultramáfica, máfica e félsica, além de rochas metamórficas originadas de protólitos sedimentares, como pelitos, psamitos e carbonatos (tanto puros como as calciossilicáticas). Do ponto de vista metamórfico, estão representadas as principais fácies do metamorfismo regional (orogênico), com predominância de amostras das fácies Xisto Verde e Anfibolito, além de exemplares mais raros das fácies Granulito, Eclogito, Xisto Azul e de algumas fácies relacionadas ao metamorfismo de contato.

Essa diversidade assegura uma ampla base para a realização de exercícios classificatórios de rochas, e interpretativos voltados à análise das condições de pressão e temperatura associadas a cada tipo de rocha e ambiente metamórfico e suas correlações com os processos tectônicos responsáveis por sua formação.

No aspecto textural e estrutural, a coleção oferece uma gama variada de feições incluindo diferentes tipos de foliação (bandamento gnáissico, xistosidade, clivagem ardosiana, clivagem de crenulação, milonítica), além de dobras e microdobras, padrões texturais clássicos, texturas reliquiares, recristalizações e outras microestruturas típicas de rochas submetidas a processos tectonometamórficos. Essa variedade enriquece as possibilidades de análise, tanto no ensino quanto na pesquisa, permitindo que os estudantes desenvolvam habilidades práticas fundamentais para a Petrologia Metamórfica.

A sistematização das informações obtidas está sendo realizada por meio de fichas petrográficas digitais, que reúnem dados técnicos acompanhados de imagens de amostras de mão e fotomicrografias das lâminas delgadas (Figs. 1.D e 1.C). Parte significativamente dessas informações já se encontra disponível para consulta organizada. Esse esforço contribui para que o acervo funcione não apenas como um recurso presencial, mas também como uma ferramenta digital de acesso remoto, viabilizando seu uso em atividades complementares, disciplinas à distância e estudos autônomos.

A consolidação da Nova Coleção de Rochas Metamórficas da FAGEO, com sua atual proposta de organização e estruturação representa um importante avanço no ensino da Petrologia Metamórfica na UFPA. Esta iniciativa fortalece a integração entre teoria e prática, dinamiza as aulas e facilita a elaboração de atividades pedagógicas diversificadas por parte dos docentes, além de apoiar as ações de extensão e divulgação das Geociências à sociedade.

A proposta também se mostra promissora como modelo para outras instituições de ensino geológico no Brasil, incentivando a estruturação de acervos didáticos. Está prevista, inclusive, a possibilidade de interatividade e intercâmbio de amostras entre diferentes cursos e universidades, contribuindo para a expansão e enriquecimento mútuo dos acervos didáticos de rochas metamórficas em âmbito nacional.

CONCLUSÕES

A reestruturação da Coleção de Rochas Metamórficas da FAGEO configura-se como uma ação estratégica para o fortalecimento da formação geológica na UFPA. Ao integrar práticas petrográfica consolidadas com recursos tecnológicos e digitais, o projeto propõe uma abordagem inovadora e atualizada para o ensino da Petrologia Metamórfica, em consonância com as demandas contemporâneas da educação em Geociências.

A iniciativa não apenas qualifica o ensino prático de graduação, mas também amplia as possibilidades de extensão, pesquisa e divulgação científica promovendo a integração entre universidade e sociedade. Além disso, estabelece um modelo institucional replicável, que poderá servir de referência para a organização, modernização e digitalização de acervos didáticos em outras áreas da Geologia e em cursos similares de outras instituições.

No médio e longo prazo, espera-se que a coleção reestruturada contribua significativamente para a ampliação do acesso ao conhecimento geológico, o estímulo ao interesse científico dos estudantes e a elevação da qualidade da formação em Geociências oferecida pela UFPA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bucher K., Grapes R. 2011. Petrogenesis of metamorphic rocks. Springer-Verlag, Berlin. 428p.

Fettes D., Desmons J. 2007. Metamorphic rocks: a classification and glossary of terms. Cambridge University Press.

Passchier C.W., Trouw R.A.J. 1996. Microtectonics. Springer-Verlag, Berlin.

Spear F.S. 1993. Metamorphic phase equilibria and pressure-temperature-time paths. Mineralogical Society of America, Washington.

Trouw R.A.J., Passchier C.W., Wiersma D.J. 2010. Atlas of mylonites and related microstructures. Springer. London. 322p.

Vernon R.H. 2004. A practical guide to rock microstructure. Cambridge University Press, Cambridge, 594p.

Winter J.D. 2014. Principles of igneous and metamorphic petrology. Harlow. 737p.

Yardley B.W.D., Warren C. 2021. An introduction to metamorphic petrology. Cambridge University Press, 344p.

Figura 1 – Aspectos gerais da Coleção Didática de Rochas Metamórficas da Faculdade de Geologia-IG/UFPA: A) Laboratório de Petrografia da Faculdade de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará; B) Armário contendo uma parte das amostras de mão organizadas sequencialmente e etiquetadas em ordem crescente segundo padrão alfanumérico (M-001, M-002, M-003, ...); C) Gaveta do Armário Laminoteca onde estão armazenadas as lâminas petrográficas organizadas seguindo uma ordem crescente em grupos de 15 lâminas de cada espécime, em sequência alfabética de A a O; D) Fotomicrografia, em nicóis cruzados, de um granulito máfico (amostra M-025), destacando cristais de orto e clinopiroxênio, plagioclásio coroados por simplectitos de granada-clinopiroxenio e quartzo (textura de reação); E) Fotomicrografia, em nicóis paralelos, de um granada-estaurolita micaxisto (amostra M-035), mostrando textura porfiroblástica em matriz lepidoblástica destacando porfiroblastos de estaurolita, granada e biotita.

INOVAÇÕES EM GEOTECNOLOGIAS PARA INTERPRETAÇÃO E VALORIZAÇÃO DE GEOSSÍTIOS NO GEOPARQUE CACHOEIRAS DO AMAZONAS

Luís Vinícius Araújo Silva[1]; Raimundo Humberto Cavalcante Lima[1]; Solange dos Santos Costa[1]

[1]Universidade Federal do Amazonas – UFAM

luissviniciussl407@gmail.com; humbertoclima@ufam.edu.br; solangecosta@ufam.edu.br

RESUMO

As tecnologias interpretativas geoespaciais estão transformando a forma como o conhecimento geocientífico é difundido, promovendo uma interação mais dinâmica entre sociedade, ciência e patrimônio natural. A aplicação dessas tecnologias, ainda incipiente na proposta de Geoparque Cachoeiras do Amazonas, em Presidente Figueiredo (AM), demonstra significativo potencial para a valorização e conservação de locais com interesse geocientífico, educativo e turístico. Este estudo analisa o potencial das geotecnologias como ferramentas educativas e de interpretação turística, visando democratizar o conhecimento geocientífico no desenvolvimento de recursos interativos e didáticos para os Locais de Interesse Geológico (LIGs). A pesquisa aborda métodos como aerofotogrametria, modelagem tridimensional e criação de mapas digitais para documentar e divulgar dois pontos de destaque: a Cachoeira Natal e o Circuito do Ipy, selecionados com base em critérios de acessibilidade, diversidade geológica e potencial educativo/turístico. Os resultados preliminares incluem registros visuais detalhados e o desenvolvimento de roteiros virtuais que enriquecem a experiência de visitantes, alunos e pesquisadores. Apesar de desafios técnicos enfrentados no processamento de imagens e geração de modelos tridimensionais, os resultados parciais evidenciam a eficácia das tecnologias interpretativas geoespaciais como ferramentas de geoeducação. Destaca-se seu impacto na popularização das geociências por meio de recursos didáticos inovadores, no fortalecimento do geoturismo através de experiências imersivas, e na valorização do patrimônio natural do projeto Geoparque Cachoeiras do Amazonas, estabelecendo, assim, uma ponte entre conhecimento científico, prática educativa e conexão sociedade-natureza.

PALAVRAS-CHAVE: Geoturismo; Tecnologias Geoespaciais; Geoparque Cachoeiras do Amazonas; Patrimônio Geológico.

INTRODUÇÃO

Os estudos em geodiversidade são importantes em diversas áreas, incluindo ordenamento territorial, gestão de recursos hídricos, mitigação de desastres naturais, educação e geoturismo. O geoturismo é conceituado por Hose (1995) como um tipo de turismo que utiliza feições geológicas diversas como atrativos. Brilha (2016) e Gray (2013) indicam que o geoturismo pode ser uma estratégia para o desenvolvimento econômico regional, estimulando a compreensão ambiental por meio da interpretação e promovendo a integração entre geodiversidade, biodiversidade, história e cultura local. A popularização das geociências tem se fortalecido na conexão entre sociedade, ciência e meio ambiente, especialmente com a crescente importância da sustentabilidade e conservação global.

O patrimônio geológico, com sua relevância científica, cultural e educacional, enfrenta desafios na preservação e divulgação de seu valor, como observado por Souza e Ribeiro (2024) quando atualizou o número dos geossítios do Geoparque Cachoeiras do Amazonas (GCA). As tecnologias interpretativas geoespaciais surgem como ferramentas transformadoras, democratizando o conhecimento geocientífico através de recursos visuais, interativos e acessíveis. Geoparques mundiais utilizam fotogrametria, modelagem 3D e visualizações 360º para produtos educativos e promoção do geoturismo.

No Brasil, as propostas de geoparques visam identificar, inventariar, diagnosticar e divulgar amplamente áreas com potencial para geoparque. Elaborado por Luzardo (2012), a proposta de Geoparque Cachoeiras do Amazonas (GCA) aponta rica diversidade geológica e beleza cênica em uma área que abrange 6.774 km², em Presidente Figueiredo (AM). Com isso, exigem-se estratégias inovadoras de interpretação e divulgação para a divulgação e conservação dos geossítios identificados, como indicado por Boggiani (2018).

O uso de tecnologias como drones e fotogrametria representa uma evolução significativa na forma como as geociências são conduzidas. Essas ferramentas permitem a obtenção de modelos digitais 3D de objetos e superfícies com base em imagens 2D e dados de sensores de movimento, contribuindo para uma análise geológica de alta precisão e para a exibição de informações on-line desses sítios de Geodiversidade, como demonstrado no trabalho de Costa, Nascimento e Silva (2019).

METODOLOGIA

Esta pesquisa adotou uma abordagem teórico-prática para avaliar o uso de tecnologias geoespaciais na divulgação do patrimônio geológico do futuro Geoparque Cachoeiras do Amazonas. A inovação foca a criação de conteúdos interativos e educativos para LIGs por meio de métodos como aerofotogrametria, modelagem tridimensional e mapas digitais.

Figura 1 – Modelos Tridimensionais; a) Cachoeira Natal; b) Salto do Ipy; e c) Ponta da Agulha

Dois geossítios inventariados por Souza e Ribeiro (2024) foram selecionados com base em acessibilidade, diversidade geológica e potencial educativo para o desenvolvimento do trabalho: Cachoeira Natal e Circuito do Ipy. Os arenitos que formam a Cachoeira Natal possuem icnofósseis e estruturas sedimentares que indicam um ambiente marinho raso no Siluriano, como apontado por Nogueira & Soares (1999) e Seilacher (2000). O Circuito do Ipy tem diversidade geológica e beleza cênica que atrai turistas e pesquisadores e dois locais serão trabalhados: Salto do Ipy e Ponta da Agulha.

As imagens obtidas em campo através do sobrevoo com o drone *DJI Mavic 2 Pro* foram processadas utilizando o software Agisoft Metashape®. Esse processo abordou várias etapas, incluindo a métodos como alinhamento, geração de nuvem esparsa e densa de pontos, e a subsequente criação de produtos finais, como o Modelo Digital de Terreno (MDT), modelos 3D e ortomosaico georreferenciado de alta resolução, conforme descrito em Venâncio *et al*. (2023). A plataforma Sketchfab®, foi utilizada para facilitar a visualização de fotos panorâmicas em 360° e modelos 3D, proporcionando uma experiência aos usuários.

RESULTADOS

Através da aplicação de técnicas de aerofotogrametria das imagens obtidas em atividade de campo, realizada em outubro de 2024, por meio do sobrevoo com drone, foi possível gerar modelos tridimensionais de alta resolução da Cachoeira Natal e do Circuito do Ipy. Esses modelos permitiram uma visualização detalhada das feições geológicas e geomorfológicas por meio da técnica *structure from motion*, como abordado por Carrivick *et al*. (2016) e Cayla *et al*. (2104) (figura 1), revelando aspectos que seriam de difícil percepção em levantamentos tradicionais. A precisão dos dados coletados superou as expectativas iniciais, fornecendo uma base robusta para a criação de materiais educativos interativos.

Foram desenvolvidos protótipos de mapas, modelos 3D digitais interativos (disponíveis em: https://skfb.ly/pxZZt e https://skfb.ly/pyuYw) e conteúdos multimídia para os LIGs selecionados. Esses materiais incluem:

Tours Virtuais: Simulações de passeios virtuais pelos locais, permitindo que os usuários explorem as áreas de forma imersiva, com informações contextuais sobre a geologia e a biodiversidade local.

Infográficos Animados: Representações visuais dinâmicas que explicam processos geológicos complexos de maneira simplificada e acessível, utilizando os dados da modelagem 3D.

Visualização em Realidade Virtual (VR): Ferramentas que sobrepõem informações digitais ao ambiente real, enriquecendo a experiência do visitante ao fornecer dados em tempo real sobre as formações rochosas e a história geológica dos locais.

DISCUSSÕES

Os resultados apresentados demonstram o potencial das tecnologias interpretativas geoespaciais na valorização e promoção do patrimônio geológico, educativo e geoturístico. A capacidade de gerar modelos 3D de alta resolução, como os da Cachoeira Natal e do Circuito do Ipy, transcende as limitações dos métodos tradicionais de documentação. Esses modelos não apenas oferecem uma compreensão mais aprofundada das feições geológicas, mas também servem como base para a criação de experiências interativas e imersivas, essenciais para a educação e o engajamento do público. A criação de mapas digitais interativos, tours virtuais e aplicativos de Realidade Virtual representa um avanço significativo na forma como o conhecimento geocientífico pode ser difundido. A interatividade desses recursos permite que os usuários explorem os locais de interesse geológico (LIGs) de maneira autônoma e personalizada, adaptando a experiência às suas necessidades e interesses. Isso é particularmente relevante para turistas e estudantes, pois a experiência do visitante é enriquecida por informações contextuais e visuais que aprofundam sua conexão com o ambiente natural. O alto potencial de divulgação e fomento do geoturismo sustentável, sublinha a importância de investir em tecnologias que facilitem a compreensão e a apreciação do patrimônio natural. Ao tornar o conhecimento geocientífico mais acessível e atraente, é possível sensibilizar um público mais amplo para a importância da conservação e do uso responsável dos recursos naturais.

CONCLUSÕES

As tecnologias interpretativas geoespaciais demonstraram ser ferramentas eficazes na popularização das geociências e na promoção da geoeducação e do geoturismo no Geoparque Cachoeiras do Amazonas.

A utilização de aerofotogrametria, modelagem tridimensional e mapas digitais possibilitou a criação de conteúdos interativos e roteiros virtuais que enriquecem significativamente a experiência de visitantes, estudantes, professores e pesquisadores. Apesar dos desafios técnicos relacionados ao hardware e software, a pesquisa avançou na documentação detalhada da Cachoeira Natal e do Circuito do Ipy, revelando seu valor científico e cênico, pouco valorizado. A capacidade de gerar modelos 3D de alta resolução e a integração de ferramentas digitais ampliam a visibilidade dos locais estudados e promovem uma conexão mais profunda entre a sociedade e a geodiversidade local. Esta abordagem inovadora serve como um modelo replicável para outros LIGs não trabalhados no GCA de forma sustentável e educativa.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos sinceros para todos que contribuíram com o desenvolvimento desse projeto, em especial para a FAPEAM pela concessão de bolsa de estudo para o primeiro autor e ao Departamento de Geociências da UFAM facilitação no aprendizado e conhecimento, aos orientadores envolvidos no PIBIC, Prof. Humberto Lima e Solange Costa e também aos geólogos Márcia Carvalho e Diego Venâncio no ensinamento das técnicas utilizadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Boggiani, P. C. (2018). A importância dos condutores de visitantes na divulgação das Geociências em unidades de conservação. *Terræ Didatica*, 14(4), 463-466.

Brilha, J. (2016). Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: a review. *Geoheritage*, 8(2), 119–134.

Carrivick, J. L., Smith, M. W., & Quincey, D. J. (2016). Structure from Motion in the Geosciences. *Wiley-Blackwell.*

Cayla, N. *et al*. (2014). New Digital Technologies Applied to the Management of Geoheritage. *Geoheritage*, 6(2), 89–90.

Costa, S. S. *et al*. (2019). Roteiro virtual pelos Geossítios do Geoparque Aspirante Seridó. *Terræ Didatica*, 18, e022004.

Gray, M. (2013). Geodiversity: Valuing and conserving abiotic nature *(2ª ed.). Wiley.*

Hose, T. A. (1995). Selling the story of Britain's stone. Environmental interpretation, *v. 10, n. 2, p. 16-17, 1995.*

Luzardo, R. (2012). Geoparque Cachoeiras do Amazonas (AM): proposta. *CPRM, 2012.*

Nogueira, A. R. & Soares, E. A. A. (1999). O icnogênero Arthrophycus da Formação Nhamundá. *Revista Brasileira de Geociências*.

Seilacher, A. (2000). Arthrophycid Ichnostratigraphy. In: Sola & Worsley. *Geological Exploration in Murzuq Basin*.

Souza, A. G. H. & Ribeiro, L. M. A. (2024). Geoparque Cachoeiras do Amazonas: atualização do inventário do patrimônio geológico. *CPRM.*

Venâncio *et al*. (2023) Utilização de Geotecnologia no mapeamento de geossítios: Estudo de caso, Arquipélago Anavilhanas (AM). *In: XXXII Congresso de Iniciação Científica, 2023, Manaus. Anais CONIC. Manaus: Even 3, 2023. v. 1. p. 1-1*

A CONTRIBUIÇÃO DO PET-GEOLOGIA NA FORMAÇÃO PROFISSIONAL POR MEIO DA PARTICIPAÇÃO EM EVENTOS CIENTÍFICOS

Lorrana, Corrêa de Araújo[1]; Solange, dos Santos Costa[1]; Ana Helena, Menezes Rodrigues[1]; Marcus Vinícius, Reis Andrade[1]; Isaque, da Silva Caetano[1]; Anne Caroline, Prado Souza[1]; William, Nunes Santos[1]; Ana Cláudia, Albuquerque da Silva[1]; Monique Àgatha, Barreto de Arruda[1]; Pedro Henrique, de Souza Volpini[1]; Melrian, Fernandes Vasconcelos[1]; Matheu, Silva Vieira[1]; Jhade, Coelho Figueiredo[1]; Henrique, Tunes Villani[1]; Pilar, Evanovich Grazziotin[1]

[1]Universidade Federal do Amazonas - UFAM

lorrana.araujo@ufam.edu.br; solangecosta@ufam.edu.br; helena.menezes@gmail.com; marcus.ufam@gmail.com; geoisaqueufam@gmail.com; annecarolinepsouza@gmail.com; william.ufam@gmail.com; ana8133silva@gmail.com; moniqueagatha57@gmail.com; volpini.ufam@gmail.com; melrianvasconcelos2@gmail.com; matheuvilaca@gmail.com; jhadeanca98@gmail.com; henriquetvillani@gmail.com; grazziotp@gmail.com

RESUMO

O grupo PET-Geologia da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) desenvolve ações que integram formação acadêmica e compromisso social. Em 2024, o grupo participou da XI Semana Nacional de Ciência e Tecnologia (SECT-ICE), promovendo oficinas, exposições e palestras no Museu de Geociências, com foco na educação ambiental e na popularização das geociências. Um dos destaques foi a apresentação premiada de um projeto PIBIC sobre geoconservação no município de Presidente Figueiredo. No mesmo ano, os petianos também atuaram no II Workshop (Com) Ciência Cidadã, onde realizaram rodas de conversa, oficinas educativas e distribuíram kits de rochas para comunidades locais. As ações valorizaram o diálogo entre saber acadêmico e conhecimento tradicional, promovendo consciência cidadã e fortalecimento da extensão universitária. Este trabalho apresenta essas experiências como exemplos de integração entre ensino, pesquisa e extensão, demonstrando o papel do PET na formação de estudantes comprometidos com a realidade amazônica.

PALAVRAS-CHAVE: Extensão Universitária; Formação Acadêmica; Popularização das Geociências; Ciência Cidadã.

INTRODUÇÃO

O Programa de Educação Tutorial (PET), financiado pela SESu/MEC, da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) desenvolve ações que aliam a formação acadêmica ao compromisso social. O PET-Geologia tem se destacado pela participação em programas institucionais como o PIBIC, PACE, InterPET, SECT e (Com) Ciência Cidadã, promovendo ações que estimulam a consciência cidadã e o protagonismo estudantil.

A atuação do PET-Geologia reforça o papel da universidade como agente ativo na redução das desigualdades e na promoção da cidadania, especialmente quando interage com comunidades da região amazônica por meio da difusão do conhecimento geocientífico. A reflexão sobre o papel da universidade na sociedade contemporânea evidencia a necessidade de que ela vá além da formação técnica, assumindo também uma função social transformadora. Segundo Santos (2010), a universidade do século XXI deve se comprometer com a emancipação social, articulando saberes científicos e populares em prol da justiça cognitiva e da transformação social.

Em 2024, o grupo PET-Geologia participou ativamente de diversos eventos acadêmicos e científicos, integrando saberes universitários e populares no II Workshop (Com) Ciência Cidadã, em Presidente Figueiredo; apresentando palestras e discutindo práticas inovadoras no InterPET da UFAM e no IX InterPET da UFT, em Palmas (TO); e contribuindo na organização e participação da XI Semana de Ciência e Tecnologia do ICE e XXIII Semana de Geologia da UFAM, com oferta de minicursos, palestras, exposições e ações como o museu de geociências e o stand de geologia. Além disso, o grupo esteve presente nas atividades como ouvinte e expositor, destacando-se com a apresentação premiada do PIBIC da petiana Jhade Coelho sobre geotecnologias aplicadas à geoconservação em Presidente Figueiredo.

MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento das atividades é conduzido a partir das diretrizes estabelecidas no Plano Anual do PET Geologia (Costa, 2024), por meio de reuniões mensais para definição de temas, planejamento e organização de eventos conforme o público-alvo e o tipo de ação proposta, como palestras, oficinas, recepção de calouros e semanas acadêmicas. A metodologia envolve a atuação individual e coletiva dos petianos, com divisão de tarefas e especialização por equipe para otimizar o tempo e os recursos disponíveis. A organização exige diversas habilidades. Entre elas: gestão, comunicação, captação de patrocínios, e elaboração de estratégias de divulgação. A realização dos eventos também é adaptada ao porte e alcance desejado, visando ampliar o impacto acadêmico e social das ações.

RESULTADOS

Em 2024, o Grupo PET Geologia envolveu cerca de 15 bolsistas e 10 voluntários em suas atividades. Desde 1991, mais de 200 estudantes já passaram pelo programa, atualmente inseridos no mercado de trabalho e na pós-graduação. O Grupo participou

ativamente de eventos acadêmicos e científicos que impactaram diretamente a formação dos petianos e a divulgação do conhecimento geológico. No período de 12 a 14 de junho de 2024, o grupo integrou o *II Workshop (Com) Ciência Cidadã: conexão entre o conhecimento científico e o tradicional*, coordenado pela Profa. Dra. Solange Costa, no qual os petianos compartilharam saberes acadêmicos com moradores de Presidente Figueiredo por meio de oficinas, palestras e exposições, promovendo um diálogo efetivo entre ciência e conhecimento tradicional (Figura 1 e 2). Em 04 de setembro de 2024, o grupo participou do *IX InterPET* da Universidade Federal do Tocantins (UFT), em Palmas (TO), apresentando a palestra "Práticas inovadoras de ensino, pesquisa e extensão no Programa PET", que destacou iniciativas inovadoras desenvolvidas pelo PET-Geologia. No mês seguinte, em 04 de outubro de 2024, o PET-Geologia também esteve presente no *InterPET 2024/1* da UFAM, cujo tema foi "Para além das fronteiras do conhecimento", favorecendo o intercâmbio de práticas entre grupos PET locais. Já entre os dias 16 e 18 de outubro de 2024, o grupo esteve diretamente envolvido na organização da *XI Semana de Ciência e Tecnologia do ICE* e da *XXIII Semana de Geologia* da UFAM, com realização de minicursos, palestras e exposições, como o museu de geociências e o stand de geologia (Figura 3). Além de auxiliar na organização, os petianos também participaram como ouvintes e apresentadores, sendo destaque a apresentação da petiana Jhade Coelho com o projeto de PIBIC 2024 *Aplicação de Geotecnologias na Geoconservação: Município de Presidente Figueiredo (AM)*, premiada como a melhor apresentação oral do evento. Já Melrian Vasconcelos conquistou o 1º lugar entre os discentes do Departamento de Geociências. Essas experiências demonstram o engajamento do grupo na articulação entre ensino, pesquisa e extensão, além de reforçar seu papel social como agente de integração entre universidade e comunidade.

Figura 1 – Participação do Grupo PET Geologia na realização do II Workshop (Com) Ciência Cidadã. (A) Abertura do Evento, (B) Exposição de painéis, (C) Café com Atores e (D) Equipe organizacional do Evento.

Figura 2 – Oficinas educacionais realizadas durante o II Workshop (Com) Ciência cidadã. (A) Oficina de minerais e rochas, (B) Caixa de areia de realidade aumentada, (C) Oficina de pintura com tinta natural e (D) Realidade virtual da geodiversidade de Presidente Figueiredo.

Figura 3 – Participação do Grupo PET Geologia na XI Semana de Ciência e Tecnologia do ICE e XXIII Semana de Geologia.

DISCUSSÕES

As experiências relatadas ao longo de 2024 reforçam a relevância do PET Geologia como política pública voltada ao fortalecimento do ensino superior e à democratização do conhecimento. A participação em eventos acadêmicos e extensionistas permitiu o desenvolvimento de competências técnicas, comunicativas e sociais, fundamentais à formação integral dos discentes. A participação na XI Semana Nacional de Ciência e Tecnologia (SECT-ICE) proporcionou aos discentes vivências significativas em planejamento e mediação científica. Além disso, permitiu o desenvolvimento de habilidades de comunicação com diferentes públicos. A organização de minicursos, oficinas e exposições, bem como a atuação no Museu de Geociências, evidenciou a importância do protagonismo discente na difusão do conhecimento técnico em espaços acessíveis e interativos. Esse tipo de prática favorece o desenvolvimento de competências que extrapolam a sala de aula, como a oralidade científica, a empatia pedagógica e a percepção crítica sobre o papel social da ciência (Santos, 2010).

No II Workshop (Com) Ciência Cidadã, os petianos atuaram como agentes de integração entre universidade e comunidade, desenvolvendo materiais didáticos adaptados ao contexto amazônico e promovendo rodas de conversa em escolas e espaços comunitários. Essa prática extensionista está alinhada aos princípios da ciência cidadã, conforme proposto por Bonney *et al*. (2009), ao fomentar o diálogo horizontal entre pesquisadores e moradores locais, reconhecendo o saber tradicional como um elemento legítimo na construção do conhecimento. A valorização da memória territorial, da geodiversidade e da linguagem acessível contribuíram para ampliar a percepção pública da ciência e, ao mesmo tempo, fortaleceu o pertencimento social dos discentes em relação ao território onde atuam.

Do ponto de vista formativo, essas experiências também dialogam com os pilares da pedagogia freireana, ao possibilitar que o estudante seja protagonista de sua aprendizagem e atue de forma transformadora no meio em que está inserido. A participação ativa em eventos, como a SECT e o InterPET, possibilitou que os petianos vivenciassem a ciência como prática social, comprometida com as realidades regionais e sensível às desigualdades locais. Como aponta Waldherr *et al*., (2021), a popularização da geociência precisa considerar não apenas a difusão de conteúdo técnico, mas a construção coletiva de significados que envolvem identidade, cultura e território.

Portanto, o impacto do PET-Geologia transcende a formação acadêmica tradicional, promovendo uma formação integral que articula o conhecimento técnico com as demandas concretas da sociedade amazônica. As ações desenvolvidas pelo grupo reafirmam o papel da universidade pública como agente de transformação social e evidenciam o potencial da Geologia como ferramenta de diálogo, inclusão e pertencimento.

CONCLUSÕES

As experiências desenvolvidas pelo PET-Geologia da UFAM ao longo de 2024 evidenciam o potencial formativo e transformador de práticas acadêmicas que integram ensino, pesquisa e extensão. A atuação em programas institucionais, como a SECT-ICE

e o PIBIC, associada a iniciativas extensionistas como o (Com) Ciência Cidadã, contribuiu para consolidar uma formação crítica, interdisciplinar e socialmente comprometida dos discentes. Tais ações não apenas ampliaram o domínio técnico dos participantes, mas também promoveram o desenvolvimento de competências socioemocionais e comunicativas essenciais para o exercício de uma ciência cidadã. O diálogo entre conhecimentos acadêmicos e tradicionais, estabelecido com as comunidades de Presidente Figueiredo, reforça a relevância da geociência enquanto ferramenta de transformação social e valorização territorial. Conclui-se, portanto, que o PET-Geologia tem desempenhado um papel estratégico na aproximação entre universidade e sociedade, reafirmando seu compromisso com a produção de conhecimento acessível, ético e alinhado às realidades amazônicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bonney, R. *et al*. Public participation in scientific research: defining the field and assessing its potential for informal science education. Washington: Center for Advancement of Informal Science Education, 2009.

Costa, S. S. Plano anual: PET Geologia. Manaus, 2024. Relatório técnico.

Santos, B. de S. A universidade no século XXI: para uma reforma democrática e emancipatória da universidade. São Paulo: Cortez, 2010.

Waldherr, A. *et al*. Comunicação pública da ciência: práticas, desafios e possibilidades. Cadernos da Associação Brasileira de Pesquisadores/as em Comunicação (Compós), v. 1, n. 1, p. 1–18, 2021.

ST2: GEOLOGIA SEDIMENTAR, ESTRATIGRAFIA E PALEONTOLOGIA

CONSIDERAÇÕES PALINOLÓGICAS E PALEOAMBIENTAIS DA FORMAÇÃO SOLIMÕES NA REGIÃO DO MÉDIO RIO NEGRO, BARCELOS (AMAZONAS)

Silveira, Rosemery Rocha[1]; D'Apolito, Carlos[2]; Souza, Jefferson Jesus[1]; Soares, Emilio Alberto Amaral[1]; Tatumi, Sonia Hatsue[3]; Yee, Marcio[3]

[1]Universidade Federal do Amazonas - UFAM;
[2]Universidade Federal do Acre - UFAC;
[3]Universidade Federal do Estado de São Paulo - UNIFESP

rrsilveira@ufam.edu.br; carlosdapolito@gmail.com; easoares@ufam.edu.br; sonia.tatumi@unifesp.br; marcio.yee@unifesp.br

RESUMO

A Formação Solimões é uma unidade bem representada na Bacia do Solimões, e hoje se sabe que, pelo menos em parte, serve de embasamento para os depósitos Quaternários da Bacia do Médio Rio Negro. Estudos palinológicos nesta porção são raros, seja pela inacessibilidade promovidas pelas longas distâncias, seja pela extensa cobertura vegetal ou pela pedogênese que altera os depósitos aflorantes. Para este estudo foi desenvolvida leitura de lâminas palinológicas obtidas de 3 (três) afloramentos às margens do Rio Negro. A análise dessas lâminas possibilitou o reconhecimento de 22 esporos, 01 pólen de gimnospermas, 30 pólens de angiospermas, diversos esporos de fungo, 02 escolecodontes, etc. A associação palinológica é diversa, e alguns abundantes, com qualidade de preservação excepcional, inclusive arranjadas em políades e tétrades de esporomorfos, exclusivamente em contexto continental (em pântano e lago). A idade proposta para a Formação Solimões a partir de análise palinológica é de Mioceno superior-Plioceno.

PALAVRAS-CHAVE: Palinologia; Médio Rio Negro; Neogeno.

INTRODUÇÃO

A idade dos depósitos Neogenos e Pleistocenos da Amazônia brasileira é apontada a partir de informações paleontológicas, sobretudo aquelas voltadas aos microfósseis de parede orgânica (palinomorfos) desenvolvidos na porção ocidental (Hoorn, 1993; Leite *et al.,* 2017; Silva-Caminha *et al.,* 2010; Silveira, 2015; D'Ápolito *et al.,* 2018, 2024 Gomes *et al.,*2021; Jaramillo *et al.,* 2024).

As unidades estratigráficas acumuladas nesses intervalos temporais são as formações Solimões e Içá, relacionadas ao paleombiente flúvio-lacustre, com influência marinha para a primeira unidade, e exclusivamente flúvio-lacustre para a Formação Içá (Räsänen *et al*., 1995; Silveira, 2005; Nogueira *et al.,* 2013; Silveira & Souza, 2015; Soares *et al.,* 2017*;* D'Apolito *et al.,* 2018). Para este estudo foi reconhecida unicamente a Formação Solimões, de onde foram coletadas amostras para aquisição de dados palinológicos.

De acordo com informações palinoestratigráficas apresentadas por Arai *et al.* (2003), uma das incursões de ocorrência no Mioceno da Amazônia, teria alcançado sua porção central, até o limite leste da Bacia do Solimões. Estes autores afirmam que rochas dessa unidade apresentam palinomorfos que sugerem paleoambientes onde água-doce e marinha interatuavam (estuário). Para esses autores a associação palinológica sugeriu idade miocena, devido a presença de *Cyathidites annulatus* e *Multimarginites vanderhammeni.*

O presente estudo aborda exclusivamente o levantamento calcado em palinologia de 3 (três) afloramentos às margens do rio Negro (JF 04, 08 e 54), onde esses microfósseis de parede orgânica são preservados em pelitos laminados de depósitos, interpretados até o momento como pertencentes a Formação Solimões. Esses estudos são importantes pois integrados aos estudos estratigráficos regionais fornecem um maior entendimento sobre paleoambientes e determinação de idade relativa dos depósitos, onde os métodos de absolutos têm o limite de detecção baixos.

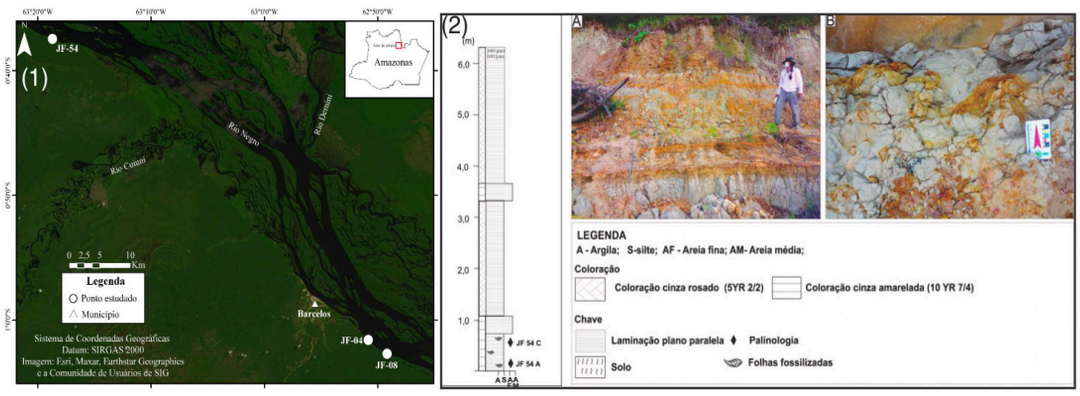


Fig. 1. (1) Mapa de localização dos afloramentos onde foram extraídas informações palinológicas; (2) Exemplo de uma das seção colunares (JF54), da Formação Solimões na região de Barcelos, Médio Rio Negro. A) Vista geral do afloramento; B) Detalhe dos níveis coletados para esta pesquisa.

MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras palinológicas provêm de campanha de campo nas margens do rio Negro, região de Barcelos. As amostras passaram por preparação prévia (secagem, pesagem) até serem destinadas ao laboratório para preparação de lâminas palinológicas, segundo o método pormenorizado por de Uesugui (1979), e que teve adaptação, de acordo com D'Apolito *et al.* (2018).

Foram adquiridas 18 lâminas palinológicas que foram lidas empregando o mesmo método adotados por Hoorn (1993), onde são analisados no mínimo 300 palinomorfos por lâmina. Para a análise taxonômica foram adotadas as referências clássicas e modernas sobre a palinologia da região Amazônica (Hoorn, 1993; Silva-Caminha *et al.,* 2010; Silveira & Souza, 2015, 2016; Leite *et al.,* 2017; Soares *et al.,* 2017; D'Apolito *et al.,* 2018, 2024; Gomes *et al.,*2021, Jaramillo *et al.,* 2024).

RESULTADOS

As amostras de pelitos laminados (que ocorrem inclinados por ação de atividade tectônica) tem como substrato a Formação Solimões, foram coletados a fim de verificar a relação espacial com a os depósitos sobrepostos da Formação Içá. As camadas pelíticas apresentam espessuras centimétricas à métricas, aspecto maciço, por vezes, com laminação plano-paralela incipiente. Localmente, as camadas pelíticas da Formação Solimões aparecem inclinadas, e, nesse contexto, foram reconhecidos folhas e lenhos carbonificados. Sobre elas se depositam camadas arenosas (predominantemente quartzosas), de espessura métrica e coloração avermelhada a amarelada (ferruginização), com concreções ferruginosas localizadas. Os arenitos variam de finos a grossos, com grânulos de quartzo diversos e, internamente, exibem acamamento maciço e laminação plano-paralela incipiente.

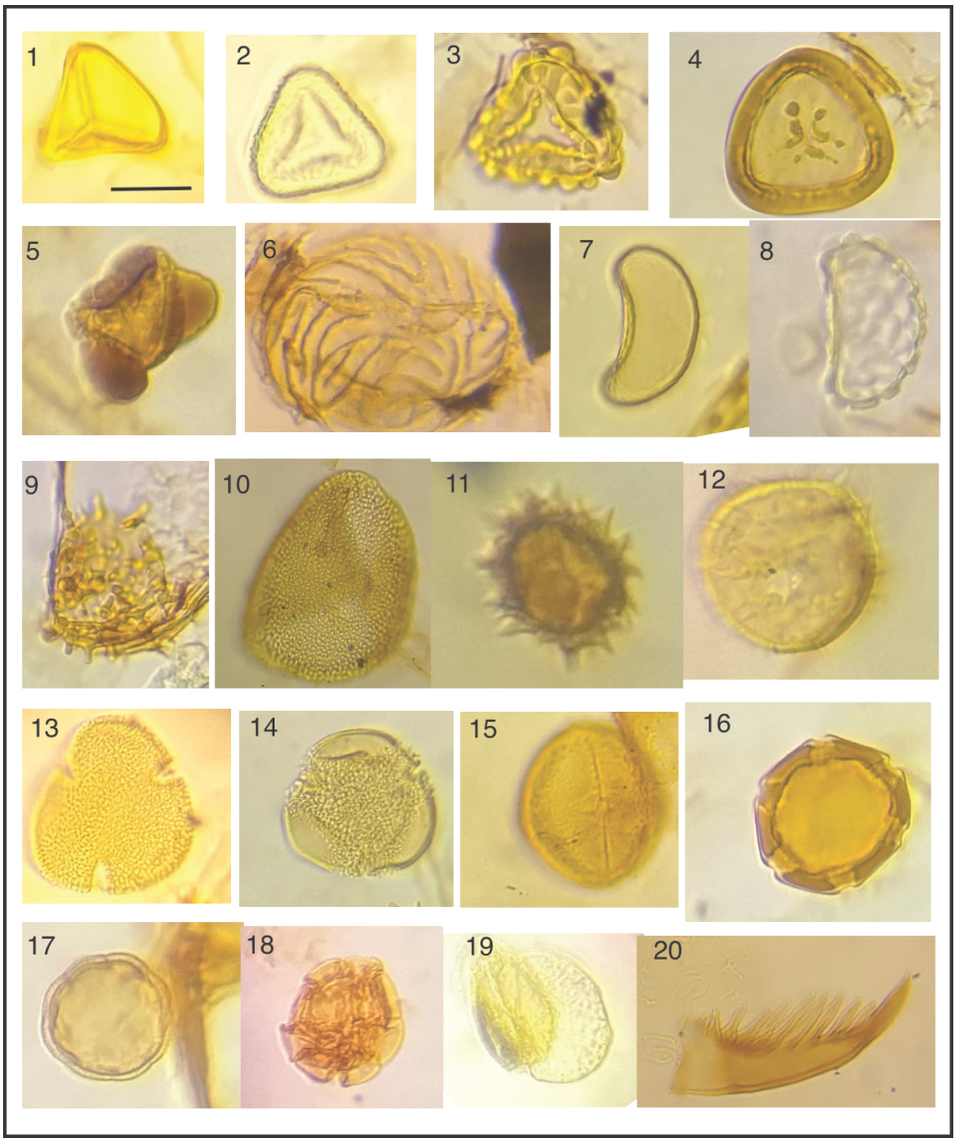


Figura 2. Alguns dos representantes esporomorfos reportados nesse estudo.1) *Deltoidospora adriennis*; 2) *Polypodiispoirites pseudolabiatus*; 3. *Distaverrusporites muratus*; 4. *Cyathidites annulatus*; 5. *Camarozonosporites trilobatus*; 6. *Magnastriatites grandiosus*; 7. *Polypodiisporites timidus*; 8. *Polypodiispoites planus*; 9. *Grimsdalea magnaclavata*; 10. *Proxapertites tertiaria*; 11. *Echitricolporites spinosus*; 12. *Mauritiidites franciscoi*; 13. *Bombacacidites fossulatus*; 14. *Bombacacidites baculatus*; 15. *Retritricolporites* sp.; 16. *Packydermites diederix*; 17. *Retisthenanocolpites evansii*; 18. *Polydopollenites* sp.; 19. *Podocarpidites* sp., 20. Escolecondonte. A escala é de 20 µm.

Palinologia

O contexto palinológico se apresenta diverso e em muitos casos numerosos. A qualidade da preservação é excepcional, contendo formas íntegras, raramente rasgados, e sem sinais de corrosão. Apresentam elevado conteúdo de grãos de pólens preservados em políade (*Monoporites annulatus*, *Corsinopollenites undulatus*), ou esporos arranjados em tétrades (*Deltoidospora adriennis*), assim como numerosos e diversos esporos de fungo.

Associação Palinológica e Interpretação Ambiental

O influxo de palinomorfos continentais, indicado pela alta frequência de esporos e grãos de pólens de angiospermas e gimnospermas associados a fitoclastos (fragmentos de cutículas e lenhos de plantas terrestres) é notável. Em todos os cinco níveis do afloramento 04 é visível a presença de algas de água doce. A assembleia palinológica levantada é caracterizada por dominância de esporos de fungos, grãos de pólens de angiospermas (*Bombacacidites fossulatus, Mauritidiites franciscoi, Monoporites annulatus* e *Perisincolpororites pokornyi*, esporos de pteridófitas (*Polypodiisporites timidus*, *Polypodiisporites usmensis, Cyathidites annulatus, Deltoidospora adriennis*), além de algas de água doce, nessa ordem de mais à menos comuns.

A representação de esporos monoletes e triletes é diversa, o que assinala uma condição de calor e umidade para a fase de acumulação.

A associação se destaca pelo alto grau de preservação, onde os ambientes redutores favoreceram a acumulação de pólens e esporos em políades e tétrades. Isto indica a ausência de transporte, e por conseguinte, revela a vegetação do entorno, que são compatíveis àqueles de ambiente paludial (pântano), especialmente para o afloramento 04. Enquanto isso, os afloramentos 08 diminui a diversidade e abundância de táxons, ainda que também configure um sistema redutor, parecem compatíveis a um paleoambiente lacustre. Já o afloramento 54 traz seu conteúdo palinológico muito equivalente ao grau de preservação da amostra 04, mas apresentando menor diversidade.

Posicionamento Estratigráfico

Os palinomorfos apresentam limites bioestratigráficos enquadrados no intervalo Mioceno superior – Plioceno. Isto é indicado por Muller *et al.,* (1987), que defende que o esporo *Cyathidites annulatus* ocorre do nesse intervalo. A presença de *Echitricolporites spinosus*, *Cichoreacidites longispinosus, Retistephanocolpites evansii, Grimsdalea magnaclata* e *Fenestrites spinosus* reforçam essa informação (D'Apolito *et al.,* 2018, 2024), para a Formação Solimões.

Apesar de *Echitricolporites spinosus* e *Cichoreacidites longispinosus* estenderem-se até o Pleistoceno, a ausência de microfósseis diagnósticos, como *Alnipollenites verus*, não permite, neste trabalho, posicionar os depósitos de finos da Formação Içá.

DISCUSSÕES

Nas porções central e ocidental da Amazônia a Formação Solimões tem ampla distribuição, entretanto, na Bacia do Médio Rio Negro representa o embasamento dos depósitos da Formação Içá e Quaternários (Souza, 2024). Todos os palinomorfos tratados aqui ocorrem na Amazônia brasileira, principalmente voltadas às rochas da Formação Solimões (Hoorn, 1993; Silva-Caminha *et al.,* 2010; Silveira & Souza, 2015, 2016; D'Apolito *et al.,* 2018, 2024; Gomes *et al.,* 2021), contudo com um grau de excepcional preservação. A natureza *in situ* destes depósitos permite deduzir os ambientes de preservação: pantanoso e lacustre, distintos pela maior quantidade de políades e tétrades do primeiro.

Hoje se sabe que houve várias entradas do mar no Mioceno, e até o seu limite Mioceno superior – Plioceno, para a porção ocidental da Amazônia (Hoorn, 1993; Silveira, 2016; Leite *et al.,* 2017; D'Apolito *et al.,* 2018, 2024). Até o momento não identificamos qualquer indício de contexto marinho para esses depósitos na Bacia do Médio Rio Negro.

CONCLUSÕES

As rochas da formação Solimões, aflorantes na região de Barcelos, estado do Amazonas, apresentam palinomorfos indicadores de condições paleoambientais redutoras com alto grau de preservação, onde as águas estagnadas puderam formar ambientes deposicionais propícios a preservação da matéria orgânica, como pântanos e lagos. Estes depósitos são de idade Miocena superior – Pliocena.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Projeto FAPESP 2022/15495-4 "DATAÇÃO POR LOE E TÉCNICAS ANALÍTICAS APLICADAS À BACIA DO MÉDIO RIO NEGRO, AMAZÔNIA: IMPLICAÇÕES SOBRE A DINÂMICA FLUVIAL, SEDIMENTAÇÃO MODIFICAÇÕES DA PAISAGEM E ICTIOFAUNA" pelo apoio logístico de campo e suporte nas análises laboratoriais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arai, M.; Nogueira, A.C. R.; Silveira, R.R. & Horbe, A.M. (2003). Considerações Cronoestratigráficas e Paleoambientais da Formação Solimões com base em palinomorgos, região de Coari, Estado do Amazonas. *VIII Simpósio de Geologia da Amazônia,* 410-414.

D'Apolito, C.; Silva-Caminha, S.A.F; Jaramillo, C. (2024). Palynology of core 1-AS-20-AM from the Miocene and Quaternaty of western Amazonia. *Acta Palaeobotanica, 64 (2)*: 310-334.

D'Apolito, C.; Silva-Caminha, S.A.F.; Jaramillo, C.; Dino, R.; Soares, E.A.A. (2018). The Pliocene-Pliocene palynology of the Negro River, Brazil. *Playnology, 43 (2):* 223-243.

Gomes, B. T.; Absy, M.L.; D'Apolito, C.; Caballero-Rodríguez, D.; Martínez, C.; Jaramillo, C. (2021). Miocene paleoenvironments and paleoclimatic reconstruction based on the palynology of the Solimões Formation of Western Amazonia (Brazil). *Palynology, 46*, 1980129.

Hoorn, C. (1993). Marine incursions and the influence of Andean tectonics on the Miocene depositional history of northwestern Amazonia: results of a palynostratigraphic study. *Palaogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 105*, 277-309.

Leite, F.P.R.; Paz, J.D.; Carmo, D.A.; Silva-Caminha, S.A.F. (2017). The effects of the inception of Amazonian transcontinental drainage during the Neogen on the landscape and vegetation of the Solimões Basin, Brazil. *Palynology, 41,* 412-422.

Jaramillo, C.A.; D'Apolito, C.; Silva-Caminha, S. A. F. & Caballero-Rodríguez, D. (2024). A palynological zonation for the Neogene of the Solimões/Amazon Basin, northwestern Amazonia, *Palynology,* DOI: 10.1080/01916122.2024.2413153

Nogueira, A.C.R.; Silveira, R.R.; Guimarães, J.T.F. (2013). Neogene-Quaternary sedimentary and paleovegetation history of eastern Solimões Basin, central Amazon region. *Journal of South American Earth Sciences, 46:* 89-99.

Räsänen, M.E.; Linna, A.M.; Santos, J.C.R. & Negri, F.R. (1995): Late Miocene tidal desposits in the Amazonian foreland basin. *Sciences, 269,* 389-390.

Silva-Caminha, S.A,F.; Jaramillo, C.A. & Absy, M.L. (2010). Neogene palynology of the Solimões Basin, Brazilian Amazonia, *Palaeontographica Abteilung B: Palaeobotonay – Palaeophytology, 282 (1-3): 1-67.*

Silveira, R.R. & Souza, P.A. (2016). Palinologia (esporos de fungos e pteridófitas, grãos de pólnes de gimnospermas, cistos de algas e escolecodonte) das Formações Solimões e Içá (Neogeno e Pleistoceno< Bacia do Solimões), Amazonas, Brasil. *Pesquisas em Geociências,* 43(1): 17-39.

Silveira, R.R. & Souza, P.A. (2015). Palinologia (grãos de pólen de angiospermas) das Formações Solimões e Içá (Bacia do Solimões), nas Regiões de Coari e Alto Solimões, Amazonas. *Revista Brasileira de Paleontologia, 18(3):* 455-474.

Silveira, R.R. 2005. Cronoestratigrafia e Interpretação Paleoambiental dos Depósitos Miocenos da Formação Solimões, Região de Coari, AM. Dissertação de Mestrado *Dissertação de Mestrado.* Departamento de Geociências, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 111p.

Soares, E.A.A.; D Apolito, C.; Jaramillo, C.; Harrigton, G.; Caputo, M.V.; Barbosa, R.O.; Santos, E.B; Dino, R.; Gonçalves, A.D. (2017). Sedimentology and palynostratigraphy of a Pliocene-Pleistocene (Piacenzian to Gelasian) deposit in the lower Negro River; Implications for the establishment of large rivers in Central Amazonia. *Journal of South American Earth Sciences, 79,* 215-229.

A INFLUÊNCIA DO INTEMPERISMO EM INDICADORES DE PROVENIÊNCIA: UM PROJETO DE PESQUISA A SER REALIZADO EM DEPÓSITOS NO MIOCENO DA BACIA DO ACRE E NO PLEISTOCENO DA BACIA DO SOLIMÕES, AMAZÔNIA OCIDENTAL

Vinicius de Lima Passos[1]; André Marconato[1]; Renato Paes de Almeida[2]

[1] **Universidade de São Paulo - USP**

vlpassos@usp.br; andre.marconato@usp.br; rpalmeid@usp.br

RESUMO

O ambiente da Floresta Amazônica mudou consideravelmente ao longo do Cenozóico, com a mudança de um sistema fluvial de múltiplos canais para a então formação do Sistema Pebas, um grande sistema lagunar com incursões marinhas, permitindo a entrada de moluscos e outras espécies típicas da fauna de água salgada do caribe, tendo então influência intermitente de água oceânica através do norte da América do Sul .Todavia a posterior elevação do Sistema de cadeias de orógenos Andinos, resultou no estabelecimento do sistema fluvial transcontinental moderno, com fluxo de oeste para leste. Durante este processo de mudanças ambientais sucedidas ao longo do Cenozoico, também ocorreram, de forma concomitante, mudanças climáticas que influenciaram a evolução biológica e geológica da região amazônica, principalmente do Mioceno para o Plio-Pleistoceno, com o estabelecimento de um clima quente e úmido com presença de grandes rios e densa vegetação tropical de floresta. Este grande sistema de terraços fluviais desenvolveu-se na Amazônia central a partir do Pleistoceno tardio, registrando a dinâmica dos rios amazônicos, a evolução das áreas fonte e os processos de alteração intempérica na região devido à evolução dos fatores climáticos. Como diferentes tipos minerais respondem de forma diferente ao intemperismo (conforme sua composição), com variações dentro de um grupo respondendo de maneira variável a depender das forçantes ambientais (como diferentes piroxênios, anfibólios e epidotos respondendo de maneira distinta a depender do pH do meio) a variação no intemperismo, principalmente pós deposicional, leva a variação nas assembleias minerais, podendo levar certas espécies a completa dissolução durante transporte e a diagênese, ou a apresentarem maior corrosão superficial, consequentemente, criando concentrações de minerais que não necessariamente refletem a rocha mãe. Com o objetivo de analisar a variação da composição mineralógica de sedimentos submetidos ao intemperismo, este estudo investiga depósitos inéditos da Bacia do Acre e sedimentos modernos de rios da Amazônia Ocidental. A proposta é fornecer subsídios para pesquisas de proveniência em ambientes tropicais densamente vegetados, bem como oferecer um exemplo aplicável a contextos de mudanças climáticas que alteram as forçantes intempéricas, levando em conta a proveniência sedimentar comum em ambos os períodos visados. Para isso, será realizada a análise de minerais pesados em sedimentos miocênicos da Bacia do Acre e em depósitos plio-pleistocênicos do rio Solimões, permitindo comparar a mineralogia entre esses dois contextos.

PALAVRAS-CHAVE: Amazônia; Minerais Pesados; Sedimentos, Intemperismo;

INTRODUÇÃO

As sucessões quaternárias encontram-se expostas nas extensas planícies da Amazônia Central, onde os interflúvios entre os principais rios estão a altitudes que variam de algumas a várias dezenas de metros em relação aos modernos vales fluviais inundados sazonalmente, apresentando, portanto, florestas não inundadas. Essas áreas são compostas por depósitos sedimentares arenosos (Almeida *et al.*, 1974; Hayakawa *et al.*, 2010; Wilkinson, 2010; Ruokolainen *et al.*, 2019). Morfologicamente, eles compreendem uma série de unidades de depósitos sedimentares dispostos em degraus com diferentes altitudes, separados por escarpas erosionais de 5 a 20 m de altura e exibindo topos planos inclinados suavemente em direção ao vale do rio Solimões. Todos os depósitos dentro dos grandes vales atuais da região são mais jovens que aproximadamente 45 Ka, enquanto as idades disponíveis para as amplas áreas de interflúvio estão restritas às unidades mais jovens, revelando idades de deposição superiores a 50 Ka (Rossetti *et al.*, 2015; Cremon *et al.*, 2016; Gonçalves Júnior *et al.*, 2016; Sant'Anna *et al.*, 2017; Pupim *et al.*, 2019). Unidades mais antigas, embora com escassez de dados geocronológicos, são provavelmente também do Pleistoceno Superior, como indicado pela boa preservação das estruturas de deposição e novas restrições mínimas de idade.

Como diferentes forçantes ambientais geram a corrosão e até mesmo a extinção de grupos de minerais nas áreas fonte e nos sistemas de terraços (Weltje e von Eynatten, 2004; Garzanti, 2013), é possível que os indicadores de proveniência (frequência mineral) sofram modificações específicas no Mioceno na Bacia do Acre e no Pleistoceno da Bacia do Solimões. A possibilidade da comparação entre esses dois cenários é uma oportunidade pouco explorada para investigar como diferentes condições intempéricas e ambientais modificam os indicadores de proveniência sedimentar.

Proveniência Sedimentar

O uso da proveniência sedimentar permite não apenas correlacionar um depósito à área fonte de sedimentos, mas também permite inferir sobre sua história evolutiva, tal como o transporte sofrido, clima, influência tectônica, além da própria rocha de origem (Pettijohn *et al.*, 1987). Entre as ferramentas aplicáveis para esta análise, há a petrografia de minerais pesados, sendo um método reconhecido para comparação e reconstrução de proveniência sedimentar (Henry e Guidotti, 1985; von Eynatten e Gaupp, 1999; Nascimento *et al.*, 2007). O uso de minerais pesados para estudos de proveniência tem ampla utilização para caracterização, discriminação e correlação de áreas fontes (*e.g.*, Krippner *et al.*, 2016), com sua aplicação em variados contextos, como os gnaisses pré-cambrianos no sudoeste da noruega (Krippner *et al.*, 2016), no complexo de subducção do Indo-Burman–Andaman–Nicobar (Garzanti *et al.*, 2013), no leste dos Alpes visando reconstituição da proveniência sedimentar de arenitos do Cretáceo (von Eynatten e Gaupp, 1999), reconstituição de paleodrenagem e paleoclima (Weltje e von Eynatten, 2004), proveniência sedimentar no deserto da Namíbia (Garzanti *et al.*, 2012), distinção estratigráfica de unidades geológicas (*e.g.,* Decou, 2011; Morton e Hallsworth, 1994) ou até para datação U-Pb em zircão (*e.g.,* Alvàn *et al.*, 2015). Essa utilização generalizada em estudos de proveniência se deve ao fato de minerais pesados serem suscetíveis a

mudanças de sua assembleia em bacias quando ocorrem mudanças das áreas fontes, ao longo do transporte (incluindo o tempo de residência limitado em terraços fluviais e depósitos costeiros) e após o soterramento (durante a diagênese), resultando em alteração da frequência mineralógica (Garzanti e Andò, 2007). A aplicação de minerais pesados também é usado como indicativo de fácies metamórficas da área fonte e paleotermômetro do momento da exumação (*e.g.,* von Eynatten e Dunkl, 2012).

O efeito do intemperismo é uma forçante de considerável influência na análise da proveniência sedimentar, uma vez que durante o processo de transporte e diagênese ocorre a dissolução dos minerais (Andò, 2012; Garzanti, 2013), que tem maior magnitude na dissolução e corrosão dos minerais do que a abrasão mecânica durante transporte (Nascimento *et al.,* 2007; Garzanti e Andò, 2012). Durante esse processo, minerais máficos (*e.g.,* anfibólio, piroxênio, biotita), são os primeiros a serem esgotados, enquanto os chamados ultraestáveis (zircão, turmalina e rutilo), demoram mais e acabam por serem concentrados (Weltje e von Eynatten, 2004). A dissolução, porém, não pode ser vista como um fator unidimensional na remoção de minerais de uma assembleia; fatores como dissolução seletiva, onde minerais de uma composição são mais facilmente lixiviados que outros, como Ca-granadas sendo mais instáveis que granadas pobres em Ca (*e.g.,* von Eynatten e Dunkl, 2012), e seleção hidráulica (concentração de minerais mais densos, como em praias de monazita) podem alterar a composição da assembleia (Garzanti, 2013), e até mesmo a herança granulométrica da área fonte (Feil *et al.,* 2024) podem afetar a forma como enxergamos uma assembleia de minerais pesados.

O clima, ecologia e ambiente da planície amazônica variaram consideravelmente desde o Neógeno e ao longo do Quaternário, com mudanças do Mioceno da Bacia do Acre em relação ao Pleistoceno da Bacia do Solimões, como a instalação recente de um sistema fluvial complexo no atual oeste amazônico (Rossetti, 2005). Todavia os sedimentos depositados nas bacias, possuem origens em comum, derivados dos Andes (Sawakuchi *et al*., 2018).

Assim, o principal objetivo do estudo é a determinação do impacto do intemperismo em regiões de floresta tropical úmida sobre a assembleia de minerais pesados encontrados em depósitos sedimentares de terraços fluviais. Desta forma, se espera determinar parâmetros mais precisos para a interpretação da proveniência sedimentar em depósitos antigos.

MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas de preparação de amostras foram feitas conforme técnicas descritas por Mange e Maurer (1992), com a fragmentação da amostra por meios mecânicos. Uma vez feita seguirá a concentração das diferentes granulometrias (Andò, 2020), separadas por peneiramento via úmida a fim de concentrar a fração correspondente a areia muito fina, da qual os minerais pesados serão concentrados (Garzanti *et al.,* 2016; Mange e Maurer, 1992). A concentração empregara as mais modernas técnicas de recuperação de pesados a partir de Politungstato de sódio, aplicando o congelamento da fração pesada em nitrogênio após centrifugação, como explicado por Andò (2020), sendo esta uma

metodologia que permite concentrado mais livres de contaminação, efetivamente livres de minerais leves (Andò, 2020). Já com o concentrado, serão confeccionadas lâminas de grão, para a petrografia de minerais pesados em microscópio petrográfico, ao qual será realizado o processo de *ribbon counting*, de 300 grãos por amostra (Mange e Maurer, 1992).

RESULTADOS

Os resultados esperados em primeiro momento será a obtenção das assembleias de minerais pesados e sua contabilização parcial, sendo os primeiros resultados correspondentes aos minerais originados na bacia do Acre, de idade miocênica, de modo a permitir, ao menos de maneira inicial, comparar as diferentes assembleias, seus estados de corrosão, junto a informações a respeito da rocha mãe, para inferir a respeito da proveniência e origem do sedimento.

CONCLUSÕES

As mudanças climáticas e ambientais decorridas na Amazônia entre o Mioceno e o Plio-Pleistoceno influenciaram nas condições ambientais, que por sua vez afetaram o modo como o intemperismo afeta diferentes minerais pesados, alterando a resposta dos minerais a essas variações, afetando assim os dados de proveniência que podem ser obtidos a partir dessas assembleias

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Laboratório de Sedimentologia (LABSED) e ao Laboratório de Petrografia Sedimentar (LABPETRO) do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGc-USP) pelo espaço e equipamentos cedidos no âmbito da pesquisa. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fomento da bolsa de mestrado, processo 88881.693944/2022-01.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, L.F.G. (1974) A drenagem festonada e seu significado fotogeológico. *Proceedings of the XXVIII, Brazilian Congress of Geology*. 7, 175-197.

Alván, A., von Eynatten, H., Dunkl, I., Gerdes, A. (2015) Zircon U-Pb geochronology and heavy mineral composition of the Camaná Formation, southern Peru: Constraints on sediment provenance and uplift of the Coastal and Western Cordilleras

Cremon, É. H., Rossetti, D. de F., Sawakuchi, A. de O. & Cohen, M. C. L. (2016) The role of tectonics and climate in the late Quaternary evolution of a northern Amazonian River. *Geomorphology*. 271, 22–39.

Decou, A., von Eynatten, H.V, Dunkl, I., Frei, D., and Wörner, G. (2013) Late Eocene to Early Miocene Andean uplift inferred from detrital zircon fission track and U–Pb dating of Cenozoic forearc sediments (15–18°S). Journal of South American Earth Sciences, 45, 6–23.

Feil, S., von Eynatten, H., Dunkl, I., Schönig, J., and Lünsdorf, N.K. (2024) Inherited Grain-Size Distributions: Effect on Heavy-Mineral Assemblages in Modern and Ancient Sediments. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*

Garzanti, E., Andò, S., Vezzoli, G., Lustrino, M., Boni, M., and Vermeesch, P. (2012) Petrology of the Namib Sand Sea: Long-distance transport and compositional variability in the wind-displaced Orange Delta. Earth-Science Reviews, 112, 173–189.

Garzanti, E., Andò, S. (2007) Chapter 29 Plate Tectonics and Heavy Mineral Suites of Modern Sands. *Developments in Sedimentology*, 58, 741–763

Garzanti, E., Padoan, M., Andò, S., Resentini, A., Vezzoli, G., and Lustrino, M. (2013) Weathering and Relative Durability of Detrital Minerals in Equatorial Climate: Sand Petrology and Geochemistry in the East African Rift. *The Journal of Geology*, 121, 547–580

Gonçalves Júnior, E. S., Amaral Soares, E. A., Tatumi, S. H., Yee, M., & Ramirez Mittani, J. C. (2016). Pleistocene-Holocene sedimentation of Solimões-Amazon fluvial system between the tributaries Negro and Madeira, Central Amazon. *Brazilian Journal Geology* 46(2), 167-180.

Hayakawa, E. H., Rossetti, D. F. & Valeriano, M.M. Applying. (2010) DEM-SRTM for reconstructing a late Quaternary paleodrainage in Amazonia. *Earth Planetary Science Letters* 297 (1-2), 262-270.

Henry, D.J. (1985) Tourmaline as a petrogenetic indicator mineral: an example from the staurolite-grademetapelitesof NW Maine. *American Mineralogist.*

Krippner, A., Meinhold, G., Morton, A.C., Schönig, J., and von Eynatten, H.V. (2016) Heavy minerals and garnet geochemistry of stream sediments and bedrocks from the Almklovdalen area, Western Gneiss Region, SW Norway: Implications for provenance analysis. *Sedimentary Geology*, 336, 96–105.

Morton, A.C., and Hallsworth, C. (1994) Identifying provenance-specific features of detrital heavy mineral assemblages in sandstones. *Sedimentary Geology*, 90, 241–256,

Nascimento, M.D.S., Góes, A.M., Macambira, M.J.B., and Brod, J.A. (2007) Provenance of Albian sandstones in the São Luís–Grajaú Basin (northern Brazil) from evidence of Pb–Pb zircon ages, mineral chemistry of tourmaline and palaeocurrent data. *Sedimentary Geology*, 201, 21–42.

Pettijohn, F.J., Potter, P.E., Siever, R., Sand and Sandstone, Second Edition

Pupim, F.N. *et al*. (2019) Chronology of Terra Firme formation in Amazonian lowlands reveals a dynamic Quaternary landscape. *Quaternary Science Reviews*, 210, 154–163.

Rossetti, D.F. *et al*., 2015, Mid-Late Pleistocene OSL chronology in western Amazonia and implications for the transcontinental Amazon pathway: *Sedimentary Geology*, 330, 1–15.

Ruokolainen, K, Moulatlet, G.M., Zuquim, G., Hoorn, C., Tuomisto, H. (2019) Geologically recent rearrangements in central Amazonian river network and their importance for the riverine barrier hypothesis. *Frontiers of Biogeography*

Sant'Anna, L. G., Soares, E. A. do A., Riccomini, C., Tatumi, S. H. & Yee, M. (2017) Age of depositional and weathering events in Central Amazonia. *Quaternary Science Reviews*. 170, 82–97.

Sawakuchi, A.O., *et al.* (2018) Luminescence of quartz and feldspar fingerprints provenance and correlates with the source area denudation in the Amazon River basin. *Earth and Planetary Science Letters*, 492, 152–162.

Von Eynatten, H.V., Dunkl, I. (2012) Assessing the sediment factory: The role of single grain analysis. *Earth-Science Reviews,* 115, 97–120.

Von Eynatten, H., and Gaupp, R. (1999) Provenance of Cretaceous synorogenic sandstones in the Eastern Alps: constraints from framework petrography, heavy mineral analysis and mineral chemistry. *Sedimentary Geology*, 124, 81–111.

Weltje, G.J., and Von Eynatten, H. (2004) Quantitative provenance analysis of sediments: review and outlook. *Sedimentary Geology*, 171, 1–11.

Wilkinson, M.J., Marshall, L. G., Lundberg, J.G. & Kreslavsky, M.H. (2010). *Amazonia: Landscape and species evolution.*

PALEOSSOLOS EM DEPÓSITOS MIOCÊNICOS DA BACIA DO ACRE, NAS PROXIMIDADES DE CRUZEIRO DO SUL - AC

Milene Felix da Silva[1]; André Marconato[1]

[1]**Universidade de São Paulo**

milenefelix@usp.br; andre.marconato@usp.br

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo a caracterização, descrição e interpretação de perfis de paleossolos dos terraços às margens do rio Juruá , Cruzeiro do Sul – AC. As seções colunares obtidas no trabalho de campo realizado em 2023, foram digitalizadas, analisadas e interpretadas, sendo realizados o exame dos índices de cor dos perfis, buscando comparar possíveis alterações, e descrição petrográfica de seções delgadas. Desse modo, os resultados preliminares permitiram observar que as seções colunares sugerem déficit hídrico durante a formação dos paleossolos, além de indicar possível cumulatividade. Ademais, a verificação do cromatismo de cor sugere possíveis discrepâncias no depósito, estas que serão confirmadas posteriormente através da investigação em microscópio óptico, indicando possível variação de umidade. A análise petrográfica, também, permitirá uma maior compreensão dos processos envolvidos na formação dos depósitos e na compreensão do clima amazônico no Mioceno. Dado que paleossolos podem ser interpretados como o resultado da interação entre os depósitos sedimentares e a atmosfera seu estudo se torna relevante já que implica em oportunidades de obtenção de proxis climáticos diretamente de depósitos continentais.

PALAVRAS-CHAVE: Paleossolos; Amazônia; Paleoclima; Sedimentologia.

INTRODUÇÃO

Os terraços encontrados às margens do Rio Juruá, no estado do Acre, expõem registros que se classificam como Formação Solimões. Esta formação apresenta importante registro paleontológico do final do Mioceno, considerado chave para compreensão da biodiversidade presente hoje na Floresta Amazônica (*e.g.* Hoorn *et al*., 2010). Assim, boa parte do registro paleontológico dos depósitos miocênicos advém de paleossolos associados a ambientes fluviais (*e.g.* Latrubesse *et al*., 2010; Gross *et al.*, 2011).

Ademais, dado que paleossolos podem, também, ser interpretados como o resultado da interação entre os depósitos sedimentares e a atmosfera seu estudo se torna relevante uma vez que implica em oportunidades de obtenção de proxis climáticos diretamente de depósitos continentais (*e.g.* Retallack, 2001; Orr, 2023).

Logo, devido a carência de estudos acerca da origem e evolução de paleossolos da Formação Solimões, a presente pesquisa apresenta dados que corroboram para o estudo do paleoclima do oeste amazônico ao final do Mioceno.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho partiu da transcrição de dados obtidos em trabalho de campo, com a posterior análise dos horizontes de solo empregada por Retallack (2001) e exame de índice de cor a partir de Munsell (2009). O processo de transcrição e comparação dos dados de campo consistiu na utilização do software Hugin para a elaboração de imagens em mosaico do afloramento e do aplicativo Sketchbook para a criação dos desenhos digitais.

Ademais, a partir do conjunto de amostras coletadas nos diferentes horizontes de solo do afloramento na região de Cruzeiro do Sul (AC), realizou-se a preparação conforme técnicas descritas por Tucker (1988), para posterior análise petrográfica das seções delgadas. Desse modo, as amostras foram fragmentadas manualmente em frações menores e submetidas à impregnação a vácuo, utilizando-se da proporção 1:2 de resina epóxi e endurecedor epóxi, acrescentando-se 1g de azul de orazol para coloração. Assim, as amostras já impregnadas foram levadas a laminação, de modo a obter seções delgadas de, aproximadamente, 30µm de espessura.

RESULTADOS

Os resultados obtidos até o momento refletem a digitalização e interpretação dos dados obtidos em trabalho de campo, realizado em 2023, na cidade de Cruzeiro do Sul - AC. Além de análise comparativa de coloração dos horizontes de solo.

Análise comparativa de coloração

No processo de análise de coloração, buscou-se observar a cor principal das amostras coletadas e catalogá-las conforme Munsell (2009). A comparação dos dados da análise em laboratório com as informações de campo, permitiram identificar possíveis variações dos índices de cor nos pontos estudados.

Digitalização de dados obtidos em campo

A priori, a partir de imagens de campo, elaborou-se a imagem em mosaico do afloramento (Figura 2).

Ademais apresenta-se também a localização das seções colunares A, B e C, (figuras 2, 3 e 4) com informações sobre cada seção, em conjunto com caracterização dos horizontes de solo e espectro de índice de cor.

Figura 1 – Afloramento em Cruzeiro do Sul - AC e localização das seções colunares A, B e C.

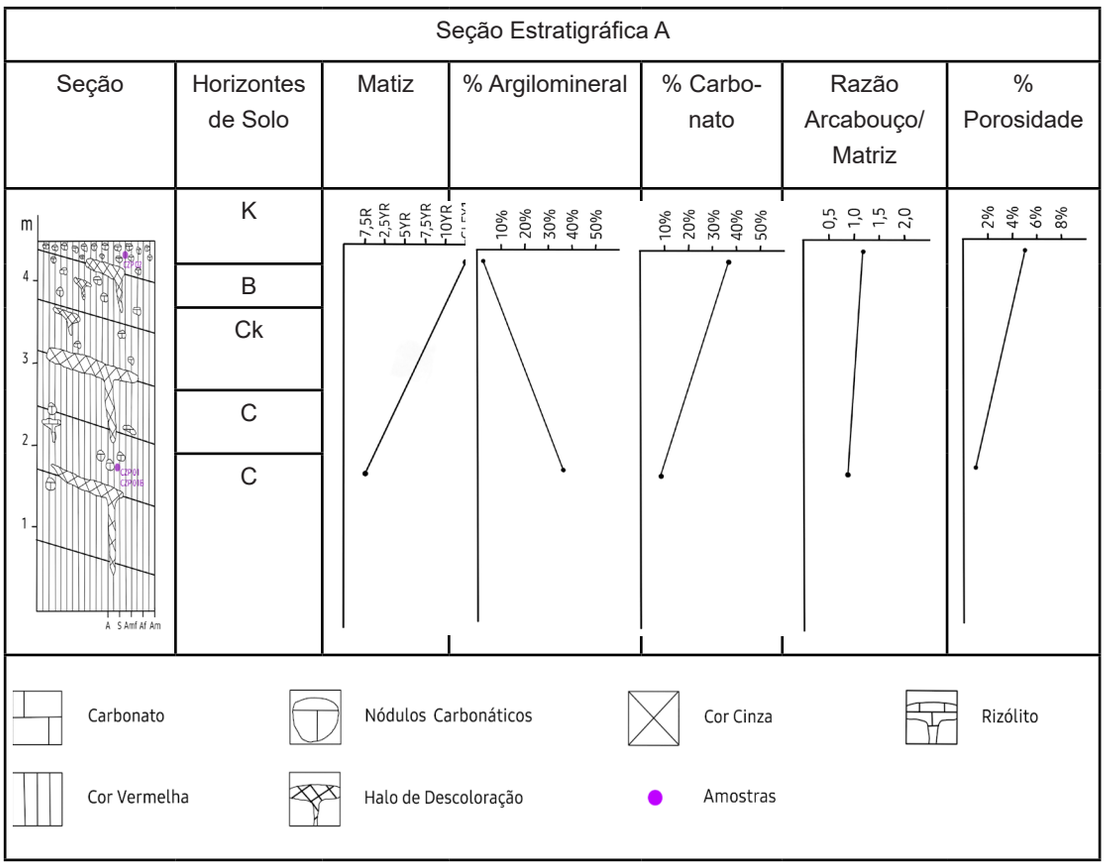


Figura 2 – Seção estratigráfica A, com identificação de horizontes de solo utilizando letras, baseado em Retallack, (2001) e índice de cor (Munsell, 2009).

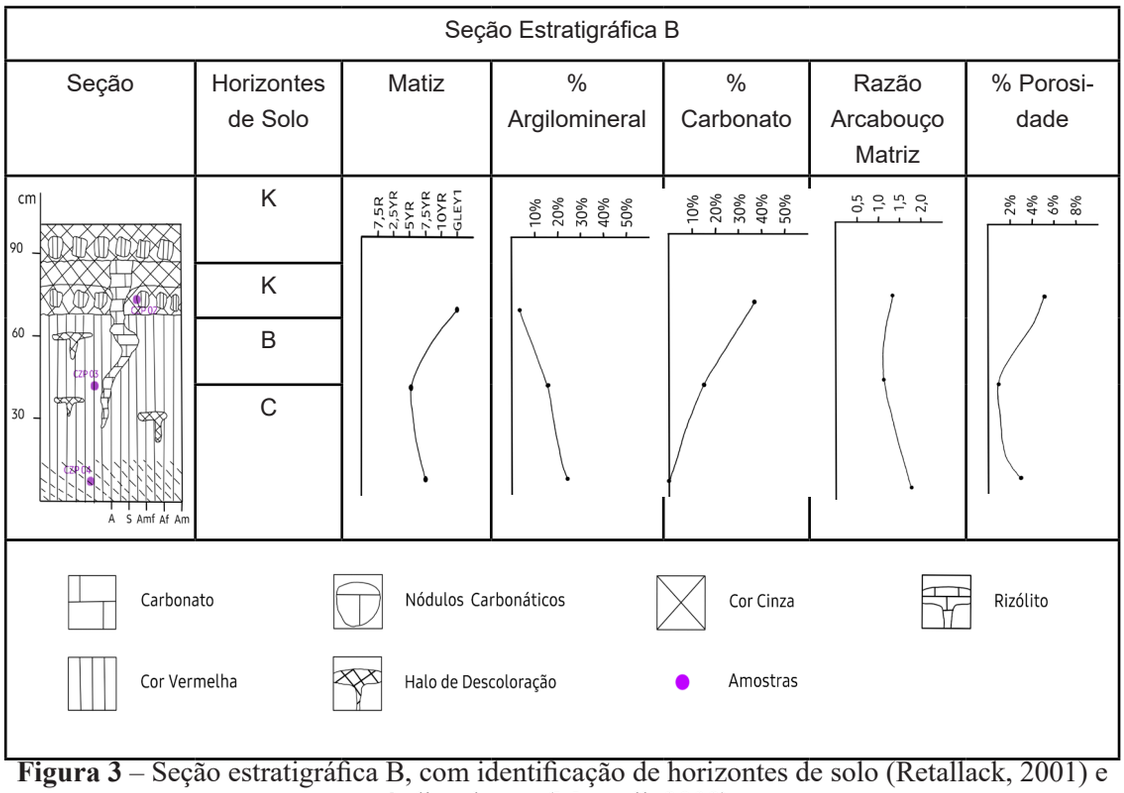


Figura 3 – Seção estratigráfica B, com identificação de horizontes de solo (Retallack, 2001) e índice de cor (Munsell, 2009).

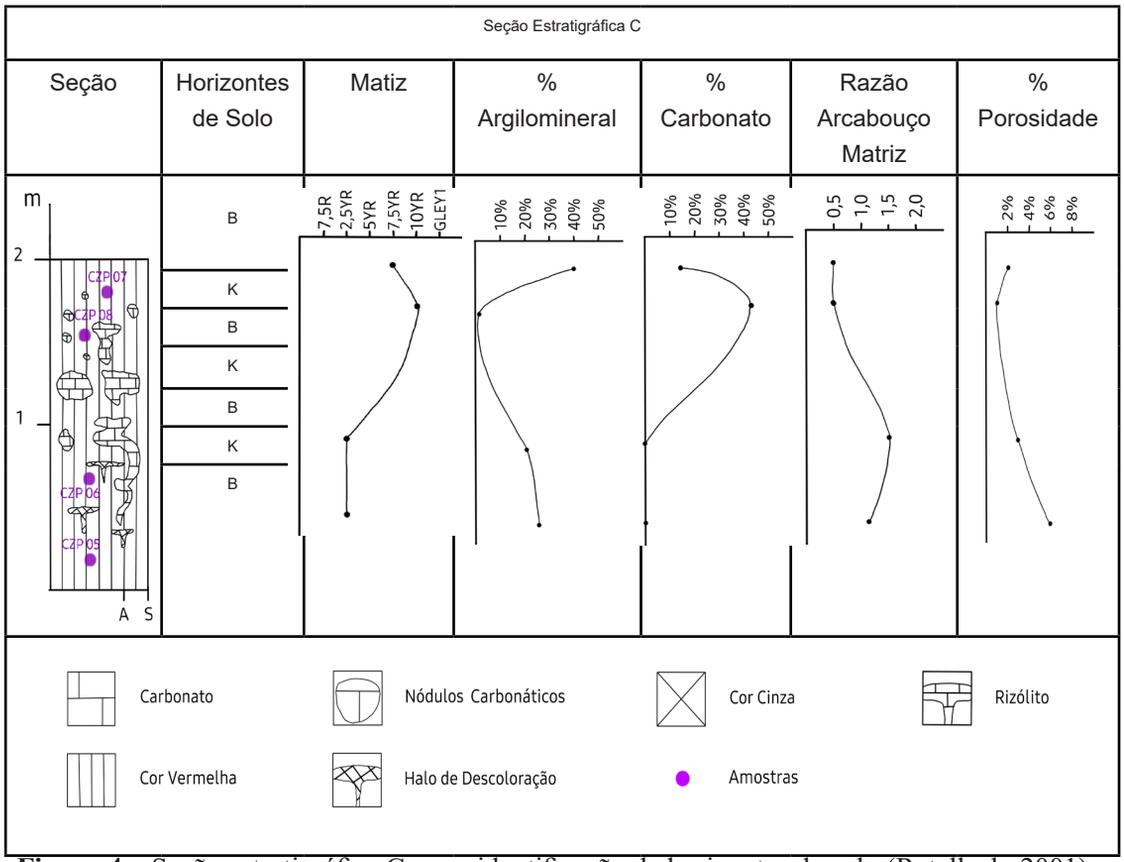


Figura 4 – Seção estratigráfica C, com identificação de horizontes de solo (Retallack, 2001) e índice de cor (Munsell, 2009).

DISCUSSÕES

Em síntese, é possível notar que as seções colunares, com a identificação preliminar de horizontes de solo, mostram repetição de tipos de horizonte, sugerindo que os paleossolos são cumulativos, situação comum a depósitos sedimentares (*e.g.,* Nascimento *et al*, 2017). Assim, a quantidade de nódulos carbonáticos e rizocreções, sugerem déficit hídrico durante a formação dos paleossolos (*e.g.,* Silva *et al*, 2017).

Ademais, a verificação do cromatismo de cor das amostras sugere possíveis discrepâncias no depósito de paleossolo, ao realizar a análise comparativa de cor, sendo as mais notáveis quando o valor de matiz é afetado (Fontes e Carvalho, 2005).

CONCLUSÕES

Após a análise petrográfica, foi possível concluir que as amostras apresentam alto grau de oxidação. Ademais, as amostras com valores de matiz próximos ao amarelo e cinza se relacionam a maiores quantidades de carbonato presentes no depósito, em comparação com as amostras com tendência ao vermelho, que apresentam grande quantidade de argilominerais.

Além disso, foram calculados índices relacionados aos componentes do paleossolo, sendo estes examinados nas próximas etapas da pesquisa e correlacionados com a localização das amostras nas seções estratigráficas, buscando compreender a evolução do depósito de paleossolo.

AGRADECIMENTOS

À Universidade de São Paulo pelo fomento vinculado ao projeto 3937 de iniciação científica do edital 2024/2025 do Programa Unificado de Bolsas (PUB).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Gross M., Werner E. P., Ramos M. I., Paz J. D. S. (2011). Late Miocene sedimentary environments in south-western Amazonia (Solimões Formation; Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, *32(2):* 169-181.

Hoorn C., Wesselingh F., Hovikoski J., Guerrero J. (2010). The Development of the Amazonian Mega-Wetland (Miocene; Brazil, Colombia, Peru, Bolivia). *Amazonia: Landscape and Species Evolution.*

Latrubesse E. M., Cozzuol M., Silva-Caminha S. A. F., Rigsby C. A., Absy M. L., Jaramillo C. (2010). The Late Miocene Paleogeography of the Amazon Basin and the Evolution of the Amazon River System. *Earth-Sciences Reviews*, 99-124.

Munsell M. J. (2009). Munsell soil charts. *Munsell Color Company.*

Orr T. J., Roberts E. M., Bird M. I., Mtelela C., O'Connor P. M., Stevens N. J. (2023). Paleosol-derived paleoclimate and paleoenvironment reconstruction of the Rukwa Rift Basin, Tanzania: Implications for faunal dispersal in th Miocene-Pliocene. *Journal of Sedimentary Research, 93(5):* 309-326.

Retallack G. J. (2001). Soils of the past. *Oxford, Blackwell,* 404p.

Tucker M. E. (1988). Techniques in sedimentology. *Oxford, Blackwell,* 393p.

Fontes, M.P.F., and Carvalho, I.A. (2005). Color Attributes and Mineralogical Characteristics, Evaluated by Radiometry, of Highly Weathered Tropical Soils: *Soil Science Society of America Journal.*

Nascimento, D.L.D., Ladeira, F.S.B., and Batezelli, A. (2017). Feições biológicas em paleossolos da formação Marília em Minas Gerais, in Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento, *INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - UNICAMP*.

Silva, M.L.D., Batezelli, A., and Ladeira, F.S.B. (2017). The mineralogy of paleosols in the Marília Formation and their importance in the environmental evolution of the Maastrichtian of the Bauru Basin in southeastern Brazil: *Brazilian Journal of Geology*.

INTERPRETAÇÃO FACIOLÓGICA E GEOCRONOLÓGICA DA FORMAÇÃO BOA VISTA (QUATERNÁRIO), BACIA DO TACUTU, RORAIMA

Fábio Luiz Wankler[1]; Emílio Alberto Amaral Soares[2]; Jackson Douglas Silva da Paz[1] Sonia Hatsue Tatumi[3]; Márcio Yee[3]

[1]Universidade Federal de Roraima - UFRR;
[2]Universidade Federal do Amazonas - UFPA;
[3]Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP

E-mail do autor A; e-mail do autor B; e-mail do autor C

RESUMO

O presente estudo discute a Formação Boa Vista, no estado de Roraima a partir dos aspectos geomorfológicos e de distribuição em área aflorante, integrados a dados faciológicos, estratigráficos e geocronológicos (Luminescência Opticamente Estimulada – LOE). Os dados foram obtidos de 09 afloramentos da porção nordeste e noroeste da Bacia do Tacutu. A associação de fácies permitiu relacionar a deposição desta formação às porções proximal e distal de um leque aluvial depositado no Pleistoceno Tardio (aproximadamente entre 90 ka a 2 ka): Associação de Fácies de Cascalhos (AFC), depositada por fluxos gravitacionais; e da Associação de Fácies Arenosas (AFA), depositadas por fluxos de corrente. Localmente, os depósitos de leques são recobertos por fácies eólica, depositada em função do retrabalhamento pelo vento sobre os depósitos da AFA. Os dados obtidos são coerentes com um *continuum* geográfico e temporal da cobertura sedimentar quaternária da Bacia do Tacutu. Trata-se de um cenário aluvial no qual os processos de fluxo gravitacional evoluem para áreas dominadas por fluxos de corrente e outros processos pertinentes correlacionáveis a sistemas de leques aluviais do Quaternário Tardio. Depósitos análogos tem sido identificados na porção norte da Amazônia. Os dados de LOE permitiram definir as etapas de sedimentação dos leques e coadunam com o conhecimento sobre a evolução geológica recente da Amazônia Ocidental.

PALAVRAS-CHAVE: Datação LOE, Bacia do Tacutu, Leques Aluviais, Quaternário Tardio**.**

INTRODUÇÃO

A Formação Boa Vista é a unidade litoestratigráfica principal da Depressão Boa Vista (IBGE, 2005). A conexão entre a sua gênese e os eventos geológico-paleoclimáticos que formaram os registros correlatos das bacias do Solimões e do Amazonas tem sido conjecturados por diferentes autores (Cremon *et al.* 2016). Existem grandes lacunas no entendimento da relação da gênese da Formação Boa Vista com as demais coberturas sedimentares cenozoicas da bacia Amazônica. Os desafios para a caracterização litoes-

tratigráfica e posicionamento estratigráfico, deve-se a heterogeneidade litológica, tanto vertical como espacial e a determinação de sua idade, que tem sido atribuída com base na correlação a eventos geomórficos e tectono-estratigráficos regionais, face a escassez de dados fossilíferos e geocronológicos. Como resultado da carência de informações detalhadas, diferentes hipóteses à sua gênese tem sido propostas (Reis *et al*. 2017; Oliveira *et al*., 2023). O presente estudo analisa, a partir de dados sedimentológicos e geocronológicos inéditos, distribuição vertical e horizontal da Formação Boa Vista. Espera-se que os resultados revalidem correlações definidas em estudos anteriores, e substanciem o banco de dados regionais sobre a evolução geológica recente da Amazônia Ocidental.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram estudados nove afloramentos (Figura 1), com detalhamento por meio de seções panorâmicas e colunares, que inclui a descrição das litologias, texturas, estruturas sedimentares e paleocorrentes, de acordo com a metodologia de análise de fácies (Tucker, 2014) para a interpretação dos processos sedimentares e ambiente deposicional. Destes, três afloramentos foram selecionados para datação pelo método *Optically Stimulated Luminescence* (OSL) considerando a faciologia favorável para amostragem, o padrão de empilhamento vertical e extensão lateral da bacia, sendo coletadas 5 amostras de diferentes níveis estratigráficos da sucessão. A coleta foi feita usando tubo alumínio (40 cm de comprimento e 75 mm de largura). As medições foram realizadas com um leitor TL/OSL automatizado, modelo Risø TL/OSL-DA-20, do Laboratório de Vidros e Datação (Labvidro) da Faculdade de Tecnologia de São Paulo (FATEC-SP).

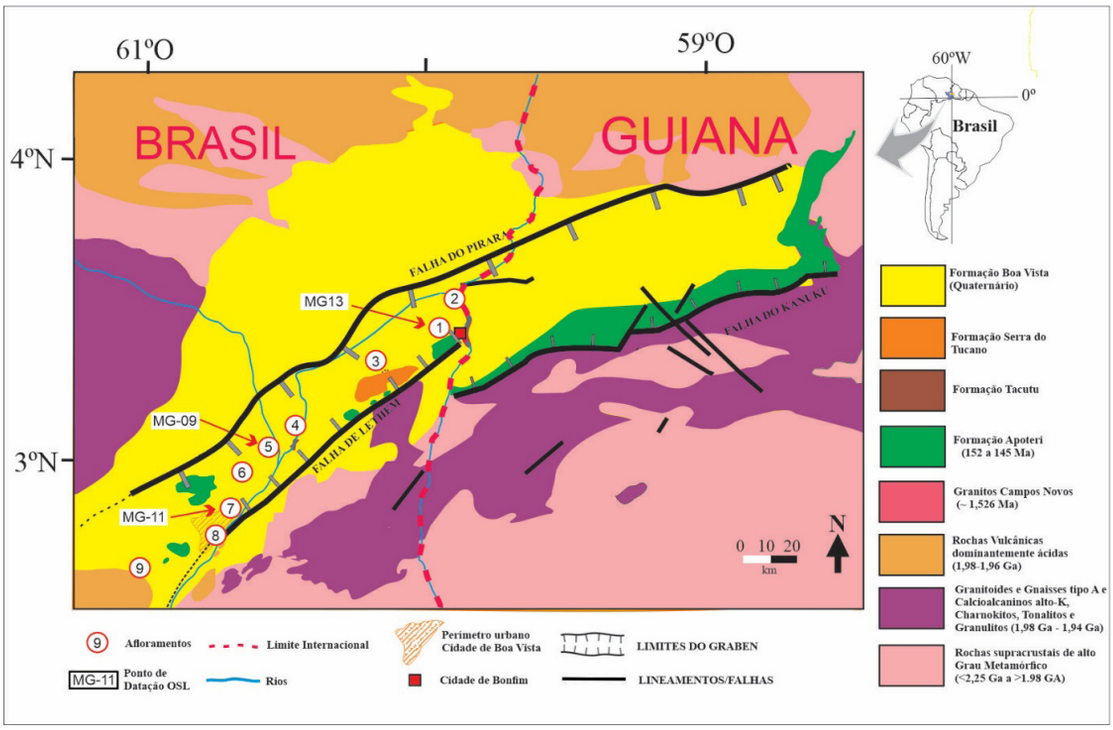


Figura 1 Mapa geológico-geocronológico da área de estudo, mostrando a delimitação tectônica do Graben do Tacutu e localização dos afloramento estudados. Legenda dos afloramentos: Ponto 1 - Biguá; 2 - Fazenda Caju; 3 - Igarapé do Mel; 4 - Comunidade D'Arora; 5 - Passarão; 6 – RR 319 (Área de servidão); 7 - Cidade Satélite; 8 - Orla Taumanan; 9 - Igarapé Bacabal. Fonte: Modificado de Mendes *et al.* (2022).

RESULTADOS

Fácies e Associações de fácies

Dados descritivos de afloramentos das porções leste e oeste da Bacia do Tacutu permitiram a individualização de nove fácies sedimentares na Formação Boa Vista: **Gmp** - Cascalho polimítico maciço, com matriz suportada; **Gmo** - Cascalho oligomítico maciço, com matriz suportada; **Sl** - Areia grossa a muito grossa, com laminação plano-paralela; **St -** Areia grossa a muito grossa com estratificação cruzada acanalada; **Sp** - Areia grossa com grânulos de pelito dispersos exibindo estratificação cruzada planar; **Sm** - Areia maciça, média a grossa, amarela, imersa em uma matriz argilosa e **Sr -** Areia fina, levemente consolidada com laminação cruzada cavalgante. Estas fácies foram agrupadas em duas associações, denominadas de **AFC** (Associação de Fácies de Cascalhos - Gmp + Gmo+Sl+St+Sm+Sr) e **AFA** (Associação de fácies de Areias – Sm+Sr). Todas estas feições mostraram fortes indícios de ferrificação. A espessura da sucessão é variável ao longo da bacia. Dados de afloramentos na porção próxima ao limite nordeste da bacia do Tacutu definem uma espessura inferior a 10 metros (Menezes *et al.,* 2020; Figura 1) No entretanto, em poços de água subterrânea na porção leste (próximo a cidade de Boa Vista), esta unidade pode ter aproximadamente 40 metros de espessura (Santos *et al*., 2020). No contexto estratigráfico regional, o mapeamento da área reconheceu que a Formação Boa Vista recobre discordantemente as rochas das formações Apoteri e Cauarane na porção leste da bacia, enquanto na porção central-oeste, a unidade repousa sobre rochas das formações Serra do Tucano e Tacutu.

1.2 Geocronologia por LOE

A datações por LOE mostraram que unidade se posiciona no Pleistoceno Tardio aproximadamente de 90 ka a 2 ka. As datações mais antigas estão associadas ao período de transporte hidrodinâmico, representado pela fácies St da Associação de Fácies Cascalhosas (AFC), enquanto a sedimentação arenosa por fluxos de gravidade com intensa bioturbação (AFA) apresentam idades ligeiramente mais recentes. A sedimentação do ambiente lacustre sazonal e retrabalhamento eólico (fácies Sr) sobre o pediplano Boa Vista tem a idade mais recente da sucessão.

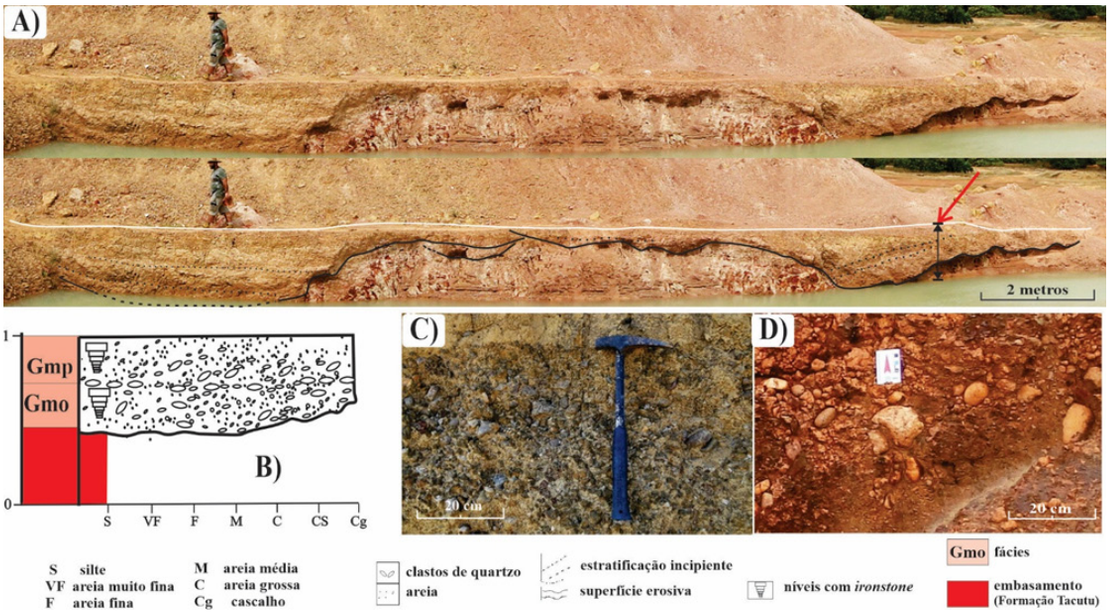


Figura 2 Associação de Fácies de Cascalhos (AFC) no afloramento Fazenda Caju (pt. 2/ fc). A) vista de corte de paleocanais escavado e preenchidos pelos sedimentos associação de fácies AFC, sotoposta aos depósitos da Formação Tacutu (Cretáceo inferior). Observar as superfícies de erosão e os limites das camadas (em preto) e a localização da seção colunar (seta vermelha). B) Seção colunar; C) disposição de cascalhos maciços no Gmp. D) disposição dos clastos fácies Gmo. Observar o tamanho do clasto maior (> 10 cm).

DISCUSSÕES

Os dados obtidos sugerem que a Formação Boa Vista é um registro de um ambiente aluvial com base nas seguintes características da sedimentação: (1) prevalência de depósitos formados em condições de fluxo gravitacional (facies Gmo e Gmp) sendo que as fácies dominadas por cascalho mostram diferentes proporções no caráter matriz-suportado, mas com grânulos e seixos do embasamento cristalino; (2) fácies dominadas por areia mal selecionadas e maciças que, em parte, podem ser atribuídas ao mesmo processo de fluxo gravitacional; (3) a espessura das camadas dominadas por cascalho; (4) os escassos depósitos de fácies de baixa energia; e (5) a inversão textural observada nestes depósitos que pode ser reflexo de uma composição mineralógica imatura. Destacamos que estas são características comuns em depósitos aluviais (Ventra & Clarke, 2018). A AFC, por ser um conjunto de rochas sedimentares terrígenas grossas, favoreceu em muito a percolação de fluidos em estágios precoces de diagênese. A presença de *ironstone* maciço registra parte desta evolução em condição eodiagenética associada à percolação de água meteórica, enriquecida em íons de ferro (Fe^{2}-) e que se precipitaram em forma de óxidos, em função do nível de base local. Este se aproveitou da superfície de contato entre os depósitos da AFC e da AFA, sob condições de quebra de relevo, o que levou ao seu registro proeminente por meio das colunas de ferrificação, interpretadas como pedoestruturas. Condições de formação semelhantes têm sido observadas em depósitos pleistocenos e recentes de Goa na Índia (Widdowson, 2009), onde a ferrificação da unidade sedimentar ocorre sobrejacente a rochas vulcânicas intensamente lixiviadas tal qual observado na Formação Boa Vista e sob o contexto de vertentes marcadas por ex-

pressivas quebras de relevo. Schaeffer e Dalrymple (1996) acrescentam que a Formação Boa Vista passou por intensa podzolização, resultado da oscilação entre períodos úmidos e mais secos, o que contribui para lixiviação intensa. A associação de fácies arenosa (AFA) representa a porção distal do ambiente de leque aluvial (quiçá, a planície aluvial) registrada pelas fácies Sm, Sr. Neste contexto do ambiente aluvial, as águas se espraiam formando um relevo menos íngreme a plano no qual as águas meteóricas e sazonais tendem a ser aprisionadas em baixios do relevo, formando uma paisagem dominada por lagos e rios efêmeros durante a estação chuvosa. Daí, os ventos alísios, os processos pedogenéticos e a bioturbação podem retrabalhar seus leitos secos durante a estação seca. A fácies mais característica da AFA, fácies Sm, apresenta estrutura maciça, cor amarela típica e abundante matriz silto-argilosa, três características provavelmente derivadas de pedogênese e bioturbação, que podem (juntos ou separados) ser intensas a ponto de obliterar amiúde as estruturas primárias geradas durante a deposição da fácies. É bem característico que a bioturbação sob intensidade máxima leva a uma aparência maciça da camada sedimentar por meio da homogeneização bio-induzida (e.g., Hussein *et al*., 2014) o que, aliado à intensa intempérie atuante na área de estudo há alguns milhares de anos, podem ter se combinado para dar origem a esta fácies. A inversão textural observada na fácies Sm é condizente com esta origem, além de uma característica marcante de porções distais de leque e até mesmo da planície aluvial, ainda mais sob regime de chuvas intensas seguidas de secas sazonais, o que favorece a infiltração de argila (p.e., Moraes & De Ros, 1990). A identificação da litofácies Sr sugere que as condições eram áridas a semiáridas, podem estar correlacionadas a presença de paleodunas fósseis com orientação NE-SW identificadas tanto no interflúvio do rios Cauamé e Uraricoera por Latrubesse e Nelson (2001) como no baixo rio Branco (Carneiro *et al*., 2002) cuja ocorrência foi relacionada em ambos os estudos a fases secas no Quaternário tardio, Tal interpretação se fortalece tanto pelos registros de indicadores de transporte eólico e de paleoincêndios em diferentes períodos ao longo dos últimos 55 mil anos (Oliveira *et al.,* 2023; Pupin *et al.,* 2019; Zular *et al*., 2018).

CONCLUSÕES

A Formação Boa Vista é interpretada como o registro de um sistema aluvial com formação de canais, escavação por aprofundamento do nível de base e espraiamento de leitos arenosos e cascalhosos. As associações de fácies identificadas representam ora porções mais proximais ora mais distais do conjunto de leques aluviais que preencheram depressão tectônica do graben. A AFC, cujas fácies St registram as datações mais antigas, prevalecem sedimentos grossos como cascalho e é interpretada como dominada por fluxos gravitacionais, como fluxos de detritos. AFA é marcante a predominância de fácies de areia, onde fluxos de corrente e bioturbação (fácies Sm) são os processos principais, sendo que esta fácies talvez represente depósitos de planície aluvial, onde a deposição foi influenciada por fluxos de gravidade, bem como retrabalhamento eólico (fácies Sr), esta última apresentando as datações mais recentes da unidade. A identificação de formação de *ironstone* sob condições de eodiagênese deve-se as características mais permo-porosas das fácies de leque proximal sob oscilações climáticas mais secas. A principal contribuição deste estudo foi o reconhecimento em detalhe das associações faciológicas que compõe a Formação Boa Vista, relacionando cronoestratigrafica-

-mente a datação LOE com a faciologia. A datação de suas fácies permitirá relacionar cronoestratigráficamente este sistema a sistemas paleofluviais já conhecidos norte do graben e na bacia Amazônica. Tal correlação dos sistemas fluviais quaternários é fundamental para um avanço significativo no entendimento na evolução geomorfológica e fitogeográfica da Amazônia Setentrional no Quartenário.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP/ proc. nº 2022/15495-4,) pelo financiamento das datações LOE e ao Núcleo de Pesquisas Energéticas da UFRR, pelo apoio aos trabalhos de campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cremon, É. H. *et al. 2016.* The role of tectonics and climate in the late Quaternary evolution of a northern Amazonian River. *Geomorphology, 271*, 22-39.

Hussein, M. A. *et. al*.(2014) Ichnofabrics of Eocene oil shales from central Jordan and their use for paleoenvironmental reconstructions. *GeoArabia*, *19*(1), 85-112.

IBGE.(2005) *Mapa Geomorfológico do Estado de Roraima* [Mapa]. IBGE, *Digeo.*

Mendes, T. A. *et.al.*. (2022). *Mapa geológico do Estado de Roraima (em revisão*). [MAPA] https://**rigeo**.**sgb**.gov.br/handle/doc/23283.

Menezes, F. T.; et.al..(2020) Sistemas Deposicionais Fluviais: Análise Estratigráfica das Unidades Sedimentares da Formação Boa Vista, Nordeste da Bacia do Tacutu, RR. *Rev. Geogr. Acadêmica,14*(1), 69-93.

Moraes, M A.S.; De Ros, L F. Infiltrated clays in fluvial Jurassic sandstones of Recôncavo Basin, northeastern Brazil. *Journal of Sedimentary Research, 60*(6), 809-819.

Oliveira, A. C. *et. al*.(2023). OSL and radiocarbon dating and evidence of palaeo-wildfires in Quaternary deposits of the Tacutu basin, northwestern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences, 127*, 104377.

Pupim, F. N.*et al*. Chronology of Terra Firme formation in Amazonian lowlands reveals a dynamic Quaternary landscape (2019). *Quaternary Science Reviews, 210*, 154-163.

Reis, N. J.*et al.*(2017) Stratigraphy of the Roraima Supergroup along the Brazil-Guyana border in the Guiana shield, Northern Amazonian Craton-results of the Brazil-Guyana Geology and Geodiversity Mapping Project. *Brazilian Journal of Geology, 47*(01), 43-57.

Tucker, M. E.(2014) *Rochas Sedimentares-4*. Bookman Editora.

Ventra, D.; Clarke, L. E. (2018) Geology and geomorphology of alluvial and fluvial fans: current progress and research perspectives. *Geological Society, London, Special Publications*, *440*(1), 1-21. https://doi.org/10.1144/SP440.16

Widdowson, M. (2009). Evolution of laterite in Goa. In: [s. a.] *Proceedings of natural resources of Goa: a geological perspectiv*e. Geological Society of Goa, Miramar Goa, p. 35-68

Zular, A *et. al.* (2019) The role of abrupt climate change in the formation of an open vegetation enclave in northern Amazonia during the late Quaternary, *Global and Planetary Change 172*(2019) 140–149.

MAPEAMENTO GEOLÓGICO DA FOLHA VILA APUÍ SB.21-Y-C-I, ESCALA 1:100.000, AMAZÔNIA CENTRAL: AVANÇOS NA LITOESTRATIGRAFIA DA BORDA NW DA BACIA DO ALTO TAPAJÓS

Sérgio Roberto Almada da Silva[1]; Ivan Pereira Marques[1]

[1]Serviço Geológico do Brasil - SGB

sergio.almada@sgb.gov.br; ivan.marques@sgb.gov.br

RESUMO

A bacia do Alto Tapajós ocupa partes dos estados do Amazonas, Pará e Mato Grosso, geologicamente inserida no centro-oeste do Cráton Amazonas, recobrindo partes do limite entre as províncias tectônicas Tapajós-Parima (2,10-1,87 Ga) e Rondônia-Juruena (1,81-1,52 Ga). A bacia foi depositada em não-conformidade sobre as vulcânicas Colíder, tendo sua evolução iniciado por um sistema de rifte/sinéclise interior durante o Neoproterozoico. A folha Vila Apuí busca o aprimoramento do conhecimento geológico na região da cidade de Apuí, nesta folha ocorre o contato Colíder-Beneficente, nela foi possível individualizar 25 unidades litoestratigráficas, abrangendo desde janela do embasamento pré-Juruena, evoluindo no Estateriano para um arco com magmatismo e plutonismo associados, seguidos por intensa atividade vulcano-sedimentar constituída por magmatismo bimodal e relacionada a abertura do rifte, posteriormente preenchido por sequência rifte com leques aluviais e ritmitos deltaicos. A sedimentação pós-rifte apresenta carbonatos estromatolíticos, recobertos por uma sequência transgressiva culminando na deposição de siltitos glauconíticos ainda no Estateriano. Após um longo hiato no Jurássico são depositados quartzo arenitos em canais fluviais, hoje localizados nos locais mais altos do relevo. A partir do Paleozoico formam-se extensos platôs lateríticos de importante expressão topográfica. Nesta folha ocorrem importantes recursos minerais como ouro nos derrames e tufos da Fm. Pedro sara, nas zonas de contato desta com as sedimentares e em aluviões, depósitos de manganês e alumínio em extensas camadas de lateritas, ETR em álcali-feldspato sienitos alcalinos da suíte igarapé das Lontras, fosfato nos siltitos e arenitos glauconíticos da Fm. Acari. O mapeamento permitiu o reposicionamento das unidades de base da bacia do Alto Tapajós no Estateriano, dentro do grupo Beneficente, tendo as Fm. Camaiú e Fm. Vila do Carmo representando a sequência rifte, sobrepostas pela Fm. Terra Preta e Fm. Acari depositadas em ciclo transgressivo.

PALAVRAS-CHAVE: Folha Vila Apuí SB.21-Y-C-I; Bacia Alto Tapajós; Mapeamento geológico.

1. INTRODUÇÃO

O Serviço Geológico do Brasil - SGB opera a cartografia geológica sistemática no Brasil, executando projetos de geologia e recursos minerais através do mapeamento geológico, editoração de mapas, relatórios técnicos e informes de recursos minerais, conhecimento essencial para as pesquisas de mapeamento geológico e exploração mineral. A folha Vila Apuí SB.21-Y-C-I escala 1:100.000 faz parte do Projeto Geologia e Potencial Mineral do Sudeste do Amazonas, vinculado a Ação Levantamentos Geológicos Básicos efetuados pelo SGB. A área de pesquisa localiza-se no sudeste do estado do Amazonas, município de Apuí, o principal acesso a partir de Manaus é através das rodovias BR-319 e BR-230 (figura 1a), os principais rios que atravessam a folha são os rios Juma e Acari, afluentes do rio Aripuanã. Encontra-se em uma região pouco conhecida geologicamente com potencial para vários recursos minerais (Au, Cu, P, ETR, Mn, Al). A região sudeste do Amazonas está localizada nos terrenos de idade estateriana a ectasiana do Cráton Amazonas, correlacionados com o terreno Juruena-Jamari (1.8 a 1.6 Ga) (figura 1b) pertencente a província Tapajós-Parima (2.10 e 1.87 Ga). A bacia do Alto Tapajós (Reis *et al*., 2007; Toczeck *et al*., 2019) é uma bacia do tipo rifte-sag paleoproterozoica com rochas vulcânicas e estratos vulcanossedimentares na base recoberta por depósitos marinhos no topo.

A Bacia do Alto Tapajós é uma das menos conhecidas e menos estudadas do Brasil, apesar de apresentar grande importância metalogenética com garimpos de ouro Fm. Vila do Carmo (Garimpo do Juma) e potencial para terras-raras nos sienitos Igarapé das Lontras, o posicionamento estratigráfico das sequencias de base da bacia tem variado com a evolução do conhecimento geológico, o Grupo Beneficente já foi posicionado no Ordoviciano (Almeida & Nogueira Filho, 1959), Paleoproterozoico (Leite & Saes 2003) Mesoproterozoico (Meloni *et al*., 2021). Reis, (2006) atribuiu os siltitos glauconíticos cinza maciços a Fm. Juma de idade siluriana e os calcarenitos estromatolíticos da Fm. Terra Preta foram posicionados acima desta unidade, no devoniano. Neste trabalho, novos dados de mapeamento permitiram propor uma atualização da coluna estratigráfica (figura 2c) com o reposicionamento do Grupo Beneficente no Paleoproterozoico, a inclusão dos siltitos na Fm. Acari em substituição ao termo Juma e seu reposicionamento no Paleoproterozoico, e o reposicionamento da Fm. Terra preta abaixo da Fm. Acari.

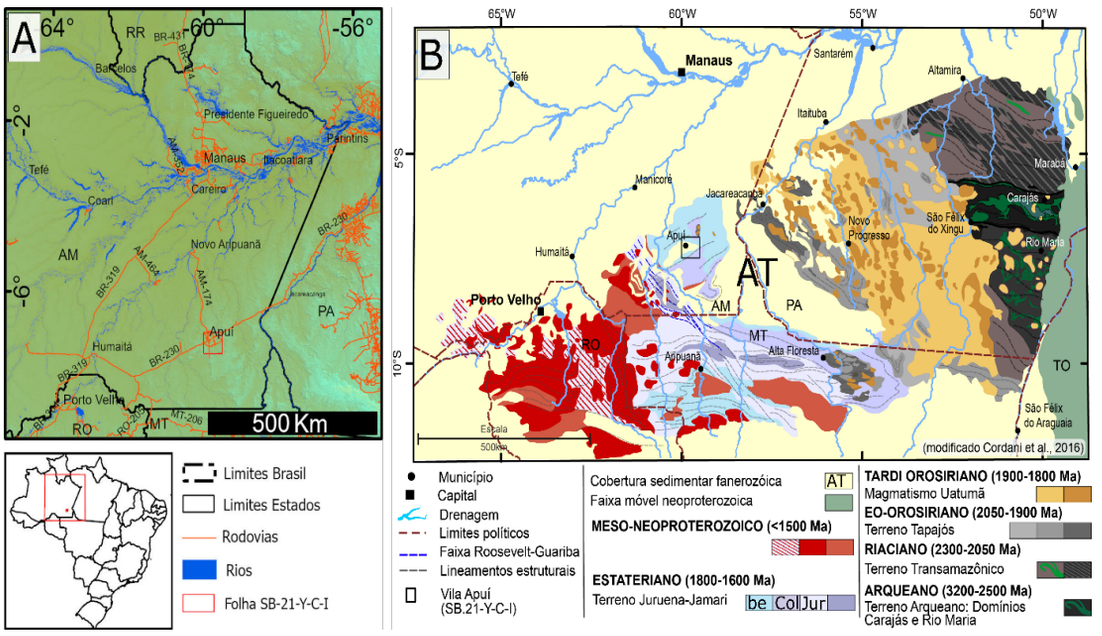


Figura 1: A) Localização e principais acessos a área da folha Vila Apuí SB.21-Y-C, no sudeste do estado do Amazonas, município de Apuí. B) Domínios geotectônicos do setor sul do Cráton Amazonas, com destaque para a folha Vila Apuí, localizada nos terrenos Paleoproterozoicos Estaterianos Juruena-Jamari, apresentando rochas da sequência vulcanossedimentar do Grupo Colíder (Col) e das fases deposicionais iniciais da bacia orogênica do Alto Tapajós (AT), tendo como representante o Grupo Beneficente (be).

MATERIAIS E MÉTODOS

Os trabalhos de mapeamento geológico do SGB seguem metodologia proposta por Medeiros & Rosa-Costa (2020) consistindo de duas fases.

A fase 1 apresenta as etapas: **Preparatória -** pesquisa bibliográfica, análise de dados históricos, tratamento do kit de mapeamento (fotografias aéreas, imagens de satélite e de sensores geofísicos - gamaespectrometria, magnetometria, gravimetria), base de dados vetoriais GeoSGB (afloramentos, geoquímica, recursos minerais, geocronologia), elaboração do mapa de serviço com interpretação dos dados representando o "estado da arte" do conhecimento geológico. **Planejamento de campo** - definidos os perfis a serem executados considerando geologia, acessos e logística. **Campo I** - campos terrestres e fluviais, realizando mapeamento da estratigrafia e estruturas, coletadas amostras para petrografia, geoquímica e geocronologia. **Laboratório** - realizadas as análises químicas e petrográficas preliminares de litotipos representando todas as unidades, visando estabelecer composição mineralógica e classificação das rochas. **Mapa geológico preliminar** - contemplando os dados de campo, análises petrográficas, dados analíticos, geocronológicos e a tabela SGB no formato shapefile com os dados de todos os afloramentos levantados.

A fase 2 foi constituída pelas etapas: **Planejamento** - identificados os problemas geológicos e definidas as estratégias para resolver estes problemas. **Campo II** - levantamento geológico e estudo detalhado dos aforamentos mais significativos. **Laboratório** - caracterização das unidades geológicas e solução de problemas, análises petrográficas para definir a composição, classificação, processos, paragêneses. **Produtos finais** - disponibilização de mapa geológico final, nota explicativa e banco de dados GeoSGB.

3. RESULTADOS

Como resultado da fase preparatória foi elaborado um mapa de serviço que condensava informações do IBGE e do Exército contendo rodovias, vicinais, acessos, geofísica, geoquímica, estrutural, dados da base histórica de afloramentos de campo do SGB perfazendo um total de 704 pontos de mapeamento (figura 2a), este mapa preliminar serviu como guia para as etapas de campo subsequentes. Durante as etapas de campo foram percorridas vicinais recém-construídas próximas a cidade de Apuí e um perfil fluvial ao longo do Rio Acari, sendo estabelecidas 399 estações de campo (figura 2a), coletadas 284 amostras de rocha, nas quais foram realizadas 10 análises geoquímicas com mais 30 amostras em processo de preparação e 120 análises petrográficas.

Atualmente o projeto Folha Vila Apuí encontra-se na fase de elaboração do mapa geológico final e da nota explicativa, como resultados preliminares mostra-se o mapa geológico (figura 2b) e a coluna estratigráfica (figura 2c). Foram individualizadas 25 unidades geológicas principalmente do Estateriano, uma pequena faixa de embasamento representado pelos filitos da Fm. Abacaxis é recoberta pelas vulcânicas Colíder, originadas por magmatismo ácido em ambiente de arco magmático com plutonismo alcalino associado da suíte Igarapé das Lontras, evento este relacionado a abertura do rift precursor da bacia do Alto Tapajós, encoberto por derrames ácidos depositando tufos e ignimbritos da Fm. Pedro Sara. Essas rochas foram afetadas por magmatismo máfico charnoquítico da suíte Vespor. Na fase de implantação do rifte ocorreu deposição das unidades atribuídas ao Grupo Beneficente: na fase pré-rifte houve sedimentação de arenitos e conglomerados vulcanogênicos da Fm. Camaiú depositados por fluxo de detritos em ambiente de canais fluviais foreshore e megaleques aluviais. A evolução do rifte e instalação de plataforma continental levou a deposição da Fm. Vila do Carmo constituída por litarenitos e ritmitos vulcanogênicos intercalados com tufos, vênulas de calcita, barita e Magnesita, depositada em ambientes de pró-delta a frente deltaica tendo como fontes as vulcânicas Colíder. A sequência pós-rifte inicia pelos carbonatos plataformais da Fm. Terra Preta consituída por calcarenitos e dolarenitos muito silicificados com estramatolitos, contendo barita, magnesita e sulfetos, encobertos por siltitos de ambiente marinho da Fm. Acari. Durante o Mesoproterozoico as rochas foram afetadas por magmatismo máfico com instalação de diques e soleiras da suíte Mata-Matá e pelo magmatismo alcalino da suíte Cinco Ilhas. Durante o Jurássico houve deposição de arenitos quartzosos fluviais da Fm. Rio das Pombas. No Cenozoico ocorreu a formação de extenso platô laterítico com deposição de duricrostas lateríticas, bauxíticas e manganesíferas, em um processo que se estendeu desde o Cretáceo até o Neógeno. Encobrindo as unidades correm terraços de paleoplanícies fluviais e aluviões atuais.

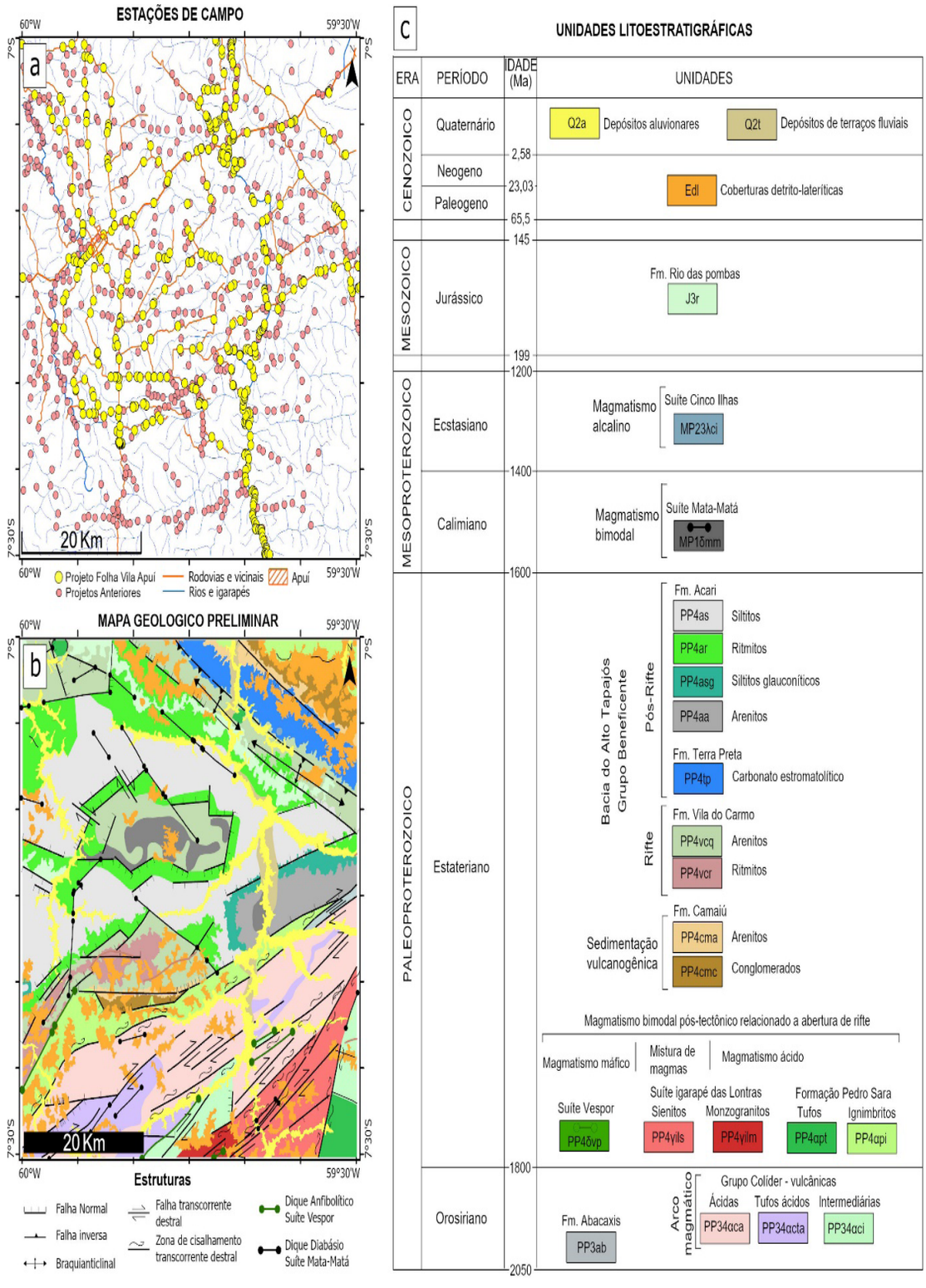


Figura 2: Exemplos de produtos gerados durante o projeto Folha Vila Apuí SB.21-Y-C-I escala 1:100.000. a) Mapa das estações de campo de novos afloramentos e de projetos antigos da CPRM/SGB, mostrando a densidade das estações de campo na região. b) Prévia do Mapa geológico onde vê-se as unidades litológicas e os principais lineamentos estruturais. c) Proposta de coluna estratigráfica e relações tectono- estratigráficas para a folha.

4. DISCUSSÕES

Alguns dos principais avanços na estratigrafia da região de Apuí que podem ser discutidos são: Identificação de uma faixa do embasamento, formada por sericita filitos crenulados intercalados com tufos da Fm. Abacaxis. Divisão do Grupo Colíder nas litofácies vulcânicas ácidas, intermediárias e tufos ácidos, coeval ao plutonismo ácido da Suíte Igarapé das Lontras, composta por sienitos ricos em álcali-feldspatos apresentando potencial para Terras Raras e que ainda não haviam sido mapeados. São recobertos pelos derrames da Fm. Pedro Sara na qual foram identificados vários garimpos de ouro. O Grupo Beneficente foi posicionado no Mesoproterozoico representando a fase rifte da bacia (Teixeira, 2001), incluindo depósitos vulcanogênicos da Fm. Camaiú e deltaicos da Fm. Vila do Carmo (Meloni *et al*., 2021). A evolução da plataforma permitiu a deposição dos carbonatos estromatolíticos silicificados da Fm. Terra Preta, recobertos pela Fm. Acari que agrupa as unidades pós-rifte em sequência transgressiva, com ritmitos deltaicos na base, arenitos finos, siltitos glauconíticos recobertos por siltito argiloso cinza pouco carbonático no topo. Novo episódio de sedimentação só veio a ocorrer no Jurássico, com deposição de arenitos da Fm. Rio das Pombas em ambiente fluvial, esta unidade foi mapeada preenchendo paleocanais fluviais atualmente nas cotas mais altas do relevo. Foram identificadas extensas camadas de duricrostas lateríticas com potencial para manganês e alumínio. Alguns aluviões foram especialmente mapeados por estarem mineralizados em ouro.

5. CONCLUSÕES

Propôs-se um novo posicionamento estratigráfico dos siltitos (Fm. Juma, Reis *et al*., 2007), antes posicionada no Paleozoico (Siluro-Devoniano) balizado por datações palinológicas realizadas por Cruz (2005), porém estas datações foram realizados em regiões muito distantes (igarapé Jatuarana e rio Sucunduri) em siltitos carbonosos, não presentes na folha Vila Apuí, não há discordâncias, fósseis ou evidências que essas rochas sejam paleozoicas, então optou-se por seguir o termo Fm. Acari em substituição a Fm. Juma, representando a fase pós-rifte, reposicionando esta unidade no Estateriano. Nesta unidade foram mapeados siltitos e arenitos glauconíticos com potencial para fosfato. Foi cartografado o Horst de Apuí, estrutura relacionada ao soerguimento de parte da bacia pela intrusão de diques e soleiras do diabásio Mata-Matá durante o Caliminiano, soerguendo os arenitos da Fm. Vila do Carmo em posição topográfica mais alta que os siltitos da Fm. Acari.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, F. F. M. & Nogueira Filho, J. V. 1959. Reconhecimento Geológico do Rio Aripuanã. *Boletim da Divisão de Geologia e Mineração 199*. Rio de Janeiro: DNPM, 1-49.

Cruz, N. M. C. (2005). Palinologia e Palinofácies do Furo TPN-5, no rio Sucunduri, Estado do Amazonas (AM), Brasil. *Congresso Brasileiro de Paleontologia 19*, CD-ROM.

Leite, J. A. D & Saes, G. S. 2003. Geocronologia Pb/Pb de zircões detríticos e análise estratigráfica das coberturas sedimentares Proterozóicas do sudoeste do Cráton Amazônico. *Revista do Instituto de Geociências da USP série científica 3*, São Paulo: USP, 113-127.

Medeiros, V. C., Rosa-Costa, L. T. (2020). *Guia de procedimentos técnicos: volume 1 – cartografia geológica*. Brasília: CPRM, 170 p.

Meloni R. E., Benevides Filho P. R. R., Simões M. S., Lisboa T. M., Ramos M. N., Oliveira A. C. S., Silva A.R.C., Queiroz, L.C. (2021). *Mapa Geológico ARIM Sudeste do Amazonas escala 1:500.000*. Manaus: SGB-CPRM.

Reis, N. J. 2006. Rochas Carbonáticas de Apuí– Amazonas. *Informe de Recursos Minerais 12*. Manaus: CPRM, 60 p.

Reis N. J., D'Antona R. J. G., Camargo M. A. (2007). Uma sucessão vulcanossedimentar como registro do embasamento da bacia paleozoica do Grupo Alto Tapajós na região dos rios Aripuanã, Juma, Camaiú e Sucunduri, porção sudeste do Amazonas. *Simpósio de Geologia da Amazônia, 10,* 308-311.

Santiago A. F., Santos J. O. S., Maia, R. G. N. (1980). Estratigrafia preliminar da bacia sedimentar do Alto Tapajós. *Anais Congresso Brasileiro de Geologia 31(2),* 786-797.

Teixeira L. B. (2001). Evidência geofísica de rifts precursores nas bacias paleozoicas do Amazonas, Paraná, Parecis, Parnaíba, Solimões e Alto Tapajós. In Melo J. H. G., Terra G. J. S. (eds.). Correlação de Sequências Paleozoicas Sul-americanas. *Ciência-Técnica-Petróleo Seção Exploração de Petróleo, 20*, 1-8.

Toczeck A., Schmitt R. S., Braga M. A. S., Miranda F. P. (2019). Tectonic evolution of the Paleozoic Alto Tapajós intracratonic basin - A case study of a fossil rift in the Amazon Craton. *Journal of South American Earth Sciences, 94*, 102225.

FIRST FOSSIL RECORD OF ARAUCARIACEAE CONES FROM THE SERRA DO TUCANO FORMATION (LOWER CRETACEOUS), TAKUTU BASIN, RORAIMA, BRAZIL

Juliane Marques-de-Souza[1];
Adriana de Souza Trajano[2];
Daisy Alves Oliva[3];
Elizete Celestino Holanda[4]

[1]Universidade Estadual de Roraima - UERR;
[2]Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS;
[3]Laboratório de Turismo, Ecologia e Meio Ambiente- LABTEMA;
[4]Universidade Federal de Roraima-UFRR

juliane.marques.souza@uerr.edu.br; adriana.trajano.rr@gmail.com;
daisy_oliva@hotmail.com; elizete.holanda@ufrr.br

ABSTRACT

The Serra do Tucano Formation, located in the Takutu Basin (Roraima, Northern Brazil), is a Lower Cretaceous unit with scarce but significant paleobotanical records. The material described in this study is housed in the Paleobotanical Collection of the Federal University of Roraima and originates from field collections conducted at the Murici II outcrop. These efforts led to the discovery of the first fossil cones attributable to the family Araucariaceae in this formation. The specimens are preserved as impression with some identifiable morphological features, including ovuliferous scales and cone structures consistent with extant and extinct Araucariaceae. Although taxonomic analyses are still at an early stage, the general architecture and scale arrangement strongly suggest affinity with Mesozoic members of this conifer group. This finding represents an important addition to the paleofloristic inventory of the Takutu Basin and contributes to the understanding of Cretaceous coniferous assemblages in northern South America. The discovery expands the geographic range of Araucariaceae in Brazil, where macrofossil data from northern basins remain limited.

KEY-WORDS: gymnosperms; paleobotany; paleodiversity.

INTRODUCTION

The Takutu Basin is in northeastern Roraima, northern Brazil, and Rupununi region, southwest of Guyana, extending in a NE-SW direction. It is a rift-type basin formed during the breakup of Gondwana, and its tectonic evolution is associated with the opening of the Central Atlantic Ocean, with major subsidence and sedimentation occurring from the Late Jurassic to the Early Cretaceous (Eiras and Kinoshita, 1988; 1990; Eiras *et al*. 1994; Silva *et al*., 2003; Vaz *et al*., 2007).

The Serra do Tucano Formation occurs only in the Brazilian sector of the Takutu Basin, forming low hills (up to 200 m high) that contrast with the surrounding flat gra-

ben topography (Eiras and Kinoshita, 1990). It consists of brown, pebbly sandstones at the base grading upward into cross-bedded, kaolinitic sandstones with minor siltstone layers (Vaz *et al*., 2007). This unit overlies Takutu Formation redbeds and is capped by Cenozoic Boa Vista Formation sediments. Recent paleobotanical findings (*Cupressinocladus*) support its Barremian-Aptian age (Cruz, 2019).

Palaeobotanical records in the Takutu Basin (and Serra do Tucano Formation) are still in their early stages. Over the past decade, studies have sought to define the taxonomic identity of plant remains to provide insights into paleoenvironmental and paleoclimatic interpretations of the Lower Cretaceous in the region (Table 1). These studies are important because the Takutu Basin holds key fossil assemblages that can contribute to a broader

Taxon	Preserved Part	Reference
Paraephedra amazonensis	Uniovulate cones, decussate bracts and peduncle	Trajano *et al.* (2023)
Paraephedra sp. 1	Uniovulate cones with fused bracts	
Paraephedra sp. 2	Uniovulate cones, decussate bracts and peduncle	
Cladophlebis; Sphenopteris	Fern fronds	Cruz (2019)
Desmiophyllum gracile	Impressions of lanceolate leaves	
Brachyphyllum; Cupressinocladus	Scale-like leafy branches	
Division Cycadophyta	Isolated pinnae	
Order? Coniferales	Wood	Santos (2015)

Table 1 - Taxa of the paleoflora from the Serra do Tucano Formation (Lower Cretaceous, Tacutu Basin)understanding of early angiosperm diversification, floral responses to global climate changes, biogeographic connections between northern South America and other Cretaceous Brazilian basins, as well as global patterns of conifer distribution. Given the scarcity of well-preserved Lower Cretaceous plant fossils in equatorial regions, research in this basin offers a unique opportunity to fill critical gaps in the palaeobotanical record, enhancing our knowledge of Cretaceous ecosystems and their evolution on a global scale.

MATERIAL AND METHODS

Fossil Material

The studied specimens (n=2) include a cone and an ovuliferous scale preserved as impressions in the fine-grained, planar-laminated sandstones of the Murici II outcrop. These fossils were photographed with These fossils were photographed with a Nikon reflex camera and a macro lens from the Entomology Laboratory at the State University of Roraima and are permanently deposited in the Paleobotanical Collection of the Laboratório de Paleontologia da Amazonia (LaPA), at the Geosciences Institute of the Federal University of Roraima, where they are identified by the acronym IGEO-PB.

2.2 Murici II outcrop

Located in Bonfim (Roraima State), the Murici II outcrop is accessible via BR-401 highway and Tucano Bom 170 road. This 4.5 m-thick section, first described

by Cruz (2019), consists predominantly of reddish, fine-to-coarse sandstones with cm-thick intercalations of fine sandstones and siltstones displaying planar bedding. Kaolinitic weathering gives some beds a mottled appearance.

The fossiliferous layer near the base comprises reddish-brown, very fine sandstone with wave ripples, planar laminations, and mm-thick accumulations of fragmented plant fossils (leaves, stems, seeds). Wankler *et al*. (2019) attribute this lithofacies to low-energy, waning-flow deposition. The outcrop is capped by an erosive, reversely graded conglomerate containing reworked fragments from the fossiliferous unit.

Depositional interpretations suggest a continental meandering fluvial system (Reis *et al*., 1994) with: Main channel accretionary bars (Wankler *et al*., 2019); Associated overbank deposits and; Arid-climate floodplain sedimentation. Cruz (2019) corroborates this model, emphasizing facies architecture consistent with a sandy meandering river.

RESULTS

IGEO-PB 596AB - Ovuliferous scale with an overall obovate to cuneate shape (Figure 1A). The distal region is expanded and spatulate, while the basal portion narrows progressively, suggesting axial attachment to the cone. The specimen measures approximately 15 mm in length and 5 mm in width at the medial portion. On the reverse side of the specimen (Figure 1B), a centrally positioned, ellipsoidal structure is visible. This feature with well-defined boundaries, is interpreted as a seed partially fused to the scale. Such fusion is a diagnostic trait in ovuliferous scales of the Araucariaceae, particularly in Mesozoic representatives.

IGEO-PB 547B - Fossil specimen interpreted as a small cone preserved in longitudinal section, measuring approximately 2 mm along its main axis. The structure presents a compact, subcircular outline with partially preserved ovuliferous scales arranged in a radial to helical pattern around a possible central axis. The scales exhibit curved, laminar extensions with differential coloration, suggesting vascular or reproductive tissue.

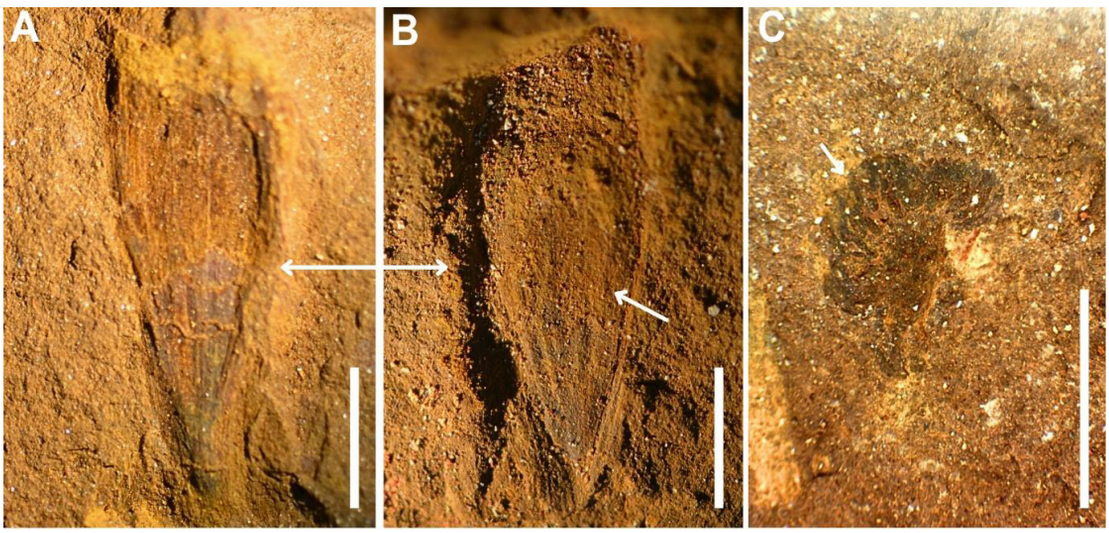


Figure 1 - A, B) part and counterpart of the ovuliferous scale. A central ellipsoid body is present in B (arrow - interpreted as a single seed) – IGEO-PB 596AB; C) longitudinal sectioned preserved cone 547B, ovuliferous scale (arrow). Scale bars: A and B: 5mm; C: 2mm.

DISCUSSION

In IGEO-PB 596AB the seed appears embedded near the median region of the scale, consistent with the reproductive morphology observed in extant and fossil members of Araucariaceae. This observation reinforces the interpretation of the specimen as a fertile ovuliferous scale assigned to this family.

In IGEO-PB 547B, despite partial preservation, the organization and morphology are consistent with reproductive structures of Araucariaceae, particularly with immature or diminutive cones known from Mesozoic deposits.

The discovery of putative Araucariaceae cones in the Serra do Tucano Formation marks a significant addition to the paleobotanical record of the Tacutu Basin. While taxonomic confirmation awaits further preparation (e.g., MEV analysis) and comparative studies, the morphological features of these structures align with those of araucariacean reproductive organs. This finding expands the known diversity of conifers in the unit, which already include *Brachyphyllum* and *Cupressinocladus*, as well as undetermined coniferous wood (Order? Coniferales).

The Murici II outcrop, the source of these fossils, is characterized by fine-grained, reddish sandstones with wave ripples and planar laminations, indicative of low-energy, waning-flow deposition in a fluvial floodplain setting (Wankler *et al*., 2019). The plant fossils—comprising small, disarticulated fragments of leaves, stems, seeds, and now possible araucariacean cones—suggest limited transport but significant taphonomic degradation, likely due to desiccation, abrasion, or intermittent burial in an arid to semi-arid environment.

The co-occurrence of these conifer remains with other xerophytic-adapted taxa (*Paraephedra* with its uniovulate cones, *Desmiophyllum* with narrow leaves) and ferns (*Cladophlebis, Sphenopteris*) supports a mosaic vegetation structure. This assemblage likely thrived in a seasonally dry, fluvial-distal floodplain, where water availability was episodic. The presence of Araucariaceae, typically associated with well-drained substrates, further reinforces the interpretation of a water-stressed ecosystem, consistent with previous sedimentological and paleoclimatic reconstructions (Cruz, 2019; Reis *et al*., 1994).

CONCLUSIONS

The fragmented and diminutive nature of the putative Araucariaceae cones from the Serra do Tucano Formation underscores the challenges of interpreting poorly preserved plant material. While their general morphology suggests a possible affinity with this conifer family, definitive identification requires detailed examination of key diagnostic features, such as: cone scale arrangement (helical vs. decussate); ovule/seed attachment (e.g., presence of a ligule or fused bracts); cuticular micromorphology (e.g., stomatal distribution and subsidiary cell patterning), and; internal anatomy (e.g., vascularization of cone scales) (Stokey, 1994; Kunzmann, 2007).

Given the current limitations of the material—small size, fragmentation, and potential weathering artifacts—advanced techniques like scanning electron microscopy (SEM) and micro-CT imaging are essential to resolve these characteristics. Comparative studies with well-preserved Araucariaceae fossils from other Lower Cretaceous basins will further clarify their taxonomic placement.

ACKNOWLEDGMENTS

We would like to express our sincere gratitude to Dr. Rafael Boldrini and his laboratory team for their invaluable support in obtaining high-quality photographic documentation of the fossil material. This article used ChatGPT (OpenAI) to assist with English translation and language correction. The authors critically reviewed and validated all AI-generated content.

REFERENCES

Cruz, C. S. (2019). *Interpretações paleoambientais sobre a macroflora cretácea da formação serra do Tucano, bacia do Tacutu - RR***.** 2019. 109 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Roraima, Boa Vista.

Eiras, J. F., Kinoshita, E. (1988) Evidências de movimento transcorrentes na Bacia do Tacutu. In: Seminário sobre rifte intracontinentais 1, Rio de Janeiro, *Anais Seminário sobre rifte intracontinental*. Rio de Janeiro: Petrobrás/ DEPLEX, p.2279-2291.

Eiras, J. F., Kinoshita, E. M. (1990). Geologia e perspectivas petrolíferas da Bacia do Tacutu. In: Origem e Evolução das Bacias Sedimentares, 1., Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: PETROBRAS, CENSUD. p. 197-220.

Eiras, J. F., Kinoshita, E. M., e Feijó, F. J. (1994). Bacia do Tacutu. *Boletim de Geociências da Petrobrás, 8*, 83-89.

Kunzmann, L. (2007) Araucariaceae (Pinopsida): Aspects in palaeobiogeography and palaeobiodiversity in the Mesozoic. *Zoologischer Anzeiger*, 246: 257–277

Reis, N. J., Nunes, N.S. D. V., e Pinheiro, S. D. S. (1994). A cobertura mesozoica do hemigráben Tacutu- Estado de Roraima: Uma abordagem ao paleoambiente da Formação Serra do Tucano. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 38, 1994. *Resumos.* Balneário Camboriú: UFSC, p. 234-235.

Santos, A. C. S. (2015) *Interpretações Paleoambientais e Paleoecológicas para o Cretáceo da Bacia do Tacutu com Base em Lenhos.* Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Roraima, Boa Vista.

Schoemaker, R. E. (1982). Fossil leaves from the lower Cretaceous Ciano formation, southwestern Ecuador. *Palaeontographica Abteilung B - Band 180***,** 120-138.

Stokey, R. A. (1994) Mesozoic Araucariaceae: Morphology and Systematic Relationships. *J. Plant. Res*. 107: 493-502.

Trajano, A. S., Marques-De-Souza, J., Iannuzzi, R., e Holanda, E. C. (2023). Ephedra-like Cones from Serra do Tucano formation (Lower Cretaceous), Takutu Basin, Roraima. *Journal of South American Earth Sciences, 132,* 104659.

Vaz, P. T., Wanderley Filho, J. R., e Bueno, G. V. (2007). Bacia do Tacutu. *Boletim de Geociências da Petrobrás, 15,* 289-297.

Wankler, F. L., Chaves, G. B., e Menezes, M. F. (2019). Arquitetura dos Depósitos Fluviais Meandrantes da Formação Serra do Tucano, Bonfim - RR. *In:* XVI SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 2019. *Resumos expandidos,* Manaus, CCPA, 4 p.

DEPÓSITOS SEDIMENTARES QUATERNÁRIOS DA REGIÃO DE CONFLUÊNCIA DOS RIOS NEGRO, BRANCO E JAUAPERI, AMAZÔNIA OCIDENTAL

Carmax Oliveira do Carmo Júnior[1]; Emílio Alberto Amaral Soares[1,2]; Liliane Cristina Lima Araujo[2]; Sonia Hatsue Tatumi[3]; Márcio Yee[3]; Ricieri Raimundo Pantoja Tarabossi[1]; Wemerson Carlos Santos Aráujo[2]; Angislaine Freitas Costa[4]; Rosemary Rocha da Silveira[1];

[1]Universidade Federal do Amazonas - UFAM; [2]Programa de Pós-Graduação em Geociências - PPGGEO/UFAM; [3]Universidade Federal de São Paulo - UNIFESP, [4]Universidade de São Paulo - USP

carmax.junior@ufam.edu.br; easoares@ufam.edu.br; lilianegeo7@hotmail.com; sonia.tatumi@unifesp.br; marcio.yee@unifesp.br; ricieri.ufam@gmail.com; weme9carllos@gmail.com; angislainefc@gmail.com; *rrsilveira@ufam.edu.b*

RESUMO

O Rio Negro possui em seu curso médio o Arquipélago de Mariuá, considerado o maior do planeta, cuja sedimentação quaternária é representada principalmente por terraços fluviais que guardam registros dos principais processos sedimentares, climáticos e tectônicos que influenciaram a história de evolução deste rio nos últimos milhares de anos. Na porção oeste deste arquipélago, particularmente na zona de confluência dos rios Negro, Branco e Jauaperi, aflora expressiva sedimentação quaternária, ainda pouco estudada em função do isolamento geográfico e densa cobertura vegetal. Nesta região, dados de mapeamento geológico efetuado em 2024, permitiram identificar 02 unidades de terraços fluviais (Superior e Inferior) que acompanham a rede de drenagem, e estão sobrepostos ao substrato sedimentar representado pelas formações Içá (Plioceno-Pleistoceno) e Prosperança (Proterozoico Inferior) e de rochas cristalinas do Complexo Jauaperi (Paleoproterozoico). O terraço superior ocorre como faixas alongadas e descontínuas, apresenta coloração avermelhada e feições de pedogênese, enquanto o Inferior ocorre nas proximidades dos leitos atuais, apresenta coloração acinzentada, pedogênese incipiente, sendo inundado periodicamente. Os terraços exibem morfologia deposicional de barras de acresção e feições de paleocanais, além da estratificação heterolítica inclinada, que são indicativos do estilo fluvial meandrante desses rios durante a deposição.

PALAVRAS-CHAVE: Amazônia Ocidental; Bacia do Médio Rio Negro; Terraço Fluvial; Quaternário.

INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como foco principal o estudo sedimentológico e estratigráfico dos depósitos sedimentares quaternários aflorantes na região de confluência dos rios Negro, Branco e Jauaperi, município de Barcelos (AM). O embasamento dessa região é composto por rochas sedimentares das formações Içá (Plioceno-Pleistoceno) e

Prosperança (Proterozoico Inferior) e rochas ígneas-metamórficas do Complexo Jauaperi (Paleoproterozoico). A sedimentação quaternária nesta região é bem exposta nas áreas marginais e canais dos rios, sendo representada principalmente por duas unidades de terraços fluviais, denominados informalmente de Superior e Inferior, que ocorrem como faixas alongadas e paralelas que se estendem por dezenas de quilômetros.

No arcabouço geológico regional, as unidades de terraços fluviais foram englobadas de forma generalizada nos depósitos quaternários do Mapa de Geologia e Recursos Minerais do Estado do Amazonas (CPRM, 2006) e do delta do Rio Branco (Latrubesse & Franzinelli, 2005), além das unidades Q2 (27.000 anos AP) e Q4 (280 a 130 anos AP) definidas por Rossetti *et al.* (2005) na região. Nesse contexto, a falta de padronização das nomenclaturas litoestratigráficas utilizadas tem dificultado a correlação das unidades sedimentares quaternárias da Amazônia Ocidental com outras porções da Bacia do Amazonas e adjacências.

O terraço Superior ocorre como faixas descontínuas, mais afastadas dos canais atuais, apresenta coloração avermelhada e desenvolvimento de solo no topo, enquanto o Inferior ocorre continuamente nas proximidades dos leitos atuais dos rios, apresenta coloração acinzentada e pedogênese incipiente. Dados da morfologia deposicional acrescionária (barras heterolíticas) e feições de paleocanais presentes nas unidades de terraços, permitem preliminarmente associar a sedimentação ao estilo fluvial meandrante.

Como parte integrante do Projeto FAPESP Nº 2022/15495-4, dados geocronológicos estão sendo obtidos para os terraços dos rios Negro, Branco e Jauaperi. Idades preliminares permitiram posicionar a sedimentação do terraço Inferior no Holoceno, corroborando no entendimento da última fase de sedimentação e dinâmica fluvial da Bacia do Médio Rio Negro nos últimos milhares de anos, conforme enfatizado no estudo de Tatumi *et al*. (2023). Do mesmo modo, idades do terraço Superior precisam ser obtidas na tentativa de definir o início da implantação desses rios nesta porção da Amazônia.

MATERIAIS E MÉTODOS

As unidades geológicas aflorantes foram individualizadas por meio das relações estratigráficas, geomorfológicas, litológicas e de intemperismo observadas no levantamento de campo (2024), bem como por meio da análise do modelo digital de elevação fornecido pelo Shuttle Radar Topography Mission – SRTM, que possibilitaram a confecção do mapa geológico preliminar da área (Figura 1). Imagens complementares foram obtidas por drone (modelo DJI Mini 3).

Os depósitos quaternários foram estudados com base na descrição de afloramentos, integrados a seções panorâmicas e colunares, seguindo as metodologias de Suguio (1973) e Wisevic (1991). Amostras de camadas arenosas dos terraços fluviais foram coletadas em tubos de alumínio (30 cm de comprimento e 5 m de diâmetro) e analisadas pelo método *Optically Stimulated Luminescence* (OSL) no Laboratório de Datação e Dosimetria da Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP) sob a coordenação da Prof. Dra. Sonia Hatsue Tatumi.

RESULTADOS

No mapa geológico da área de estudo foram definidas unidades do embasamento regional e sedimentação quaternária, diferenciadas principalmente quanto aos aspectos geomorfológicos, posição altimétrica e características sedimentológicas (Figura 1). O embasamento aflorante é representado por rochas ígneas-metamórficas do Complexo Jauaperi (Paleoproterozoico), além de rochas sedimentares das Formações Prosperança (Proterozoico Inferior) e Içá (Plioceno-Pleistoceno). O Complexo Jauaperi ocorre na porção leste da área, sendo constituído de metagranitos, ortognaisses e migmatitos (CPRM, 2006; Gomes, 2010), apresenta as maiores cotas da região (entre 30 e 130 m), relevo de morros, com padrão de drenagem dendrítica recoberto por densa cobertura vegetal.

A Formação Prosperança ocorre na porção sul-Sudeste da área em cotas que variam entre 35 e 75 m. Exibe relevo plano, sendo recoberta por vegetação de grande porte e constituída de arenitos, pelitos e conglomerados (CPRM, 2006).

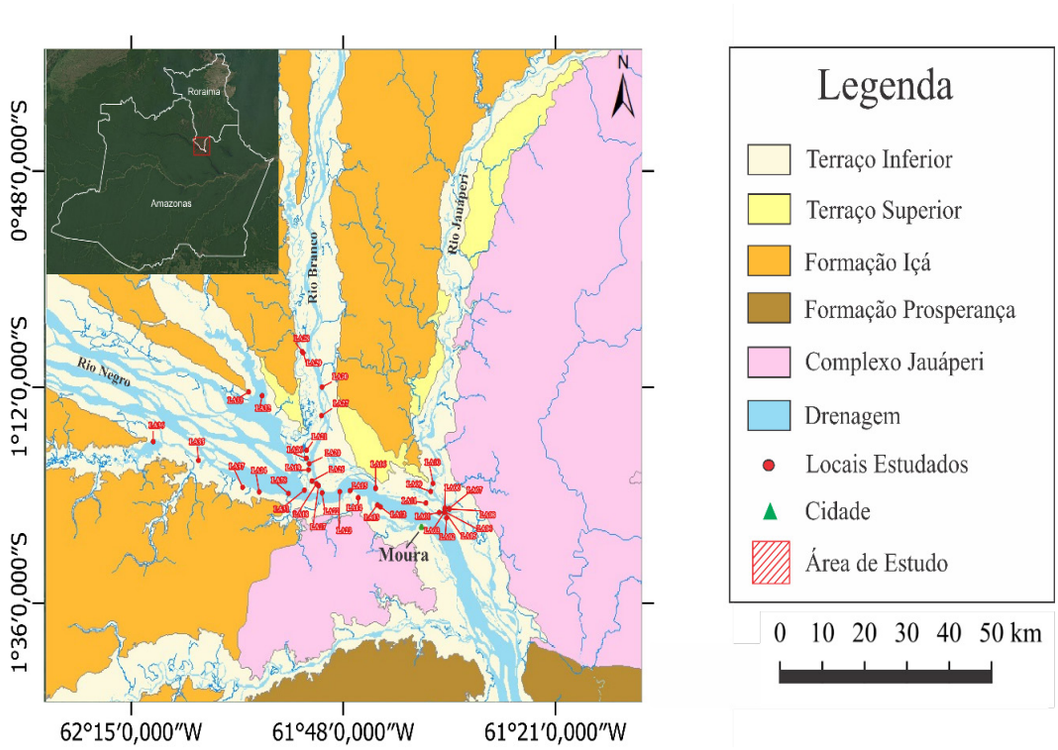


Figura 1 – Mapa geológico da área de confluência dos rios Negro, Branco e Jauaperi com a delimitação das unidades sedimentares e ígneas-metamórficas aflorantes no médio curso do Rio Negro (Amazônia Ocidental).

A Formação Içá ocorre na porção leste da área, disposta em cotas que variam entre 30 e 65 m. Exibe relevo plano, padrão de drenagem predominantemente sub-dendrítico, sendo recoberta por vegetação de grande porte, constituída de arenitos e folhelhos (fossilíferos).

Os depósitos quaternários são representados principalmente por terraços fluviais, denominados informalmente de Superior e Inferior, que ocorrem em faixas paralelas aos atuais canais dos rios Negro, Branco e Jauaperi. O terraço Superior é menos expressivo, ocorre mais afastado dos canais principais, como faixas descontínuas com dezenas de quilômetros de extensão. Situa-se em cotas de 20 a 63 metros, não sendo atingido pelas enchentes anuais, representando a planície aluvial inativa. Apresenta relevo dissecado, de cristas e depressões (Figura 2A), com padrão de drenagem sub-dendrítico a paralelo, com lagos irregulares a alongados. Exibe na superfície feições da morfologia deposicional, com tênues linhas de acresção de tamanhos variados, sendo recoberto por vegetação de médio porte.

O terraço inferior ocorre como faixas contínuas e alongadas, que acompanham os canais principais, sendo composto por ilhas e barras laterais. Situa-se em cotas de 20 a 60 metros, exibe relevo relativamente plano, com suaves cristas e depressões e são inundados periodicamente pelas enchentes sazonais, representando a planície aluvial ativa. Na superfície exibem feições morfológicas deposicionais de barras de acreção lateral, com lagos de vários tamanhos e formas, sendo recoberto por vegetação de pequeno e médio porte. Na superfície exibe feições de paleocanais (extensão quilométrica) preenchidos por areia (Figura 2B).

Os depósitos do terraço Superior apresentam coloração rosada a avermelhada e feições de pedogênese acentuada, com desenvolvimento de solo no topo, enquanto os depósitos do terraço Inferior exibem coloração acinzentada, com pedogênese incipiente. Internamente, essas unidades são constituídas principalmente de areias e lamas (silte e argila), em diferentes proporções, que compõem os pares de estratificação heterolítica inclinada de barras em pontal e depósitos de inundação (Figura 2C, D).

Dados geocronológicos (OSL) para as unidades de terraços Superior e Inferior dos rios Negro, Branco e Jauaperi estão em fase

de elaboração. Dados preliminares disponíveis para o terraço Inferior desses rios permitiram definir que a sedimentação foi concomitante e ocorreu no Holoceno.

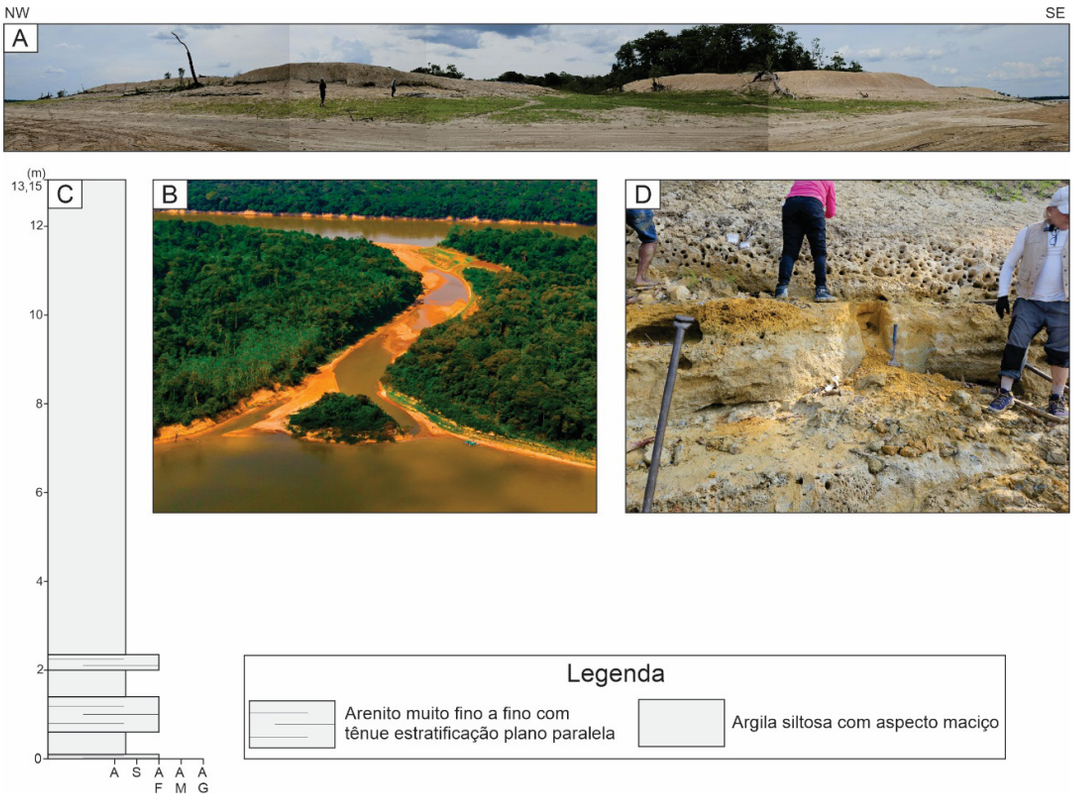


Figura 2 - A) Relevo de cristas a depressões da unidade de terraço superior do Rio Negro. B) Sessão colunar mostrando as intercalações de areia e lama da unidade de terraço. C) Paleocanal preenchido por areia no terraço inferior do rio Jauaperi. D) Depósitos de barra heterolítica no terraço superior do Rio Negro, composto principalmente por lama (silte e argila) com intercalações (centimétricas) de camadas de areia.

DISCUSSÕES

O arcabouço geológico da região de confluência dos rios Negro, Branco e Solimões, seguiu a contextualização estratigráfica proposta nos mapas da CPRM (2006) e Tarabossi *et al*. (2022). Entretanto, existem questionamentos quanto a delimitação em área da Formação Içá, já que ela representa a cobertura sedimentar pliocena-pleistocena da Bacia do Solimões, mas tem sido definida também na porção central da Bacia do Amazonas, onde é associada aos terraços quaternários pleistocenos dos rios Negro e Solimões, definidos nos estudos de Soares *et al*. (2010), Gonçalves Júnior *et al.* (2016) e Passos *et al. (*2020).

Dados geocronológicos (*OSL*) preliminares obtidos para o terraço Inferior da região do Médio Rio Negro, permite sua correlação com terraços holocenos do baixo curso desse rio, particularmente do Arquipélago de Anavilhanas, estudados por Barbosa (2015). Entretanto, somente com futuros dados de idade do terraço Superior, a dinâmica fluvial quaternária do Rio Negro poderá ser mais bem definida.

CONCLUSÕES

O embasamento geológico da região de confluência dos rios Negro, Branco e Jauaperi, é composto por 03 unidades geológicas distintas, sendo elas: Complexo Jauaperi (Paleoproterozóico), Formação Prosperança (Proterozoico Inferior) e Formação

Içá (Plioceno-Pleistoceno Inferior). Nesta região, o registro fluvial Quaternário pode ser analisado por meio dos terraços fluviais (Superior e Inferior), que se estendem por dezenas de quilômetros. A presença da morfologia deposicional de barras de acresção e a estratificação heterolítica inclinada nas unidades de terraços, é indicativa do estilo fluvial meandrante que predominou nos rios Negro, Branco e Jauaperi na época de sua implantação. Esta interpretação paleoambiental é reforçada pela presença de paleocanais, que evidenciam períodos de avulsão e retomada da sedimentação, comuns nesse estilo fluvial.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem o apoio financeiro do Projeto FAPESP (Nº 2022/15495-4) para o trabalho de campo e análises geocronológicas prévias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barbosa, R. O. (2015). *Estudos sedimentológicos e estratigráficos dos depósitos sedimentares quaternários do Arquipélago de Anavilhanas, município de Novo Airão (Amazônia Central)* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Amazonas]. TEDE-UFAM. https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/5016

Gomes, N. R. (2010). *Caracterização geoquímica do Complexo Jauaperi na região de Moura* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Amazonas]. Repositório Institucional da UFAM. http://riu.ufam.edu.br/handle/prefix/1742

Gonçalves Júnior, E. S., Soares, E. A. A., Tatumi, S. H., Yee, M., & Mittani, J. C. R. (2016). Pleistocene-holocene sedimentation of Solimões-amazon fluvial system between the tributaries Negro and Madeira, central Amazon. *Brazilian Journal of Geology, 46*(2), 167–180. https://doi.org/10.1590/2317-4889201620160009

Latrubesse, E. M., & Franzinelli, E. (2005). The late Quaternary evolution of the Negro River, Amazon, Brazil: Implications for island and floodplain formation in large anabranching tropical systems. *Geomorphology, 70*(3-4), 372–397. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.02.014

Passos, M. S., Soares, E. A. A., Tatumi, S. H., Yee, M., Mittani, J. C. R., Hayakawa, E. H., & Salazar, C. A. (2020). Pleistocene-Holocene sedimentary deposits of the Solimões-Amazon fluvial system, Western Amazon. *Journal of South American Earth Sciences, 98*, Article 102455. https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.102455

Rossetti, D. F., Todelo, P. M., & Góes, A. M. (2005). New geological framework for Western Amazonia (Brazil) and implications for biogeography and evolution. *Quaternary Research, 63*(1), 78-89. https://doi.org/10.1016/j.yqres.2004.10.001

Serviço Geológico do Brasil (CPRM). (2006). *Geologia e recursos minerais do Estado do Amazonas*. https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/19088

Soares, E. A. A., Tatumi, S. H., & Riccomini, C. (2010). OSL age determinations of Pleistocene fluvial deposits in central Amazonia. *Anais da Academia Brasileira de Ciências, 82*(3), 615–621. https://doi.org/10.1590/S0001-37652010000300017

Suguio, K. (1973). *Introdução à sedimentologia*. Edgard Blücher.

Tarabossi, R. R. P., Soares, E. A. A., & Souza, J. J. (2022, Outubro 18-21). *Arcabouço geológico do arquipélago fluvial de Mariuá no médio curso do Rio Negro, Amazônia Ocidental* [Apresentação de trabalho]. IX Semana de Ciência e Tecnologia do ICE, Manaus, AM, Brasil.

Tatumi, S. H., Yee, M., Soares, E. A. A., Souza, J. J. S., Grudzin, E. D. O., Munita, C. S., Ribeiro, R. B., Soares, A. F., Silva, N. A., Fernandes, C. P., Mathias, M. T., Rocca, R. R., Nagabhushana, K. R., Lokesha, H. S., Rocha, M. S., Lopez, L. A. C., Venâncio, D. W. P., & Costa, S. S. (2023). Radiometric and stimulated luminescent characterization of Amazonian sediments from the Middle Rio Negro, Western Amazon. *Radiation Physics and Chemistry, 210*, 110996. https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2023.111117

Wisevic, M. (1991). Photomosaics of outcrops: Useful photographic techniques. In A. D. Miall & N. Tyler (Eds.), *Concepts in sedimentology and paleontology: Vol. 3. The three-dimensional facies architecture of terrigenous clastic sediments and its implications for hydrocarbon discovery and recovery* (pp. 22–24). Society for Sedimentary Geology.

ARCABOUÇO CRONOESTRATIGRÁFICO E LATERITIZAÇÃO: CASO DE FERRICRETES NA CIDADE DE BOA VISTA, RORAIMA

Jackson D. S. da Paz[1]; Victor Bruno Alem[2]; Lena Simone Barata Souza[1]

[2]Tacutu Servicos Ltda

[1]Universidade Federal de Roraima - UFRR

jackson.paz@ufrr.br e lena.barata@ufrr.br
victorbrunnoalem@gmail.com

RESUMO

Este estudo investiga o processo de lateritização na região de Boa Vista (RR), destacando as especificidades locais decorrentes da interação entre os basaltos toleíticos da Formação Apoteri e o clima tropical úmido, caracterizado por marcada sazonalidade e relevo acidentado. Foram mapeados afloramentos da Formação Apoteri e seus produtos de alteração, analisando-se a organização vertical e horizontal dos perfis lateríticos. Três unidades principais foram identificadas: (1) a rocha sã da Formação Apoteri, com textura intergranular e porfirítica, amígdalas mineralizadas e estruturas como disjunção colunar; (2) o perfil de alteração laterítica (PAL), subdividido em saprólito grosso (que preserva texturas primárias e forma corestones) e saprólito fino (terroso, sem estruturas reliquiares, rico em caulinita, goethita e hematita); e (3) o ferricrete, uma crosta ferruginosa endurecida formada por cimentação química tardia, eventualmente posterior ao desenvolvimento do PAL, distinguindo-se como um produto subaéreo com adição de massa iônica e inclusão de materiais detríticos. Observa-se que o processo de lateritização é espacial e temporalmente descontínuo, resultando em perfis complexos e heterogêneos, com crostas in situ e ferricretes em diferentes estágios de desenvolvimento. Conclui-se que a evolução desses perfis em Boa Vista apresenta características distintas em relação a outras regiões amazônicas, demandando estudos mais detalhados para sua melhor compreensão.

PALAVRAS-CHAVE: Lateritização; processos supergênicos; ferricrete; cronoestratigrafia.

INTRODUÇÃO

Investiga-se o perfil de alteração laterítica da Formação Apoteri em diversos locais da cidade de Boa Vista (RR), visando compreender as relações espaciais e a evolução dos depósitos residuais e detríticos na bacia do Tacutu durante o Quaternário, focando na lateritização e seus produtos.

A lateritização é um processo geológico que expressa a interação entre a paisagem continental e o clima tropical úmido. Nesse clima, a temperatura e o índice de pluviosidade são, via de regra, elevados ao longo do ano, o que favorece o intemperismo químico associado à intensa lixiviação de elementos solúveis do solo, como ocorre na Amazônia em geral (Costa, 1991). Roraima, por outro lado, apresenta particularidades que interferem no processo de lateritização, tornando a ocorrência de perfis lateríticos mais dependente da posição geomorfológica local e da sazonalidade climática. Esses fatores não impedem a formação de perfis lateríticos, mas podem restringir sua extensão, espessura ou grau de desenvolvimento quando comparados às áreas mais úmidas e homogêneas do centro da bacia amazônica. Altitudes mais elevadas em algumas regiões, bem como os planaltos das Guianas e as serras no norte do estado, tornam o escoamento superficial mais eficiente, reduzindo o tempo de contato da água com o solo e alterando o acúmulo de óxidos residuais. Nesse contexto, diversas serras dentro ou próximas aos limites de Boa Vista revelam diferentes estágios de evolução do perfil de lateritização. Para este estudo, foram investigadas serras e terrenos resultantes da atuação intempérica sobre a Formação Apoteri, uma unidade de rochas vulcânicas que constitui a rocha primária dos relevos estudados.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram visitados afloramentos dentro da bacia do Tacutu registrando tanto rochas da Formação Apoteri quanto seu material de alteração, sejam estes aflorantes como lajeados, encostas de vertente, cortes de estrada ou frentes de lavra. Alguns afloramentos apresentam centenas de metros de extensão lateral, embora a maioria se distribua de forma descontínua, e até 50 m em seção vertical composta. Destaque para os morros da Serra Nova Olinda, incluindo o morro do Cruzeiro, balneário do Encontro das Pedras, pedreira Granada, quebra de relevo do igarapé Carrapato, balneário/banho do rio Cauamé, morro vermelho da PF, praia do Caçari, praia da Polar, final da rua Darora, Caju, pedreira da Normândia e diversos pontos ao longo da estrada do Contorno a partir do saída do anel viário até a BR-174. Nestes locais, analisou-se a organização interna e a disposição espacial destas rochas por meio do mapeamento vertical e horizontal de seus litodemas e horizontes de alteração. A nomenclatura adotada seguiu os preceitos de Widdowson (2007). Destacam-se, como características mensuráveis, a litologia, a mineralogia, as texturas, estruturas e o contato destas entre si ou com outras unidades geológicas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram reconhecidas três unidades de trabalho:

(1) A rocha sã, representada pela Formação Apoteri;

(2) O perfil de alteração laterítica (PAL) que se constitui de saprólito grosso, saprólito fino e crosta in situ endurecida; e

(3) O ferricrete, termo aqui aplicado no sentido estrito de Widdowson (2007). Além dessas três unidades, há ainda a cobertura sedimentar detrítica, formada posteriormente à gênese do PAL e não abordada neste resumo.

Rocha sã. A Formação Apoteri aflora nos morros mais altos e no leito do rio Cauamé, quando forma corredeiras. São basaltos em forma de derrames. Embora não observados, na literatura citam-se ocorrência de diques máficos (Pinto *et al*., 2012). O conteúdo mineral inclui plagioclásio, piroxênio, magnetita e minerais opacos não identificados. Nas amígdalas, clorita, quartzo e zeólitas. Entre as estruturas observam-se feições maciças, amígdalas, disjunção colunar e, em alguns casos, marcas de fluxo (*surges*). As texturas variam entre afanítica, intergranular e porfirítica, com matriz fina contendo fenocristais de plagioclásio e piroxênio, além de amígdalas mineralizadas. Cores variam de cinza escuro a preto nas amostras frescas, passando para tons esverdeados quando moderadamente alteradas.

Perfil de alteração laterítica (PAL). Ele se desenvolve a partir da alteração in situ da Formação Apoteri. O PAL é marcado por alteração profunda, que pode atingir cerca de 30 m de espessura no ponto próximo à Usina Termelétrica Monte Cristo, onde se apresenta mais completo na área de estudo, com quase todos os horizontes observáveis. Nos demais pontos, os horizontes ou estão truncados ou não se desenvolveram completamente.

Costumeiramente, no sentido de Widdowson (2007), o horizonte saprolítico é dividido em duas porções, o saprólito grosso e o saprólito fino. A diferença significativa entre ambos é a preservação parcial de texturas e estruturas primárias da rocha sã no saprólito grosso. Neste horizonte, ocorrem os *corestones* (ou blocos e matacões discoides relativamente bem preservados de rocha sã), heterogeneamente distribuídos dentro do horizonte e lascados por esfoliação esferoidal. Feições amigdaloidais reliquiares também ocorrem preenchidas por argilominerais e óxidos. Ripas de plagioclásio fortemente alterado completam este horizonte.

O saprólito fino apresenta-se friável, terroso e heterogêneo, desprovido de texturas reliquiares e rico em estruturas pedogenéticas vermiformes, como agregados de argilas e óxidos, fraturamento subparalelo ou em rede, aproveitado por raízes e infiltrações, e zonas enriquecidas ou empobrecidas em ferro não endurecidas. A mineralogia é secundária e dominada por argilominerais com destaque para caulinita, além de goethita e hematita. As cores predominantes são marrom em diversos tons, amarelo-alaranjado, com tons avermelhados em níveis superiores mais oxidados. Aqui, o saprólito fino engloba o horizonte mosqueado e o horizonte argiloso de outras classificações (p.e., Costa, 1991).

Quando expostos à intempérie, os agregados de argilas e óxidos tendem a endurecer progressivamente, formando concreções diversas que, ao se coalescerem em direção ao topo da sucessão, originam crostas endurecidas in situ. Estas crostas ocupam a parte superior do PAL, mas, em vez de constituírem horizontes tabulares contínuos, apresentam-se como horizontes descontínuos, compostos por pseudo-matacões de até 3 metros de comprimento, mal alinhados na horizontal. A formação mais pronunciada dessas crostas ocorre nas encostas de morros (por exemplo, no ponto Usina Monte

Cristo), onde as quebras de relevo e a ampla exposição do saprólito fino favorecem a gênese da crosta por endurecimento do saprólito. Essas crostas também são observadas ao longo de planos de falhas e fraturas, estendendo-se por esses planos até próximo à rocha sã. Internamente, podem ser maciças ou apresentar localmente estruturações concrecionária (até mesmo formando horizonte pisolítico), nodular, tubular, vesicular e porosa.

Ferricrete. Para Widdowson (2007) e a escola anglo-australiana, o ferricrete é uma crosta ferruginosa endurecida, rica em óxidos de ferro, formada por cimentação química de materiais preexistentes, geralmente ao nível do solo ou próximo à superfície. Entende-se cimentação química como um processo de reprecipitação a partir de soluções enriquecidas em Fe, em uma fase tardia, quando o PAL já está desenvolvido, como é o caso na área de estudo. Aqui, adota-se o termo ferricrete porque a precipitação do ferro ocorre em função de acumulação absoluta (adição de massa iônica) ao passo que a crosta endurecida in situ resulta de acumulação residual (subtração de íons Si, Ca, Mg e acúmulo residual de Fe e, eventualmente, Al). Há ainda o claro retrabalhamento da crosta in situ, inclusão de outros materiais como clastos de quartzo e superfícies de escavação de escalas métrica a decamétrica na área de estudo o que reforça o caráter tardio de parte da "crosta" ferruginizada e posterior ao desenvolvimento do PAL. O ferricrere é uma extensão física da crosta endurecida, mas dentro de um arcabouço cronoestratigráfico distinto, o que trabalhos geocronológicos têm buscado estabelecer (p.e., Horbe, 2014). Ele se distingue da crosta in situ por ser produto de formação subaérea, sua cimentação é secundária, resultante de reprecipitação, inclui material detrítico, inclusive fragmentos da própria crosta in situ e do material saprolítico, e função geomorfológica na estabilidade da vertente por ser material duro e resistente.

CONCLUSÕES

A principal conclusão deste trabalho é que, na área de estudo, a lateritização se mostra um processo descontínuo no espaço (vide os matacões de crosta in situ) e no tempo, formando arcabouços cronoestratigráficos distintos com base em características texturais e estruturais do ferricrete.

Esta é apenas um primeira abordagem sobre a evolução dos perfis de laterita e o seu retrabalhamento na área de estudo e, portanto, demanda cuidado nas interpretações e uma análise mais aprofundada dos dados disponíveis. Contudo, é uma forma de divulgar que em Boa Vista há aparentemente algo que se difere da evolução de outros perfis de lateritização.

AGRADECIMENTOS

Parte desta pesquisa foi financiada pelo CNPq por meio do Programa Institucional de Bolsas à Iniciação Científica da Universidade Federal de Roraima.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Costa, Marcondes Lima da. (1991). Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 21, p. 146-160.

Horbe, A. M. C. (2014) Idades paleomagnéticas de crostas lateríticas da Amazônia. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*. Ciências Naturais, Belém, v. 9, n. 1, p. 93-104.

Pinto, V. M.; Bicudo, C. A.; Brandão, M. A.; Borges, P. E. (2012) O contexto geológico no município de Boa Vista, Roraima, Brasil. *Acta Geográfica*, Boa Vista, v. 6 (12): 7–19. DOI: 10.5654/actageo2012.0612.0001.

Widdowson, M. (2007). Laterite and ferricrete. In: Nash, D.J., & McLaren, S.J. (Eds.), **Geochemical Sediments and Landscapes**. Blackwell Publishing, pp. 250–273.

PROVENIÊNCIA SEDIMENTAR DOS CONGLOMERADOS DIAMANTÍFEROS DA FORMAÇÃO CABO SOBRAL, SERRA DO TEPEQUÉM, SEQUÊNCIA SEDIMENTAR PALEOPROTEROZOICA DO ESCUDO DAS GUIANAS, CRÁTON AMAZÔNICO: RESULTADOS PRELIMINARES

Rílary Vitória Fernandes Matos[1]; Michele Andriolli Custódio[2]; Ivaldo da Silva Trindade[1]; Lindaray Sousa da Costa [1]; Mayara Fraeda Barbosa Teixeira[2]

[1]**Universidade Federal do Amazonas, Instituto de Ciências Exatas, Departamento de Geociências, Manaus CEP: 69.077-000, Brasil**

[2]Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Amazonas, Instituto de Ciências Exatas, Departamento de Geociências, Manaus CEP: 69.077-000, Brasil

E-mail do autor: rilary.matos@ufam.edu.br

RESUMO

A sequência sedimentar Paleoproterozoica do Escudo das Guianas tem seu registro sedimentar preservado na Serra do Tepequém, noroeste do Estado de Roraima; guarda em seu registro sedimentar importante depósitos de diamantes e ouro. Na década de 30 até o final dos anos 90, ficou bastante conhecida pela atividade garimpeira de ouro, e principalmente diamante, que são encontrados e extraídos nas margens dos igarapés dos Membro Paiva e Membro Cabo Sobral, que compõe a seção basal e o topo do Supergrupo Roraima, respectivamente. Através do estudo da proveniência sedimentar feito nas amostras coletadas em campo foram feitas a desagregação das amostras para reduzi-las em pequenos fragmentos, sendo separadas através das peneiras granulométricas de tamanho (0,250 mm - 0,125 mm), após o peneiramento seguiu-se para etapa de obtenção dos concentrados de bateia, e por fim, ocorreu a separação gravimétrica para a obtenção da diferença de densidade entre os minerais pesados e os minerais leves. Petrograficamente, correspondem a correspondem a arenitos sublíticos e litoarenitos, de granulometria de areia média a grossa, mal selecionados, grãos subangulares a arredondados, contatos retos a suturados e linhas de sujeiras de óxidos de ferro em suas bordas. Por meio comparação de análises dos minerais pesados, a assembleia de minerais pesados descritas foram zircão, rutilo, monazita, turmalina e opacos, sendo os grãos de minerais opacos mais predominantes. Dados preliminares indicam forte contribuição sedimentar de origem vulcânicas e/ou sequências de formações ferríferas.

PALAVRAS-CHAVE: Minerais pesados; Paleoproterozoico; Área-fonte; Formação Cabo Sobral; Reconstrução paleogeográfica

INTRODUÇÃO

A sequência sedimentar Paleoproterozoica do Cráton Amazônico, inserida no Escudo da Guiana ao norte da América do Sul, representa o registro geológico de importantes eventos tectônicos, sedimentares e paleoclimáticos ocorridos durante o Precambriano (Brito Neves, 2011). A região a noroeste, conhecida como o Escudo da Guiana, abriga um registro bem preservado de sedimentação Paleoproterozoica, representado por paleo-bacias com sequências vulcano-sedimentares preservadas em intervalos de idade aproximadas de 1.96-1.87 Ga (Santos *et al*., 2003b). O estudo desta sequência sedimentar é crucial para a compreensão da estabilização da crosta continental, o desenvolvimento de bacias sedimentares e as reconstruções paleogeográficas de supercontinentes, na qual, é representada pelo Supergrupo Roraima (Reis *et al*., 1990) (Fig. 1), de ocorrência ampla a noroeste da América do Sul (cobrindo cerca de 160.000 km²) (Venezuela, Brasil, Guianas), sendo caracterizado por platôs suportados e planaltos com registros de unidades siliciclásticas (fracamente a localmente deformadas) (Brito Neves, 2011; Fernandes Filho, 2010; Santos, 1984). Geomorfologicamente, se destacam na paisagem por altitudes elevadas (~ 1.200m), platôs com topos aplanados e espessos, característicos do Planalto das Guianas. Na porção brasileira, o Supergrupo de Roraima, exposto na Serra do Tepequém (Fig. 1), foi inicialmente estabelecido por Borges e D'Antona (1988), sendo posteriormente subdividido litoestratigraficamente: Grupo Arai (Formações Paiva e Serra do Funil) e Grupo Suapi (Formação Cabo Sobral) (Fernandes Filho *et al*., 2018; Fernandes Filho, 2010). A base da sequência é intercalada com cinzas vulcânicas datadas com idades de 1873 ± 3 Ma (Santos *et al*., 2003a, b). Reconhecida pela ocorrência de depósitos diamantíferos e de ouro (Araújo *et al*., 2011; Borges & D'Antona, 1988), a Fm. Cabo Sobral carece de estudos detalhados da área-fonte destes depósitos, ainda que preliminarmente proposto à norte (Cinturão Orogênico Trans-Amazônico (Meyer & McCallum 1993, Santos *et al*., 2003a, b).

Apesar da importância econômica histórica da região da Serra do Tepequém, as fontes primárias dos conglomerados diamantíferos permanecem desconhecidas. Portanto, a compreensão da assembleia de minerais pesados associada aos depósitos diamantíferos ainda é escassa.

A apropriada metodologia para desvendar a origem do aporte sedimentar destas sucessões sedimentares é o estudo de proveniência sedimentar por meio da análise de minerais pesados. Por conta da estabilidade e diversidade mineralógica, e paragênese restrita dos minerais, os minerais pesados são ótimos indicadores da área-fonte de sedimentos. As variações na assembleia dos minerais pesados são causadas por mudanças na proveniência e, portanto, sua determinação é eficaz na correlação com a origem do aporte sedimentar em áreas-fonte e de sedimentação (Morton e Hallsworth, 1994). De forma similar, métodos analíticos, como geocronologia, geoquímica elementar de elementos maiores e traços e dados de paleocorrentes, são eficazes na reconstrução paleogeográfica (McLennan *et al*., 1993).

Neste sentido, o presente estudo propõe análise e caracterização petrográfica detalhada das fácies e associações de fácies e da assembleia mineralógica dos minerais pesados associados a Fm. Cabo Sobral.

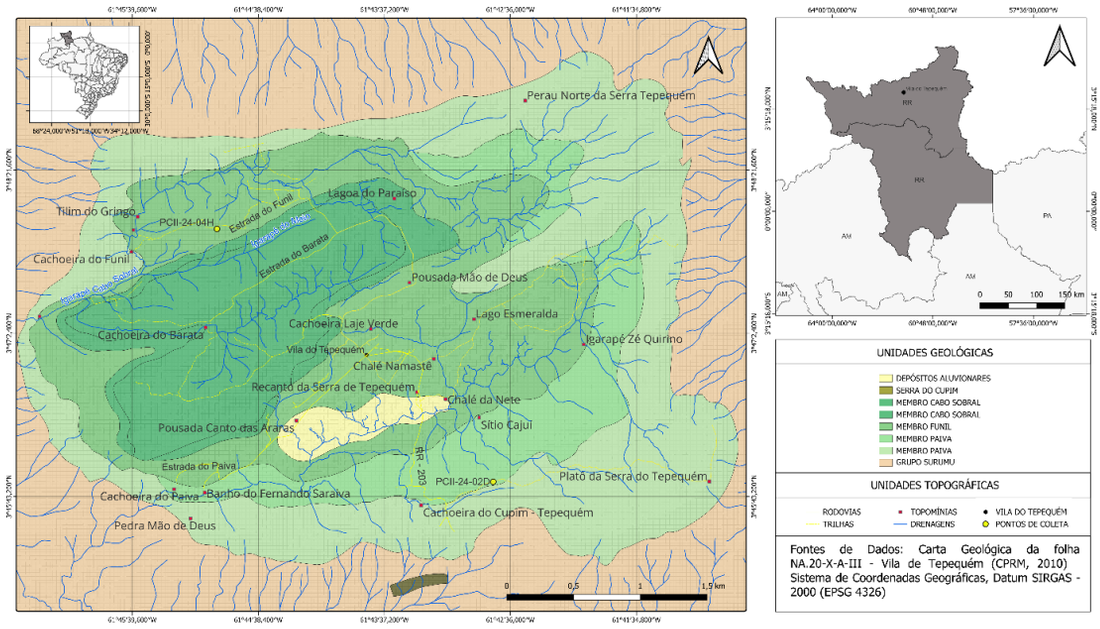


Figura 1. Mapa geológico da sequência sedimentar Paleoproterozoica (Supergrupo Roraima), Serra do Tepequém, Amajari, Roraima.

MATERIAIS E MÉTODOS

i) *Etapa Preliminar*: Consiste na fundamentação teórica sobre a Geodiversidade e Geologia Regional do Supergrupo Roraima, bem como, no planejamento logístico e levantamento de base de dados para a elaboração de mapa-base e definição de pontos de amostragem na Serra do Tepequém.

ii) *Etapa de Campo*: Amostragem e análises sedimentológicas com a classificação de fácies sedimentares por meio de descrições da litologia, texturas, estruturas, geometria das camadas (Miall, 1978, 1996, 2006).

iii) *Etapa Laboratorial*: Consistiu nos processos de britagem, moagem, separação granulométrica e gravimétrica (Pettijohn, 1938) realizados nos Laboratórios de Laminação, Sedimentologia e Microscopia do Departamento de Geociências da Universidade Federal do Amazonas (DEGEO/UFAM). A análise petrográfica foi realizada nas lâminas delgadas no Laboratório de Microscopia do Departamento de Geociências (DEGEO/UFAM) com base nos procedimentos de Folk (1968) tendo como o objetivo descrever as características texturais e mineralógicas das amostras coletadas, permitindo sua classificação litológica. Inicialmente, foram descritos os aspectos texturais, tais como tamanho, seleção, arredondamento e esfericidade, matriz e cimento. Em seguida, foi efetuada a contagem modal dos minerais por meio de análises pontuais, permitindo a determinação das porcentagens relativas de quartzo (Q), feldspatos (F) e fragmentos líticos (Fr).

RESULTADOS

Fácies Sedimentares

Foram identificadas duas fácies sedimentares (Fig. 2), sendo elas: Arenito com Laminação Plano Paralela (Alp) (Fig. 2A) de granulometria variando entre fina a grossa (0,250 – 1,00mm) , esfericidade baixa e grãos variando de sub-angulosos a arredondados e grau de seleção mal selecionado a bem selecionado; Ortoconglomerado Oligomítico (Cm) (Fig. 2B) de estrutura maciça, clastos-suportados imersos em uma matriz arenosa média a grossa (0,500 – 1,00mm), apresentando seixos de quartzos leitosos de esfericidade alta e arredondamento variando de subangulosos a subarredondados sendo mal selecionados. Estão relacionados a fluxos de detritos pseudoplásticos de baixa resistência, depositados de fluxos viscosos, laminares ou turbulentos (Miall, 2006).

Análises Petrográficas

As descrições e classificações petrográficas tiveram como resultado: i) Arenito com Laminação Plano Paralela (Alp) apresenta arcabouço constituído por grãos de quartzo monocristalino e policristalino (66,25%), feldspato (5%) e fragmentos líticos (28,75%) (Fig. 2F). A granulometria varia de média a grossa (0,500 – 1,00mm), mal selecionada, os grãos possuem esfericidade baixa classificados como angulosos a arredondados. Apresentam contatos longitudinais, côncavo-convexo e suturados com os demais grãos ao seu redor (Fig. 2G). Além disso, apresentam linhas de sujeira de óxido de ferro (hematita) bordejando os grãos e preenchendo fraturas; ii) Conglomerado Oligomítico (Co) possui arcabouço constituídos por grãos de quartzo monocristalino e policristalino (68,75% - 73,75%), feldspato (7,5% - 10%) e fragmentos líticos (16,25% - 23,75%). A granulometria é grossa, mal selecionada, os grãos possuem esfericidade baixa classificados como subangulares a subarredondados. Apresentam contatos pontuais e suturados com os demais grãos ao seu redor. Além disso, apresentam linhas de sujeira de óxido de ferro (hematita) bordejando os grãos e preenchendo fraturas (Fig. 2H).

Através do Diagrama QFR (Fig. 3) foi possível definir a classificação das rochas. O arenito com laminação plano paralela (Alp) plota no campo dos litoarenitos. Já os conglomerados oligomíticos (Co) plotam no campo dos arenitos sublíticos.

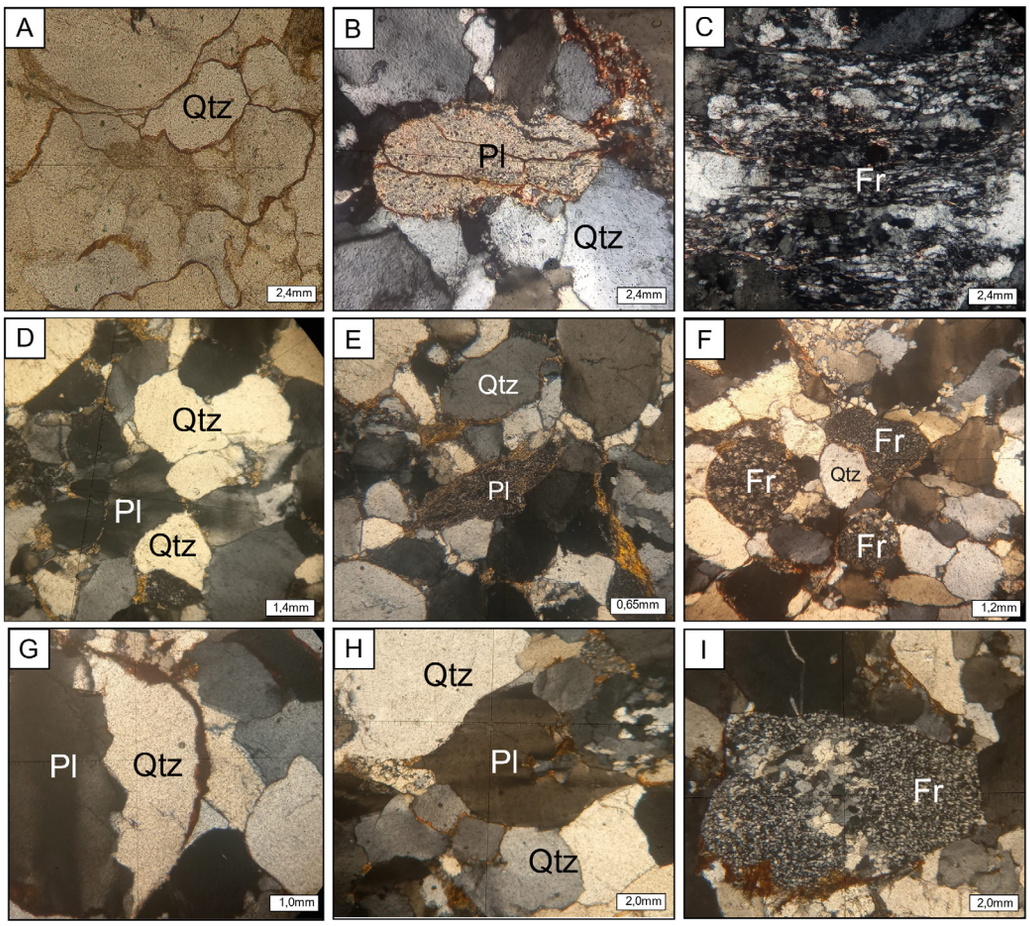


Figura 2. Fotomicrografia: (A) Grãos de quartzo (Qtz) apresentando linhas de sujeira de óxidos de ferro em suas bordas; (B) Grãos de feldspatos (Pl) turvo apresentando linhas de sujeira e fraturas de óxidos de ferro e contato côncavo-convex com os grãos de quartzo (Qtz); (C) Fragmento de rochas (Fr) metamórfico; (D) Grãos de quartzo (Qtz) apresentando contatos longitudinais e côncavo-convexo com os grãos de feldspatos (Pl); (E) Feldspato (Pl) alterado pelo processo de seritização em contato logintudionais com os grãos de quartzo; (F) Fragmentos de rochas (Fr) em contato longitudional com o grão de quartzo (Qtz); (G) Grãos de quartzo (Qtz) em contato suturado com o grão de feldspato (Pl); (H) Grão de feldspato (Pl) turvo em contato longitudional com os grãos de quartzo (Qtz); (I) Fragmento de rocha (Fr) sedimentar apresentando linhas de sujeira de óxidos de ferro.

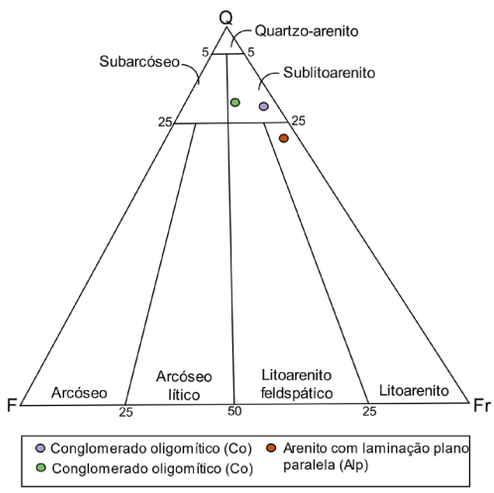


Figura 3. Diagrama QFR com as amostras plotadas em seus respectivos campos.

3.3 Análise de Minerais Pesados

Por meio da análise foi identificado: zircão, rutilo, monazita, turmalina e óxidos de ferro (Fig. 4). Dentre tais minerais, os grãos de zircão apresentam-se incolores a acastanhados, com inclusões minerais, zonados, angulosos a arredondados. Os grãos de monazita são levemente amarelados variando de subarredondados a arredondados. As turmalinas ocorrem com aspecto transparente a amareladas, com alto pleocroísmo e grãos subarredondados. Enquanto que os grãos de rutilo apresentam coloração castanho escuro a avermelhados, de relevo elevado e grãos subarredondados a alongados. Os grãos de óxidos de ferro indicam ser minerais de magnetita ou ilmenita, classificados como subarredondados a arredondados, de ocorrência mais frequente na assembleia dos minerais pesados.

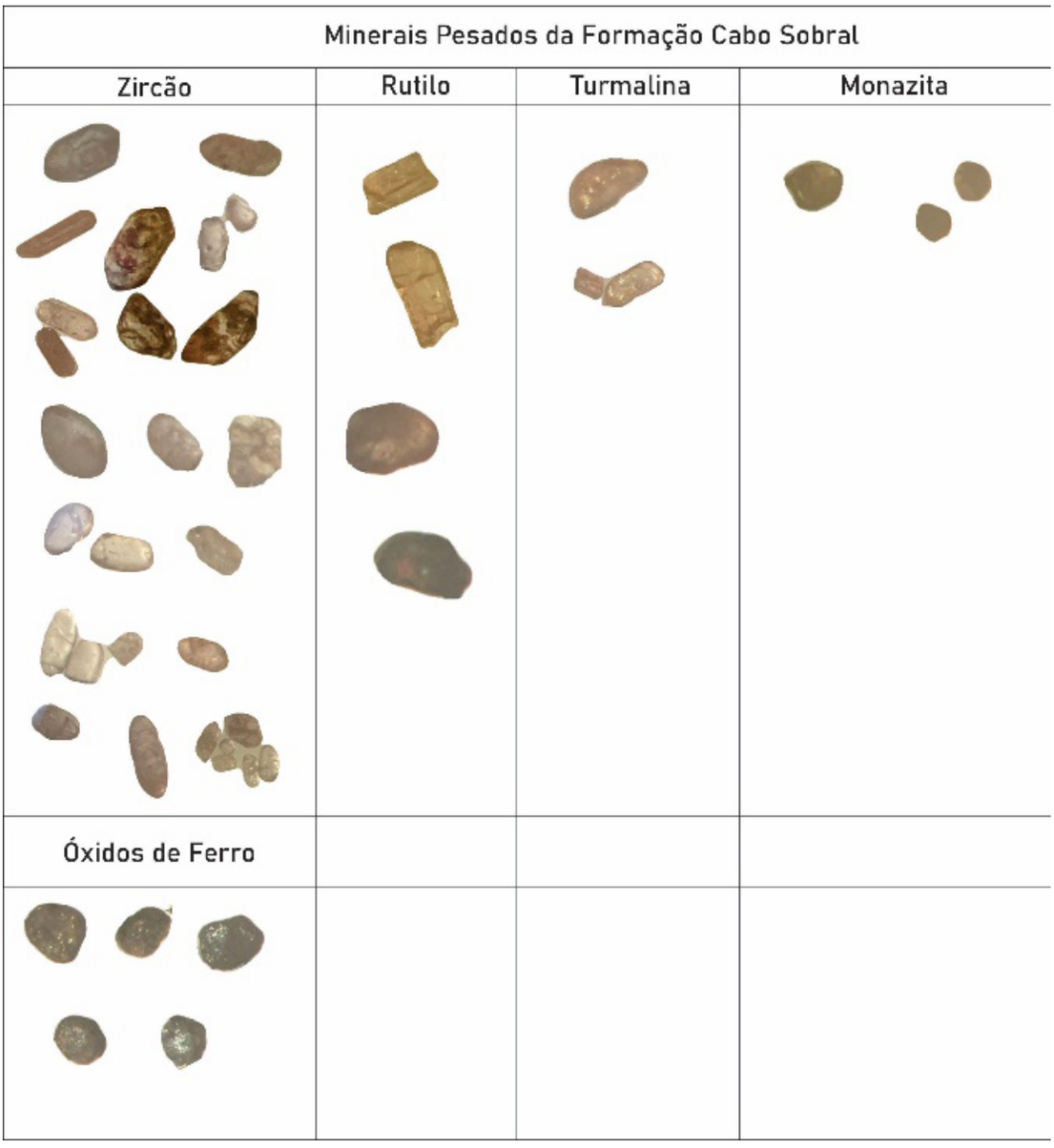


Figura 4. Minerais pesados presente nas amostras coletadas

DISCUSSÕES

O estudo de Lima (2012) indica características mineralógicas típicas de maturidade mineralógica elevada, principalmente atrelado a presença de minerais ultraestáveis, como os grãos de zircão e de rutilo, bem como, seu elevado grau de arredondamento. No entanto, a definição mais acurada da área-fonte carece de estudos analíticos mais aprofundados, tais como difração de raios-X e imageamento de alta resolução (Microscópio Eletrônico de Varredura), os quais serão realizados no decorrer do presente estudo.

CONCLUSÕES

A assembleia mineralógica dos minerais pesados apresentados, bem como, as descrições preliminares das fácies sedimentares e classificações petrográficas, inferem proximidade com a área-fonte de sedimentos, bem como, forte contribuição de rochas de origem vulcânicas e/ou sequências ferríferas.

AGRADECIMENTOS

A presente pesquisa acadêmica de Iniciação Científica agradece o apoio financeiro e institucional da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) – Edital (PAIC-2024/2025). O presente estudo está vinculado ao Projeto VIP Amazonia, intitulado "*How were mountain ranges formed in Amazonia 2 billion years ago, and how were they related to a single large landmass?*", com suporte financeiro do Instituto Serrapilheira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araujo, Debora & Santos, Roberto & Souza, Valmir & Júnior, Farid & Dantas, Elton. (2011). Diamantes da Serra do Tepequém: resultados preliminares. *Anais XII Simpósio de Geologia da Amazônia, Boa Vista, Resumo Expandidos.*

Borges F.R. & D'Antona R.J.G. 1988. Geologia e mineralizações da serra Tepequém. *Congresso Brasileiro de Geologia, 35,* 1:155-163.

Fernandes Filho, L.A. (2010). Fácies deposicionais, estratigrafia e aspectos estruturais da cobertura sedimentar paleoproterozóica na Serra do Tepequém, Escudo das Guianas, Estado de Roraima (p. 96). [Tese de doutorado, Universidade Federal do Pará].

Folk, R.L. (1968). Petrology of sedimentary rocks (p. 127). Austin: Hemphill's Bookstore,

Lima, L.M.N. (2012) Caracterização da assembleia de minerais pesados dos depósitos da sucessão sedimentar Paleoproterozoica da Serra do Tepequém. Projeto de Iniciação Científica. FAPEAM.

McLennan, S.M., Hemming, S., McDaniel, D.K., Hanson, G.N., (1993). Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics, *Geological Society of America, p. 21–40.* https://doi.org/10.1130/SPE284-p21

Melo, E.C. & Almeida Filho, R. (1996). Mapeamento de Áreas Degradadas Pela Atividade de Garimpos na Região da Serra Tepequém (RR), Através de Imagens Landsat-TM (p. 639-645). *Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Salvador, Brasil.

Meyer H.O.A. & Mccallum M.E. (1993). Diamonds and their sources in the venezuelan portion of the guyanashield. *Economic Geology, 88: 989-998*

Miall, a.d., (2006). The Geology of Fluvial Deposits. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-03237-4

Morton, A. C. (1985). A new approach to provenance studies: electron microprobe analysis of detrital garnets from Middle Jurassic sandstones of the northern North Sea. Sedimentology, 32(4), 553-566p.

Morton, A. C., & Hallsworth, C. R. (1999). Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstones. Sedimentary Geology, 124(1)

Pettijohn, F.J. (1938). Manual of sedimentary petrography. *Appleton-Century, New York, 309 – 356p.*

Santos, J. O. S. A (1984) Parte Setentrional do Cráton Amazônico, In: Schobbenhaus Filho, C. *et al*ii (coordenadores). Geologia do Brasil: texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais, escalas 1:2.500.000. Brasília, DNPM, p.57-91, 1984.

Santos, J.O.S., Hartmann, L.A., Bossi, J., Campal, N., Schipilov, A., Pinneyro, D., McNaughton, N.J., (2003a). Duration of the Trans-amazonian cycle and its Correlation within south America based on U-Pb SHRIMP Geochroology of the La Plata craton, Uruguay. *International Geology Review 45*, 27-48.

Santos, J.O.S., Potter, P.E., Reis, N.J., Hartmann, L.A., Fletcher, I.R., McNaughton, N.M., (2003b). Age, source, and regional stratigraphy of the Roraima supergroup and Roraima-like outliers in northern South America based on U-Pb geochronology. *GSA Bulletin 115*, (331-348).

CONSIDERAÇÕES SOBRE A TAFONOMIA DOS ICNOFÓSSEIS DE SAURÓPODES NA BACIA DO TACUTU: DIFERENCIANDO PEGADAS DE MARMITAS

Lucas de Souza Barros; Carlos Eduardo Lucas Vieira[1]; Felipe Lima Pinheiro[2]; Gustavo Silva Zaranza[1]; Jorge Donizetti Pavani; Vladimir de Souza[1]

[1]Instituto de Geociências da Universidade Federal de Roraima;
[2]Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pampa

lucasbarros.geologist@gmail.com; carlos.vieira@ufrr.br; felipepinheiro@unipampa.edu.br; gszaranza@gmail.com; jorgedpavani@gmail.com; vladimir.souza@ufrr.br

RESUMO

Embora pegadas de saurópodes apresentem ampla distribuição em escala global, registros desse grupo permanecem raros na porção norte da América do Sul, especialmente na Amazônia Central. A Bacia do Tacutu (Roraima) constitui uma exceção, onde foram encontradas as primeiras de pegadas de saurópodes do Mesozoico da Amazônia brasileira na Formação Serra do Tucano. Os arenitos e conglomerados que apresentam os traços fósseis encontram-se fortemente ferrificados por processos lateríticos. Apesar de dezenas de pegadas terem sido descobertas, a maioria encontra-se mal preservada e ainda não descrita, uma vez que classificações icnotaxonômicas para estas pegadas ainda são desafiadoras. Isto ocorre em um contexto onde os processos lateríticos podem ter contribuído na formação de poças de intemperismo onde originalmente estariam os traços, em muitos casos preservando apenas o contorno original da pegada. Os icnofósseis são documentados através de fotogrametria. As pegadas de saurópodes que apresentam um melhor grau de preservação revelam dois morfotipos principais: o Morfotipo A, de forma elíptica; e o Morfotipo B, que é predominantemente circular. Estes morfotipos geralmente ocorrem associados a icnofósseis de terópodes e ornitísquios, fornecendo contexto paleoecológico e paleobiogeográfico da bacia. Questões ainda em aberto sobre interpretações de paleoambiente incluem a hipotética influência de esteiras microbianas e de hidrotermalismo.

PALAVRAS-CHAVE: Pegadas de dinossauros; Saurópodes; Formação Serra do Tucano; Bacia do Tacutu.

INTRODUÇÃO

Por muito tempo, o conhecimento sobre dinossauros do Mesozoico na região amazônica permaneceu um mistério e com escassos relatos, especialmente na Amazônia brasileira (Price, 1960; Ribeiro *et al*., 2024; Carvalho et a., 2003). A cobertura de florestas, o forte intemperismo tropical e as dificuldades de acesso certamente contribuem com a manutenção dessa lacuna, onde a Bacia do Tacutu se destaca como uma exceção, uma vez que ocorre dentro de uma mancha de savana na Amazônia Central.

A Bacia do Tacutu abriga pegadas de todos os maiores grupos de dinossauros, isto é, de saurópodes, terópodes, ornitópodes e tireóforos. Esses icnofósseis, recentemente descobertos, ocorrem na Formação Serra do Tucano, depositada entre o Barremiano e o Albiano (Eiras *et al*., 1994) em um sistema fluvio-deltaico que possivelmente também estava relacionado com corpos lacustres na planície de inundação e leques aluviais (Reis *et al.,* 1994; Wankler, 2016). Contudo, as pegadas de saurópodes têm sido de problemática descrição, uma vez que ocorrem em arenitos e conglomerados ferrificados, levantando questões sobre o desenvolvimento da sua tafonomia.

CONTEXTO GEOLÓGICO

A Bacia do Tacutu é o resultado de um rifte instalado no Escudo das Guianas, com uma geometria NE-SW. Este rifte teve sua origem com a fragmentação do antigo continente Gondwana, relacionado à porção central do Oceano Atlântico. (Crawford *et al*., 1985; Eiras & Kinoshita, 1988). A Formação Serra do Tucano é caracterizada por fácies de canal representadas principalmente por quartzo-arenitos, além de fácies de overbank representadas por arenitos finos. Também foram reconhecidos conglomerados próximos à falha de Lethem e níveis métricos pelíticos (Reis *et al.,* 1994; Eiras *et al*., 1994; Vaz *et al.,* 2007; Wankler, 2016).

Reis *et al*. (1994) interpretam a deposição como resultado da implantação de um sistema fluvial meandrante integrado a depósitos de planície de inundação, em águas rasas e esporádicas, com condições climáticas áridas ou semi-aridas. Wankler (2016) também apresenta a possibilidade de canais entrelaçados em sistemas de leques aluviais relacionados à Falha de Lethem. Estes canais desemborcariam em lagos ou pântanos da planície de inundação. As rochas aflorantes desta formação geralmente apresentam-se como arenitos ou conglomerados ferruginosos de colorações escuras, por vezes com crescimentos minerais em forma botrioildal e de grânulos concrecionários, relacionados principalmente à óxidos e hidróxidos de Fe, como hematita e goethita. As rochas ferro-concrecionárias da região são relacionadas aos eventos de lateritização que ocorreram na Amazônia durante o Cenozoico (Costa, 1991).

Os poucos estudos estratigráficos e bioestratigráficos (Hammen & Burger, 1966, Crawford *et al*., 1985, Eiras *et al*., 1994) estimam a posição estratigráfica da Formação Serra do Tucano entre o Barremiano superior e o Albiano inferior, quando marcado o encerramento da fase rifte (Eiras & Kinoshita, 1988; Vaz *et al.,* 2007).

MATERIAIS E MÉTODOS

Os afloramentos são investigados inicialmente por imagens de sensoriamento remoto. Em campo, foram adaptados métodos de fotogrametria de acordo com as condições climáticas no momento da coleta de dados. As fotografias foram registradas em formato RAW através de uma Canon EOS REBEL T7 com lente EF-S 18-55 mm em foco automático e zoom variável. O processamento dos modelos tridimensionais foi feito através do Agisoft Metashape 1.8. As edições mais finas, mensuração dos icnofósseis e produção de mapas de elevação foram produzidos com o CloudCompare Stereo 2.12.4, o qual também foi usado para a demarcação dos contornos dos desenhos interpretativos.

Uma vez que os dados são coletados e processados, são realizadas as comparações com icnotaxa já descritas na literatura. A metodologia aqui seguida foi baseada principalmente nos métodos apresentados por Falkingham *et al.* (2016) e Leonardi (1987).

Mesmo quando em baixo grau de preservação, pegadas de saurópodes geralmente são de fácil identificação por seu formato arredondado e tamanho e profundidade acentuadas em relação a outros traços de dinossauros (Thulborn, 1990).

A área de estudo (Figura 1) faz parte do Município de Bonfim. Entretanto, as coordenadas geográficas exatas ainda são mantidas em sigilo a pedido dos proprietários das localidades onde ocorrem as pegadas, uma vez que estes demonstram medo de demarcações de terras e desapropriação.

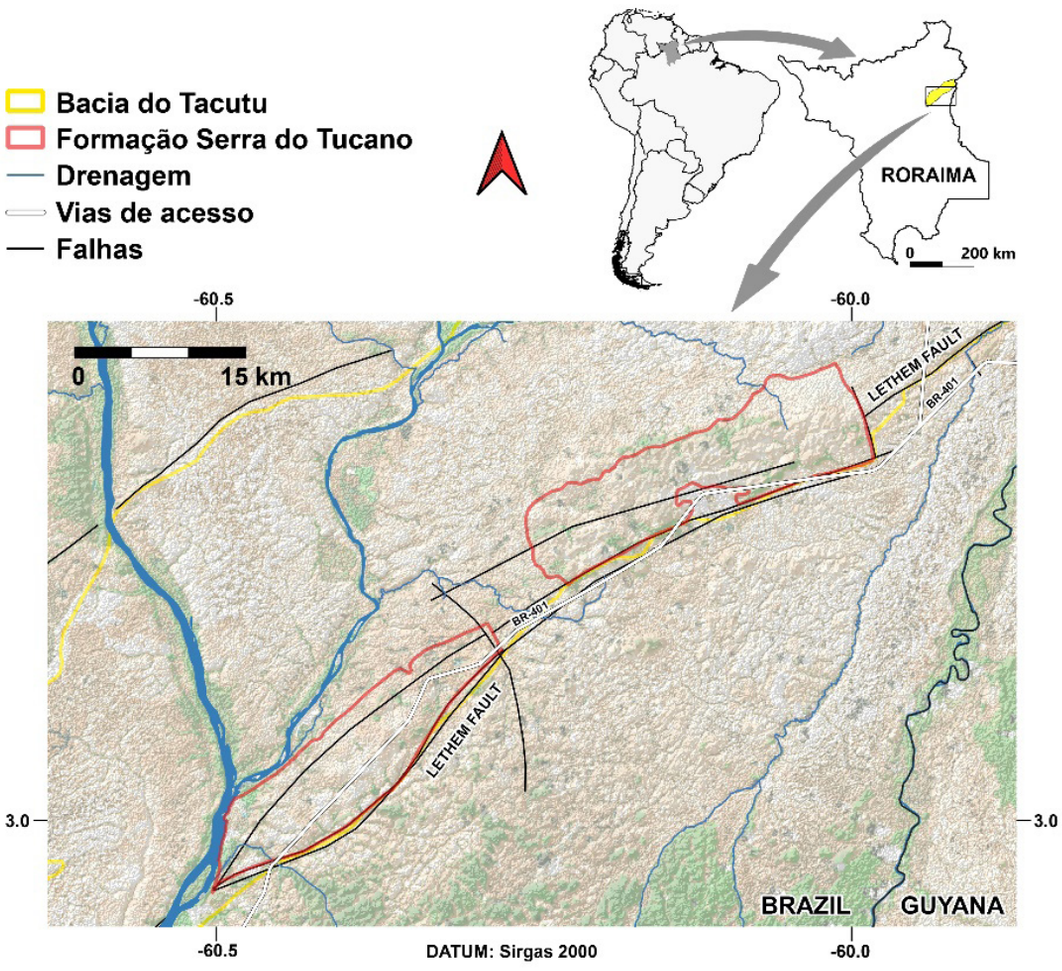


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo. Fonte: Serra do Tucano, Drenagem e Falhas: Holanda *et al*. (2014); Basemap: Adaptado de Bing Maps (2022).

RESULTADOS

Preservação e tafonomia

Os afloramentos estudados são constituídos de blocos de arenito ou conglomerados via regra ferruginosos, fragmentados e dispersos pelo terreno. A exposição desses blocos ao intemperismo químico parece aumentar gradualmente a profundidade das

pegadas fósseis por acumular água nos períodos chuvosos, especialmente nos traços de saurópodes, fazendo com que estes possam ser confundidos com marmitas. Muitos traços, entretanto, ainda podem apresentar dígitos plenamente identificáveis e formas muitos similares à outras já documentadas no registro fóssil, o que ainda permite inferir sobre a icnotaxonomia, especialmente quando o contorno original da pegada – a outline – segue preservado, sendo perdida apenas a parte mais interior da pegada.

Os traços expostos à córregos são rapidamente destruídos, embora uma estimativa mais precisa dessa janela de tempo ainda seja desconhecida. Contudo, a natureza da degradação das pegadas de saurópodes tende a seguir um caminho distinto quando os blocos estão próximos de lagos na planície, uma vez que ocorrem processos erosivos associados. Corpos lacustres apresentam uma erosão mais branda, e, portanto, traços expostos à lagos podem ser encontrados parcialmente erodidos antes de serem totalmente destruídos. Isto impossibilita uma interpretação precisa quanto aos contornos dos traços fósseis, servindo apenas para atestar a bioturbação.

O crescimento mineral de óxidos de ferro e alumínio, e o seu desprendimento da rocha na forma de pequenos grânulos concrecionários (geralmente menores que 1 cm de diâmetro) explicam parte deste processo, e em alguns casos, revela detalhes morfológicos das subpegadas, como o número de dígitos que podem não ser evidentes no contorno original, mas são evidentes nas subpegadas expostas.

No caso de traços parcialmente preservados, seja por conta da atuação do intemperismo químico ou erosão, é imprescindível que ocorram outros traços plenamente identificáveis no mesmo afloramento, preferencialmente de outros grupos de dinossauros, como pegadas tridáctilas.

Ambiente sedimentar e os morfotipos de pegadas identificados

Nos arenitos do afloramento Cascavel (ST01), o primeiro descoberto, é possível observar a maior densidade e icnodiversidade de traços, com pegadas de saurópodes de variados tamanhos, acompanhadas de pegadas de terópodes, ornitópodes e pegadas relacionadas a tireóforos. Afloramentos nesta região foram interpretados como fácies de canal e planície de inundação, semelhante à interpretação de Reis *et al.* (1994).

Em paraconglomerado (afloramento Cipó, ST03), nas proximidades da Falha de Lethem, ocorre uma icnofauna semelhante. Estes afloramentos indicam fácies de leques aluviais e planície de inundação, possivelmente relacionados com as interpretações de Wankler (2016). Uma descoberta interessante nesta região foi a presença de drusas e geodos como parte do arcabouço do conglomerado, com pouco ou nenhum retrabalhamento, indicando hidrotermalismo.

A maior parte das pegadas de dinossauros encontradas na Formação Serra do Tucano são de saurópodes, e estas, em maior parte arredondadas e sem dígitos plenamente identificáveis. As características morfológicas das pegadas melhor preservadas permitem o agrupamento em dois morfotipos principais (Figura 2). O primeiro, morfotipo A, possui formato mais elíptico e presença de garras orientadas da parte anterior

para uma das das laterais, similares ao *Brontopodus birdi* (Farlow *et al*., 1989). Apenas pegadas pes são aqui atribuídas a este morfotipo com os dados até então disponíveis. As pegadas do morfotipo B são mais circulares e podem apresentar dígitos identificáveis e distribuídos da porção anterior para as laterais das pegadas. Em raros casos é possível diferenciar impressões de pes de manus para este segundo morfotipo.

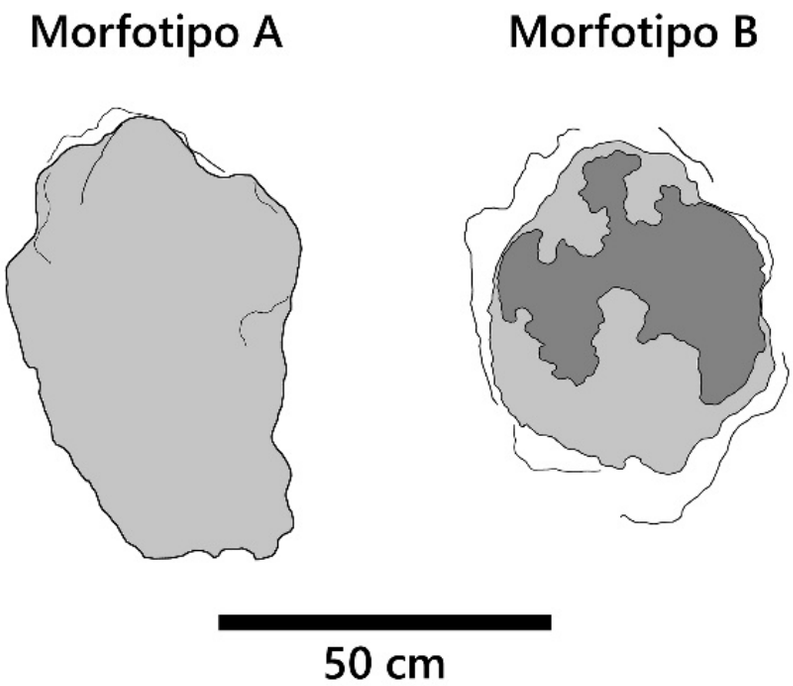


Figura 2 – Espécimens ST06-76p (direita) e ST01-75-03p (esquerda), representando os morfotipos A e B de pegadas de saurópodes encontradas na Formação Serra do Tucano. tanto em fácies de canal, como em fácies de leques aluviais relacionados à Falha de Lethem.

DISCUSSÕES

Além de Roraima, no Maranhão (Bacia do Parnaíba), Carvalho *et al*. (2003) descrevam um saurópode ainda nos limites legais da Amazônia brasileira (Aptiano-Albiano). Entretanto, esta ocorrência está limitada ao nordeste brasileiro. Os únicos somatofósseis de dinossauros encontrados na região mais central da Amazônia são dois dentes de terópodes encontrados em um furo de sondagem (Price, 1960; Ribeiro *et al*., 2024).

A ocorrência de muitas pegadas de saurópodes por afloramento atrelada a presença de ornitópodes, tireóforos, terópodes, sugere que o sistema hídrico que existia no vale rifte da Bacia do Tacutu abrigava um ecossistema complexo, caracterizado pela presença de vegetação arbustiva e arbórea (Souza *et al*., 2009), que por sua vez sustentaria uma fauna diversificada de pequenos à gigantescos dinossauros herbívoros, além de terópodes também diversificados (Barros *et al*., 2024).

Em alguns casos, os Morfotipos A e B ocorrem em mesmo afloramento, indicando que mais de um grupo de saurópodes, taxonomicamente distintos, coexistiam no vale rifte durante o Cretáceo inferior. Entretanto, ainda é cedo para relacionar a evidência de hidrotermalismo na Falha de Lethem com relações paleoambientais.

CONCLUSÕES

Os dados aqui apresentados são apenas as primeiras evidências da importância do antigo vale rifte da Bacia do Tacutu para os dinossauros cretáceos desta região do globo. Logo, este trabalho corrobora no enriquecimento do conhecimento sobre os saurópodes que habitaram a região amazônica durante o Cretáceo, ajudando a preencher a lacuna paleobiogeográfica do Cretáceo Inferior para esta região da América do Sul. Neste sentido, os icnofósseis de dinossauros ampliam perspectivas positivas para o futuro de pesquisas nesta temática na Bacia do Tacutu, contribuindo para a criação de geoparque e gerando oportunidades de geoturismo.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar nossa gratidão aos voluntários que auxiliaram na limpeza dos vestígios durante as expedições. Também somos gratos aos proprietários de terra que, embora prefiram permanecer anônimos, permitiram a realização da pesquisa em suas propriedades. Este trabalho contou com o apoio da Universidade Federal de Roraima, da Universidade Federal do Pampa e da CAPES. FLP contou com o financiamento do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq 316811/2021-1, 406902/2022-4).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Price. L.I. 1960. Dentes de Theropoda num testemunho de sonda no Estado do Amazonas.

Ribeiro, T.B., Albuquerque, A.S., Bragança, T., Pereira, P.V.L.G.C. 2024. A lost tooth in the jungle: revisiting the sole dinosaurian record from northern Brazil. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 96(1): e20231180.

Carvalho, I., Avilla, L.S., Salgado, L. 2003. Amazonsaurus maranhensis gen. et sp. nov. (Sauropoda, Diplodocoidea) from the Lower Cretaceous (Aptian-Albian) of Brazil. Cretaceous Research 24, 697-713.

Costa, L.M. 1991. Aspectos Geológicos Dos Lateritos Da Amazônia. Revista Brasileira de Geociências, 21(2), 146-160.

Crawford, F.D., Szelewski, C.E., Alvey, G.D. 1985. Geology and exploration in the Takutu Graben of Guyana-Brazil. Journal of Petroleum Geology 8, 5-36.

Eiras, J.F., Kinoshita, E.M. 1988. Evidências de movimentos transcorrentes na Bacia do Tacutu. Boletim de Geociências da Petrobras 2, 193-208.

Eiras, J.F., Kinoshita, E.M., Feijó, F.J. 1994. Bacia do Tacutu. Boletim de Geociências da Petrobras 8(1), 83-89.

Souza, V.D., Vieira, C.E.L., Costa, J.A.V.D., Matos, S.C.D., Soares, V.M.A., 2009. Ocorrência de lenhos fósseis na Bacia do Tacutu, Roraima. Revista Acta Geográfica 3(5), 73-77.

Vaz, P.T., Filho, J.R.W., Bueno, G.V. 2007. Bacia do Tacutu. In: Boletim de Geociências 15, Petrobras, 289-297.

Wankler, F.L. 2016. Estudo faciológico da Formação Serra do Tucano - Roraima: estado de arte e perspectivas. In: Holanda, E.C., Neta, L.C.B. (eds). Geociências na Pan--Amazônica 1, 113-139.

Thulborn, T. 1990. Dinosaur tracks. Chapman and Hall.

Reis, N.J., Nunes, N.S.V., Pinheiro, S.S. 1994. A Cobertura Mesozóica do Hemigraben Tacutu - Estado de Roraima. Uma abordagem ao Paleo-ambiente da Formação Serra do Tucano. In: Anais, Congresso Brasileiro de Geologia 38 (SBG) 3, 234-235.

Hammen (van der), T., Burger, D. 1966. Pollen flora and age of the Takutu Formation, Guyana. Leidse Geologische Mededelingen 38, 173-180.

Falkingham P.L., Marty D., Richter A., 2016. Dinosaur Tracks: The Next Steps. Indiana University Press.

Leonardi, G. 1987. Glossary and Manual of Tetrapod Footprint Paleoichnology. CPRM.

Holanda, J.L.R., Marmos, J.L., Maia, M.A.M. 2014. Geodiversidade do estado de Roraima. In: Programa Geologia do Brasil, Levantamento da Geodiversidade. CPRM.

Farlow, J.O., Pittman, J.G., Hawthorne, J.M. 1989. Brontopodus birdi, Lower Cretaceous dinosaur footprints from the U.S. Gulf Coastal Plain. Dinosaur Tracks and Traces. Cambridge University Press, Cambridge, 371–394.

PERFIS DE RAIOS-GAMA REVELAM CICLOS ORBITAIS EM DEPÓSITOS DO MIOCENO MÉDIO NA BACIA DO SOLIMÕES, AMAZÔNIA OCIDENTAL

Luciana Rigon Carneiro Duarte[1,2]; Karlos Guilherme Diemer Kochhann[1,2]; Franciele Agnesa Trentin[2]; Marcus Vinicius Lermen Kochhann[3]; Lilian Maia Leandro[2]; Rita Fabiane Guasina de Oliveira[2]; Carlos D'Apolito[4]; Jorge Villegas Martín[2]

[1]Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS; [2] Instituto Tecnológico de Paleoceanografia e Mudanças Climáticas – itt OCEANEON; [3] Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo - IGc-USP; [4]Universidade Federal do Acre – UFAC

lrduarte@unisinos.br; kkochhann@unisinos.br; ftrentin@edu.unisinos.br; marcus.kochhann@usp.br; lilian.maialeandro@gmail.com; rita.fabi@gmail.com; carlosdapolito@gmail.com; jorgevm@unisinos.br

RESUMO

O presente estudo investiga padrões cíclicos na deposição de sedimentos miocênicos da Bacia do Solimões, analisando um intervalo de 100 metros do testemunho 1-AS-105-AM. O intervalo estudado da Formação Solimões registra a transição Languiano-Serravaliano Mioceno Médio, contemporânea à Transição Climática do Mioceno Médio (TCMM) e à fase *megalake* do sistema Pebas de áreas alagadas. Para a análise cicloestratigráfica, utilizamos o perfil de radiação gama como proxy paleoambiental. A presença de ciclos orbitais e as taxas de sedimentação foram investigadas por meio da análise espectral *multitaper* (MTM) e do método TimeOpt. Combinando as taxas de sedimentação estimadas nesse estudo com esquemas palinoestratigráficos estratigráficos para a região, observamos ciclos de excentricidade curta (~96–126 ka; 8,9–6,9 m), obliquidade (~40 ka; 2,8 m) e precessão (~24 ka; 4,2 m). As taxas de sedimentação variaram entre 7,0, 13,0 e 17,5 cm ka^{-1}, aumentando em direção ao topo da seção estudada.

PALAVRAS-CHAVE: Ciclos orbitais, Sistema Pebas, Taxa de sedimentação, Transição Climática do Mioceno Médio (TCMM)

INTRODUÇÃO

Durante o Mioceno Médio, o Sistema Pebas — um sistema de zonas úmidas epicontinentais associado à subsidência das bacias de antepaís subandinas (por exemplo, Cooper *et al*., 1995; Roddaz *et al.*, 2005) e à elevação dos Andes (Hoorn *et al*., 2010) — desenvolveu-se na Amazônia ocidental. Na seção Los Chorros, que registra o sistema Pebas na Amazônia colombiana, Hoorn *et al*. (2022) sugeriram que os sedimentos foram depositados em oito ciclos sedimentares durante a última fase do Ótimo Climático do Mioceno (OCM), provavelmente, controlados por ciclos de obliquidade (41 ka) e/ou precessão (23 ka).

As zonas úmidas do sistema Pebas podem ter desempenhado um papel importante na dinâmica climática e no ciclo do carbono durante o Mioceno. Por exemplo, recorrentes eventos de aquecimento global ocorreram durante o OCM (16,9–14,7 Ma; Holbourn *et al.,* 2014, 2015). Após o OCM, ocorreu a Transição Climática do Mioceno Médio

(TCMM), marcada pela queda progressiva nas temperaturas e expansão do manto de gelo da Antártica (~13,8 Ma; e.g., Holbourn *et al.,* 2005; 2014). Esses eventos também registraram ciclos orbitais em proxies paleoclimáticos.

Neste trabalho, realizamos uma análise cicloestratigráfica de alta resolução do registro de raios-gama do testemunho sedimentar 1-AS-105-AM, localizado na Bacia do Solimões. Esse intervalo estratigráfico correspondente à fase *megalake* do Sistema Pebas.

MATERIAIS E MÉTODOS

No presente estudo, analisamos o intervalo compreendido entre 50 m e 147 m de profundidade do testemunho 1-AS-105-AM, perfurado pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB; antiga Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais – CPRM) na década de 1970 (Maia *et al*., 1977). Este testemunho está localizado na Bacia do Solimões, estado do Amazonas, Brasil (4,25°S, 69,93°O; Fig. 1) e o intervalo estudado é inteiramente atribuído à Formação Solimões.

A série temporal de radiação gama (RG) do testemunho 1-AS-105-AM (Jorge *et al*., 2019), coletada em resolução amostral de 9 cm, foi processada e analisada com métodos estatísticos e espectrais no software Acycle (Li *et al*., 2019). Para testar a presença de ciclos orbitais realizamos as análises harmônica evolutiva (EHA), por meio da transformada rápida de *Fourier* evolutiva (eFFT), e *multitaper* (MTM). As taxas de sedimentação foram estimadas com o algoritmo TimeOpt, testando sua relação com ciclos orbitais usando simulações de Monte Carlo e dados astronômicos.

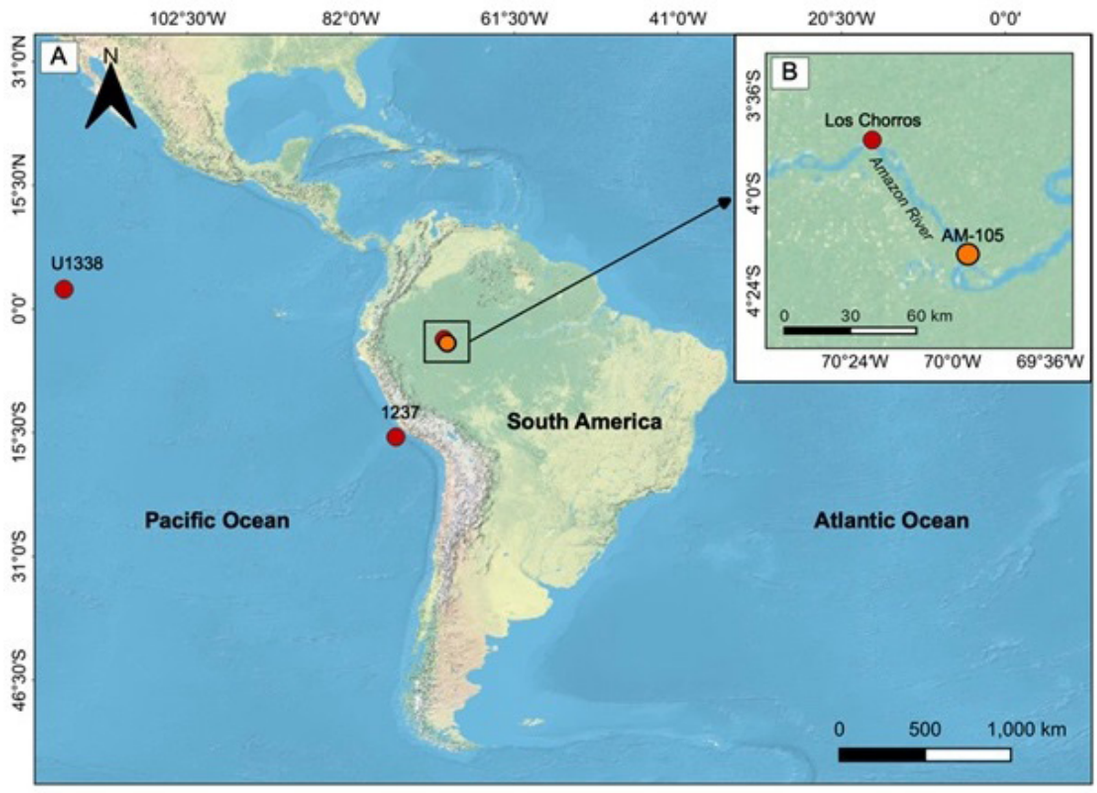


Figura 1 – Localização do testemunho 1-AS-105-AM na Amazônia Ocidental, Brasil (círculo laranja). Outros locais discutidos (círculo vermelho). Mapa gerado no QGIS com imagem do Google Satélite (2020).

RESULTADOS

A análise harmônica evolutiva (EHA) do registro gama do testemunho 1-AS-105-AM revela dois intervalos distintos de ciclicidade orbital (Fig.2):

- *Intervalo 1 (147,0–90,0 m):* Caracteriza-se por um ciclo de baixa frequência relativamente estável (~0,1 ciclo m^{-1}), associado a picos espectrais significativos com períodos de 8,9–6,9 m e 2,8 m, com níveis de confiança (NC) >95%.

- Intervalo 2 (90,0–50,0 m): Apresenta um deslocamento dos ciclos para frequências mais altas. Os principais picos espectrais possuem períodos de 4,2 m e 2,2 m (NC > 95%).

As taxas de sedimentação estimadas pelo método TimeOpt, sugerem um aumento gradual das taxas de sedimentação ao longo do intervalo estudado, variando de 7 cm ka^{-1} entre 147,0–97,0 m , 13,0 cm ka^{-1} entre 97,0–80,0 m e 17,5,0 cm ka^{-1} entre 80,0–50,0 m , com valores de p <0,05.

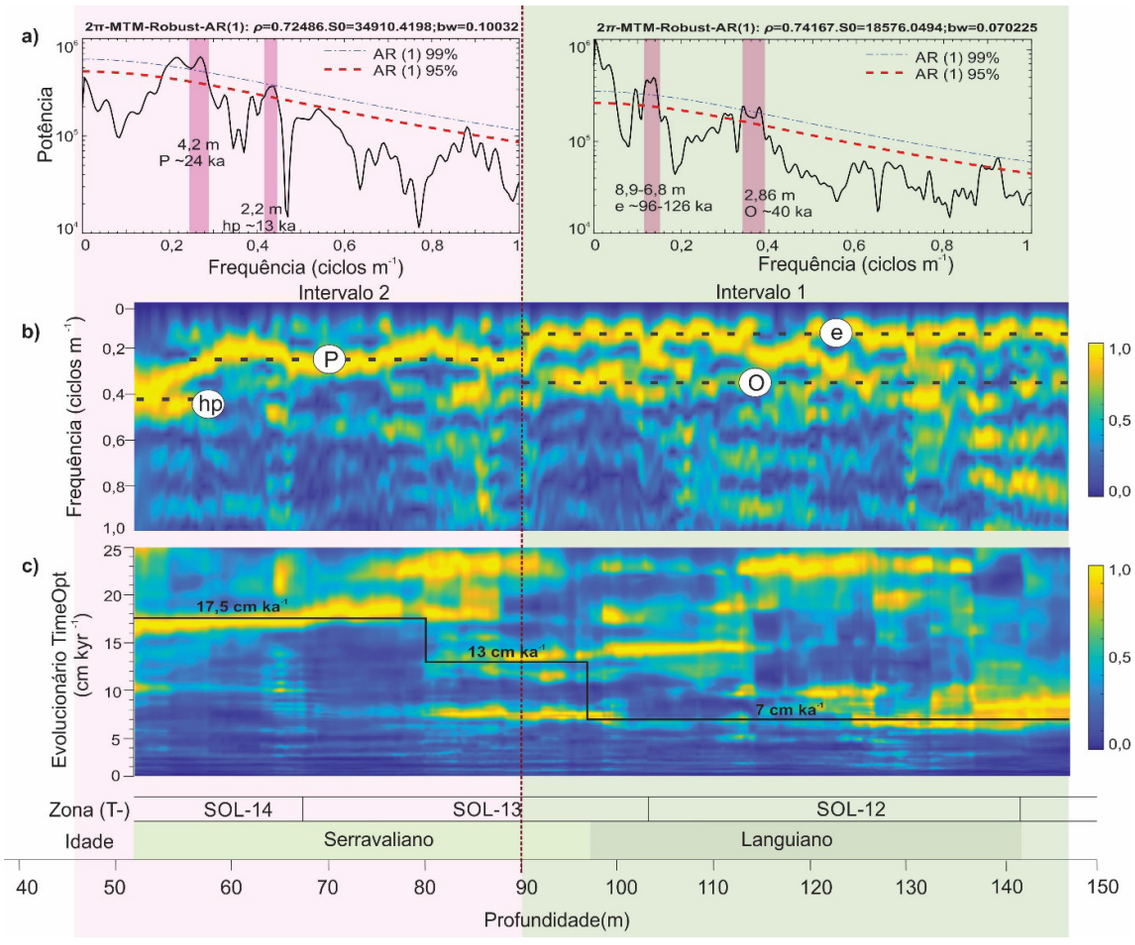


Figura 2 – Análise espectral do registro gama do testemunho 105-AM. a) Espectros de potência MTM com modelo AR(1) de ruído vermelho, mostrando intervalos de confiança de 95% e 99% para os intervalos 1 e 2. b) Espectrograma eFFT, mostrando a evolução espectral ao longo do tempo. c) Taxas de sedimentação estimadas pelo método evolucionário TimeOpt. A bioestratigrafia segue Jaramillo *et al*. (2024). A linha tracejada vermelha marca a discordância entre os intervalos 1 e 2.

DISCUSSÕES

Considerando as taxas de sedimentação estimadas para o testemunho 1-AS-105-AM pelo método TimeOpt, os ciclos representativos do intervalo 1 correspondem às periodicidades orbitais de curta excentricidade (~96–126 ka) e obliquidade (~40 ka). Já, os ciclos estatisticamente significantes do intervalo 2 foram associados a ciclos de precessão (~24 ka) e semiprecessão (~13 ka) (Fig.2).

Estas frequências orbitais são comparáveis àquelas registradas na seção Los Chorros, na Amazônia colombiana (Hoorn *et al*., 2022). No contexto climático global do Mioceno Médio, a mudança de frequências orbitais dominantes entre o Languiano e o Serravaliano no testemunho 1-AS-105-AM, são condizentes com as mudanças de forçantes orbitais registradas em testemunhos marinhos profundos ao longo da TCMM (e.g., Holbourn *et al*., 2005; 2014).

CONCLUSÕES

A série de GR do testemunho 1-AS-105-AM registrou ciclos de excentricidade curta, obliquidade e precessão nos sedimentos depositados na fase *megalake* do sistema de áreas. As taxas de sedimentação estimadas no presente estudo são mais elevadas, em relação àquelas baseadas em estudos palinoestratigáficos (Leandro *et al*., 2022; Jaramillho *et al*., 2017, 2024), sugerem a ocorrência de significativas discordâncias na sucessão sedimentar da Formação Solimões, condizentes com ambientes lacustres (com influência marinha) -fluviais altamente dinâmicos.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pelo Instituto Serrapilheira (processo 2211-42048) e pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS; processo: 23/2551-0001594-3) como parte do projeto "*As áreas úmidas da Amazônia foram fontes ou sumidouros de carbono durante estados de aquecimento global passados?"*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cooper, M.A., Addison, F.T., Alvarez, R., Coral, M., Graham, R.H., Hayward, A.B. *et al*. (1995) Basin development and tectonic history of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia. Am Assn Petrol Geol Bull 79, 1421–1443.

Holbourn, A.E., Kuhnt, W., Lyle, M., Schneider, L., Romero, O., & Andersen, N. (2014). Middle Miocene climate cooling linked to intensification of eastern equatorial Pacific upwelling. Geology 42, 19–22.

Holbourn, A., Kuhnt, W., Kochhann, K.G., Andersen, N., & Sebastian Meier, K.J. (2015). Global perturbation of the carbon cycle at the onset of the Miocene Climatic Optimum. Geology. 43 (2), 123-126.

Holbourn, A.E., Kuhnt, W., Schulz, M., & Erlenkeuser, H. (2005). Impacts of orbital forcing and atmospheric carbon dioxide on Miocene ice-sheet expansion. Nature, 438, 483–487.

Hoorn, C., Wesselingh, F.P., Ter Steege, H., Bermudez, Ma., Mora, A., Sevink, J., *et al*. (2010). Amazonia through time: Andean uplift, climate change, landscape evolution, and biodiversity. Science, 330(6006), 927-931.

Hoorn, C., Kukla, T., Bogotá-Angel, G., van Soelen, E., González-Arango, C., Wesselingh, F.P., *et al*. (2022). Cyclic sediment deposition by orbital forcing in the Miocene wetland of western Amazonia? New insights from a multidisciplinary approach. Global and Planetary Change, 210, 103717.

Jaramillo, C., Romero, I., D'apolito, C., Bayona, G., Duarte, E., Louwye, S., *et al*. (2017). Miocene flooding events of Amazonia. Science Advances, 3, 1-11.

Jaramillo, C.A., D'Apolito, C., Silva-Caminha, S.A.F.D., & Caballero-Rodriguez, D. (2024). A palynological zonation for the Neogene of the Solimões/Amazon basin, northwestern Amazonia. Palynology, 1–80.

Leandro, L.M., Linhares, A.P., Mota, M.A.D.L., Fauth, G., Santos, A., Villegas-Martín, J., *et al*. (2022). Multi-proxy evidence of Caribbean-sourced marine incursions in the Neogene of Western Amazonia, Brazil. Geology. 50(4), 465-469.

Li, M., Huang, C., Ogg, J., Zhang, Y., Hinnov, L., Wu, H., ... & Zou, Z. (2019). Paleoclimate proxies for cyclostratigraphy: Comparative analysis using a Lower Triassic marine section in South China. Earth-Science Reviews, 189, 125-146.

Maia, R.G., Godoi, H.K., Yamaguti, H.S., Moura, P.A.D., Costa, F.S.F.D., Holanda, M.A.D., *et al*. (1977). Projeto Carvão No Alto Solimões: Relatório Final CPRM. Departamento Nacional de Produção Nacional, Brasil, 142.

Roddaz, M., Baby, P., Brusset, S., Hermoza, W., Darrozes, J.M. (2005). Forebulge dynamics and environmental control in Western Amazonia: The case study of the Arch of Iquitos (Peru). Tectonophysics 399, 87–108.

INCURSÕES MARINHAS NO NEÓGENO DA AMAZÔNIA OCIDENTAL: EVIDÊNCIAS MICROPALEONTOLÓGICAS E GEOQUÍMICAS

Lilian Maia Leandro[1]; Ana Paula Linhares[2]; Marcelo A. Lira Mota[3]; Alessandra Santos[1]; Gerson Fauth[1,4]; Jorge Villegas-Martin[1]; Carlos Eduardo L. Viera[5]; Mauro Bruno D. Rodrigues[1]; Simone Baecker-Fauth[1]; Fernando M. Lopes[1]; Luciana Rigon Carneiro Duarte[1]

[1]Instituto Tecnológico de Paleoceanografia e Mudanças Climáticas (itt Oceaneon), Unisinos, São Leopoldo, RS, Brasil; [2]Museu Paraense Emílio Goeldi, Coordenação de Ciências da Terra e Ecologia, Belém, PA, Brasil; [3]Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brazil; [4]Programa de Pós-graduação em Geologia, Unisinos, São Leopoldo, RS, Brasil; [5]Universidade Federal de Roraima - UFRR.

lmleandro@unisinos.br; anapaula.linhares81@gmail.com; marcelomota@usp.br; alepalino@gmail.com; gersonf@unisinos.br; jvillegasmartin@gmail.com; carlos.vieira@ufrr.br; dbruno@unisinos.br; sbfauth@unisinos.br; fernandomarcanthlopes@gmail.com; lrduarte@unisinos.com

RESUMO

A compreensão das inundações marinhas na Amazônia Ocidental durante o Neógeno permanece um tema em debate, apesar das diversas evidências apresentadas por múltiplos *proxies*. Este estudo contribui para essa discussão por meio da análise geoquímica e do estudo de microfósseis calcários e orgânicos em seis testemunhos terrestres de sequências Neógenas da Bacia do Solimões, localizada na Amazônia Ocidental, Norte do Brasil. Os resultados indicam uma influência marinha reduzida durante o Mioceno inferior (23,0, 21,1, 18,6 e 16,3 Ma), Mioceno médio (14,9, 13,7 e 12,9 Ma) e na base do Plioceno (4,7, 4,2–4,1 e 3,8 Ma). Por outro lado, evidências robustas de incursões marinhas foram detectadas no Mioceno superior (11,1–8,8 Ma), destacadas pela presença constante de microfósseis indicadores de salinidade, dados geoquímicos, algas e crustáceos marinhos. Esse achado desafia a visão tradicional que sugere grandes incursões marinhas no Mioceno inferior e médio. Propõe-se um novo evento de incursão no Mioceno superior, denominado *Late Miocene Incursion* (LMI), como o principal episódio de inundação marinha na região durante o Neógeno. A análise comparativa com três testemunhos offshore dos oceanos Atlântico e Pacífico revelou semelhanças entre as assembleias de microfósseis da Bacia do Solimões e do Mar do Caribe, além de indícios do aumento do escoamento do sistema de drenagem do Rio Orinoco. Esses dados sugerem fortemente que o Mar do Caribe foi a principal fonte das incursões marinhas, suportando a hipótese de uma rota marítima venezuelana. Ademais, os dados indicam, pela primeira vez, uma possível relação entre as incursões neógenas, especialmente o LMI, e grandes perturbações no ciclo global do carbono. A análise dos eventos do Mioceno na região amazônica, incluindo o Ótimo Climático do Mioceno Médio e o Máximo Termal do Tortoniano, oferece um valioso análogo para compreender as mudanças climáticas atuais e futuras.

PALAVRAS-CHAVE: Amazônia; incursão marinha, mioceno médio e superior, Formação Solimões.

INTRODUÇÃO

O Neógeno foi marcado por profundas transformações geológicas e ambientais que moldaram a fisiografia atual do planeta, afetando a dinâmica climática, a configuração dos oceanos e a biodiversidade global. Na América do Sul, esse período foi caracterizado por intensos eventos tectônicos, como a elevação progressiva das Cordilheiras dos Andes, o início do fechamento do Istmo do Panamá e a reorganização das drenagens continentais, incluindo o fluxo do rio Amazonas (Figueiredo *et al*., 2009; Jaramillo *et al.,* 2017). Essas mudanças exerceram forte influência sobre os padrões paleoambientais e biogeográficos da região amazônica.

Nas últimas décadas, estudos geológicos e micropaleontológicos vêm buscando compreender a ocorrência e a extensão de possíveis ingressões marinhas na Bacia do Solimões durante o Mioceno. As primeiras evidências da presença de palinomorfos marinhos na Amazônia Ocidental foram registradas por Hoorn (1993), representando um marco no reconhecimento dessas incursões. Desde então, diversos trabalhos vêm ampliando o conhecimento sobre essas influências marinhas, utilizando dados de microfósseis (palinomorfos, foraminíferos e ostracodes), geoquímica e sedimentologia (ex.: Hoorn *et al*., 1995; D'Apolito *et al*., 2016; Sá *et al.,* 2017; Linhares *et al*., 2019; Leandro *et al.,* 2022).

Grande parte dessas pesquisas foi baseada em testemunhos de sondagem do Projeto "Carvão do Alto Solimões", que abrangem intervalos do Mioceno ao Pleistoceno e têm contribuído significativamente para o entendimento da história paleoambiental da região.

Diante desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo identificar e caracterizar a ocorrência de microfósseis marinhos em testemunhos da Amazônia Ocidental, correlacionar esses dados com registros de poços do Peru, da Venezuela e do Alto do Ceará, e inferir sobre os possíveis portais de entrada das incursões marinhas na região durante o Neógeno.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo baseia-se na análise integrada de microfósseis (palinomorfos, ostracodes e foraminíferos) e dados geoquímicos provenientes de amostras de testemunhos de perfuração coletados em regiões estratégicas da América do Sul. Foram analisadas amostras de três furos oceânicos do programa Deep Sea Drilling Project (DSDP), distribuídos nas seguintes localidades: Peru (Leg 34, Site 321 – 95 amostras), Venezuela (Leg 15, Site 153 – 36 amostras) e Brasil (Leg 39, Site 354 – 57 amostras).

Além disso, foram incluídos seis testemunhos continentais do Projeto "Carvão do Alto Solimões", perfurados pelo SGB-CPRM no noroeste do estado do Amazonas: 1AS-7D-AM (112 amostras), 1AS-8-AM (83 amostras), 1AS-31-AM (109 amostras), 1AS-51-AM (27 amostras), 1AS-52-AM (18 amostras) e 1AS-105-AM (90 amostras).

As amostras foram preparadas segundo protocolos micropaleontológicos e geoquímicos para reconstrução paleoambiental e identificação de eventos de incursão marinha durante o Neógeno.

RESULTADOS

As assembleias de microfósseis dos testemunhos da Bacia do Solimões são ricas e bem preservadas, permitindo a definição de seis biozonas de esporomorfos e duas de ostracodes, cobrindo o intervalo entre o Mioceno inferior (23,0 Ma) e o Plioceno inferior (3,8 Ma). A palinoflora é altamente diversa, com presença significativa de palinomorfos marinhos, como cistos de dinoflagelados (principalmente Operculodinium e Spiniferites), escolecodontes e palinoforaminíferos (Fig. 1). Esses elementos são mais abundantes no Mioceno superior (11,0–10,5 Ma).

As análises de foraminíferos revelaram formas bentônicas (ex. Amphistegina, Quinqueloculina), euri-halinas (Ammonia), aglutinadas (Miliammina, Textularia) e algumas planctônicas (Globigerina, Globorotalia) (Fig. 1). A fauna de ostracodes é dominada por Cyprideis, com mais de 90% da abundância e mais de 30 espécies identificadas. Outros gêneros marinhos e de água salobra também foram encontrados, como Pellucistoma e Skopaeocythere (Fig. 1), além de formas dulcícolas como Cypria.

Picos na abundância de microfósseis calcários foram registrados entre 11,1 e 8,8 Ma. Os teores de $CaCO_3$ atingem até 36% por volta de 10,9–10,1 Ma e 28% em 8,5 Ma. O índice S/TOC também mostra aumentos significativos em diversos intervalos, com destaque para 10,5–10,4 Ma (~10,0). A razão δ^{13}Corg permanece relativamente estável (~25‰), exceto por uma excursão positiva acentuada (~18‰) em 10,0 Ma. As razões TOC/TN variam entre os testemunhos, com 1AS-52-AM apresentando valores consistentemente baixos (<10).

Nos testemunhos DSDP, o Site 153 (Mar do Caribe) é rico em dinocistos e escolecodontes; o Site 354 (Alto do Ceará) tem baixa abundância de palinomorfos; e o Site 321 (Bacia do Peru) contém poucos dinocistos, mas abundantes radiolários. No Site 153, observou-se aumento do índice peridinióide/gonialacóide e de cistos retrabalhados entre 9,9 e 9,0 Ma, indicando maior influência marinha nesse intervalo.

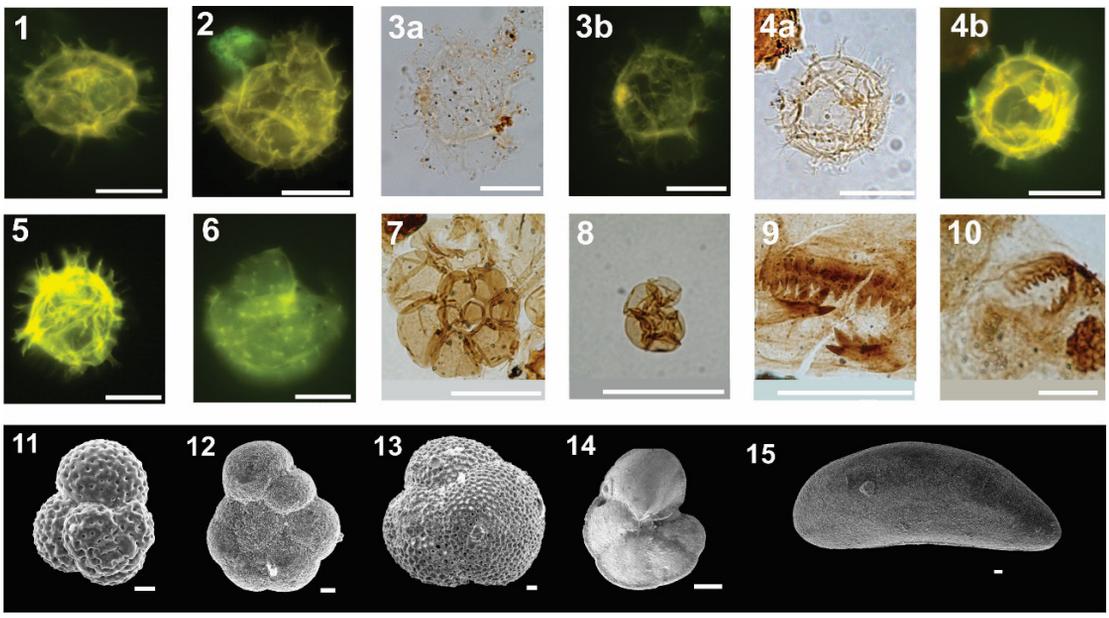


Figura 1. Microfósseis marinhos orgânicos e calcários provenientes de testemunhos de sedimento da Bacia do Solimões (Brasil). (1–6) Cistos de dinoflagelados: *Homotryblium* sp. (1); *Spiniferites* sp. (2, 4.1, 4.2); *S. mirabilis* (3.1, 3.2); *S. ramosus* (5); *Operculodinium centrocarpum* (6). (7,8) Revestimentos de foraminíferos. (9,10) Escolecodontes. (11–14) Foraminíferos: *Ammonia tepida* (11); *Globigerinoides* sp. (12,13); *Globorotalia* sp. (14). (15) Ostracodes: *Paracypris* sp. (15). Fonte das fotos 14–15: Linhares *et al*. (2011, 2017). Escala 20 µm.

DISCUSSÕES

A presença contínua de microfósseis marinhos indicativos de salinidade (ex.: dinocistos, foraminíferos e ostracodes) em testemunhos da Formação Solimões (Amazônia Ocidental) revela episódios de influência marinha entre o Mioceno Inferior e o Mioceno Superior, com destaque para uma importante incursão no Mioceno Superior (11,1–8,8 Ma) — a chamada Late Miocene Incursion (LMI) (Linhares *et al.,* 2011; Wei & Algeo, 2019).

No Mioceno Inferior (23–16 Ma), a associação predominante de dinocistos, palinoforaminíferos e grãos de pólen de mangue (Zonocostites ramonae) indica ambientes transicionais bem desenvolvidos (Hoorn, 1993; Jaramillo *et al.,* 2017). Já no Mioceno Médio (14,9–12,9 Ma), microfósseis calcários marinhos/salobra aparecem em menor quantidade (Antoine *et al*., 2016).

Durante a LMI, houve aumento expressivo de dinocistos e, posteriormente, substituição por foraminíferos planctônicos (Globigerina, Globigerinoides, Globorotalia), sugerindo uma inundação marinha mais profunda (Linhares *et al*., 2011). Esse evento coincide com um pico positivo em δ^{13}Corg (~18‰), interpretado como reflexo da entrada de carbono marinho rico em ^{13}C na região (Ridgwell & Arndt, 2015), reforçando a origem oceânica da incursão.

A comparação dos microfósseis da Amazônia com registros do Mar do Caribe, Atlântico Equatorial e Pacífico Oriental mostra semelhanças taxonômicas (Operculodinium, Spiniferites, Globigerinoides), sugerindo uma conexão marinha pela Venezuela — o Venezuelan Seaway (Boonstra *et al*., 2015; Lundberg *et al*., 1998). Essa via seria viável durante o Mioceno, já que barreiras como os Andes Centrais e os Arcos Purus e Michicola dificultavam outras rotas.

Por fim, a LMI pode estar associada ao Tortonian Thermal Maximum (TTM; ~10,8 Ma), um período de aquecimento global e possíveis variações eustáticas rápidas (Westerhold *et al*., 2020; Gasson *et al.,* 2016). Assim, o evento fornece evidências sobre a instabilidade da criosfera no Mioceno Superior, considerado análogo climático ao futuro.

CONCLUSÕES

Os dados micropaleontológicos e geoquímicos dos testemunhos da Formação Solimões indicam múltiplas incursões marinhas na Amazônia Ocidental entre o Mioceno Inferior ao Superior, com destaque para uma intensa e mais profunda entrada marinha no Mioceno Superior (11,1–8,8 Ma). A presença de microfósseis marinhos e os padrões isotópicos sugerem conexão com o Mar do Caribe por meio de um *seaway* venezuelano. Esses eventos refletem oscilações eustáticas associadas ao aquecimento global do Mioceno e contribuem para a compreensão das respostas paleogeográficas e ambientais da região frente às mudanças climáticas do Neógeno.

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi financiado pela CAPES/IODP (processo nº 88887.091703/2014-01). Agradecemos ao Programa Internacional de Descoberta Oceânica (IODP) e ao Serviço Geológico do Brasil (CPRM) pelo fornecimento dos testemunhos, bem como ao Instituto Tecnológico de Paleoceanografia e Mudanças Climáticas (itt Oceaneon/ Unisinos) e ao Museu Paraense Emílio Goeldi pelo suporte laboratorial. G. Fauth agradece ao CNPq (bolsa nº 308087/2019-4). Agradecemos ainda pelas valiosas sugestões de Maria Antonieta Lorente, Richard D. Norris, Marcelo A. Carvalho, Carina Hoorn, Pierre-Olivier Antoine e Carlos Jaramillo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Antoine, P.-O., *et al*., 2016, A 60-million-year Cenozoic history of western Amazonian ecosystems in Contamana, eastern Peru: Gondwana Research, v. 31, p. 30–59, https://doi.org/10.1016/j.gr.2015.11.001.

Boonstra, M., Ramos, M.I.F., Lammertsma, E.I., Antoine, P.-O., and Hoorn, C., 2015, Marine connections of Amazonia: Evidence from foraminifera and dinoflagellate cysts (early to middle Miocene, Colombia/Peru): Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, v. 417, p. 176–194, https:// doi.org/10.1016/j.palaeo.2014.10.032.

D'Apolito, C. 2016. Landscape evolution in Western Amazonia: palynostratigraphy, palaeoenvironments and diversity of the Miocene Solimões Formation, Brazil. University of Brimingham, Tese de Doutorado, 350p.

Figueiredo, J., Hoorn, C., van der Vem, P., Soares, E. 2009. Late Miocene onset of the Amazon River and the Amazon deep sea fan: Evidence from the Foz do Amazonas Basin. Geology, 37:619-622.

Gasson, E., DeConto, R.M., Pollard, D., and Levy, R.H., 2016, Dynamic Antarctic ice sheet during the early to mid-Miocene: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v. 113, p. 3459–3464, https://doi.org /10.1073/ pnas.1516130113.

Hoorn, C., 1993, Marine incursions and the influence of Andean tectonics on the Miocene depositional history of northwestern Amazonia: Results of a palynostratigraphic study: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology,v. 105, p. 267–309, https://doi.org/10.1016/0031- 182(93)90087-Y.

Hoorn, Carina.; Guerreiro, J.; Sarmiento, G. 1995. Andean tectonics as a cause for changing dealing patterns in Miocene Northern South American. Geology, 23:237- 240. doi: 10.1130/0091-7613(1995)023<0237:ATAACF>2.3.CO;2

Jaramillo, C., *et al*., 2017, Miocene flooding events of western Amazonia: Science Advances, v. 3, e1601693, https://doi.org/10.1126/sciadv.1601693.

Leandro, L.M., *et al*., 2022, Multi-proxy evidence of Caribbean-sourced marine incursions in the Neogene of Western Amazonia, Brazil: Geology,

V 50 (4), p.465-469, https://doi.org/10.1130/G49544.1

Linhares, A.P., Ramos, M.I.F., Gross, M., and Piller, W.E., 2011, Evidence for marine influx during the Miocene in southwestern Amazonia, Brazil: Geología Colombiana, v. 36, p. 91–104.

Linhares, A.P., Gaia, V.C.S., and Ramos, M.I.F., 2017, The significance of marine microfossils for paleoenvironmental reconstruction of the Solimões

Formation (Miocene), western Amazonia, Brazil: Journal of South American Earth Sciences, v. 79, p. 57–66, https://doi.org/10.1016/j.jsames .2017.07.007.

Linhares, A.P., Ramos, M.I.F., Gaia, V.C.S., and Friaes, Y.S., 2019, Integrated biozonation based on palynology and ostracods from the Neogene of Solimões Basin, Brazil: Journal of South American Earth Sciences, v. 91, p. 57–70, https://doi.org /10.1016/j.jsames.2019.01.015.

Lundberg, J.G., Marshall, L.G., Guerrero, J., Horton, B., Malabarba, M.C.S.L., and Wesselingh, F.P., 1998, The stage for Neotropical fish diversification: A history of tropical South American rivers, in Malabarba, L.R., et al., eds., Phylogeny and Classification of Neotropical Fishes: Porto Alegre, Edipucrs, p. 13–48.

Ridgwell, A., and Arndt, S., 2015, Why dissolved organics matter: DOC in ancient oceans and past climate change, in Hansell, D.A., and Carlson, C.A., eds., Biogeochemistry of Marine Dissolved Organic Matter (second edition): Boston, Academic Press, p. 1–20, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-405940-5.00001-7.

Sá, N.P. 2017. Reconstituição Paleoambiental do Mioceno na porção oeste da Bacia do Solimões: Evidências a partir de análise palinológica. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 140 p.

Wei, W., and Algeo, T.J., 2019, Elemental proxies for paleosalinity analysis of ancient shales and mudrocks: Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 287, p. 341–366, https://doi.org/10.1016/j.gca .2019.06.034.

Westerhold, T., et al., 2020, An astronomically dated record of Earth's climate and its predictability over the last 66 million years: Science, v. 369, p. 1383–1387, https://doi.org/10.1126/science .aba6853.

ST3: MINERALOGIA, PETROLOGIA, TECTÔNICA E EVOLUÇÃO GEODINÂMICA

RARE AND POTENTIALLY NEW ACCESSORY MINERALS IN THE METAGABBRO OF THE NORTHERN OF GUIANA PROTEROZOIC GREENSTONE SHIELD (REPUBLIC OF GUYANA, SOUTH AMERICA)

Irina Galuskina[1], Sergei Abramov[2]

[1]Institute of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Silesia [2]Guyana Geology and Mine Commission

irina.galuskina@us.edu.pl; westabra@gmail.com

SUMMARY

This abstract presents a detailed mineralogical description of metamorphosed gabbro from the Proterozoic metamorphic greenstone belt in the northern Guiana Shield. The studied area is located in the north of the state of Guyana in the administrative district of Cuyuni-Mazaruni (6°54'0.42"N, 59°39'20.18"W). The rock contains two minerals for this region: xenotime-(Y) and rhabdophane-(Y), both ofwhich have a high Nd content. Preliminary data on potentially new minerals are also also provided.

KEYWORDS: metagabbro, xenotime-(Y), rhabdophane-(Y)-rabdophane-(Nd) series, potentially new minerals

INTRODUCTION

To date, 5 new minerals have been identified in two localities in the Republic of Guyana: the Merume and Potaro rivers in the Potaro-Siparuni region. Three of these minerals are chromium minerals: bracevellite (rhomb., Pbnm, a = 4.492, b = 9.860, c = 2.974 Å), guyanite (rhomb., Pnnm, a = 4.857, b= 4.295, c = 2.958 Å) and grimaldite (trig., R3m, a = 2.986, c =13.40 Å), which are polymorphs of CrO(OH) (Milton *et al*. 1976). These minerals were first identified in eskolaite in the alluvial pebble deposits of the Merume River in Guyana. They occur in the form of small tablets in association with quartz, chromium-bearing pyrophyllite, gold, silver and tourmaline (Shpachenko *et al*. 2006). The fourth chromium mineral from the Merume River, belonging to the delafossite group, is macconelite, CuCrO2 (trig., R3m, a = 2.983, c = 17.16 Å). The fifth mineral is potharite, PdHg (P4/mmm, a = 3.026, c = 3.702 Å), a palladium amalgam discovered in the Potaro River area.

Our preliminary studies of metagabbro from the West Aranka area of the Cuyuni-Mazaruni administrative region of Guyana (6°54'0.42"N, 59°39'20.18"W). have revealed some interesting mineralogical findings. The metagabbro mainly consists of pyroxene that has been replaced by an aggregate of titanium pargasite, albite, epidote-clinozoisite, hornblende, tremolite and clinochlore-chamosite. Accessory minerals include Mn-bearing ilmenite, titanite, baddeleyite, zircon, rutile, fluorapatite, chalcopyrite, covellite, chalcocite and baryte. This study focuses on the following phases: xenotime-(Y), minerals belonging to the rhabdophane-(Y)-rhabdophane-(Nd) series, cli-

nozoisite-mukhinite, REE-bearing epidote enriched in La and Nd, the Zr-Ti-Fe phase, and potentially new minerals, which are described below as phases 1 and 2. A detailed description of the geological setting of the area where the samples were collected can be found in Abramov *et al*. (2025, see this volume).

MATERIALS AND METHODS

Mineral studies were carried out using a MT9900 Meiji Techno optical microscope at GGMC (Georgetown, Guyana), as well as using a Phenom XL scanning microscope at the laboratory of the University of Silesia in Katowice (Poland). The chemical composition of the mineral was studied in the Cameca SX100 microprobe analysis laboratory at the University of Warsaw and Micro-Area Analysis Laboratory, Polish Geological Institute - National Research Institute (Poland). Chemical analyses of minerals were conducted in WDS-mode. Raman spectra of studied minerals were recorded on a WITec alpha 300R confocal Raman microscope (Institute of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences University of Silesia, Poland) equipped with an air-cooled solid state laser (532 nm) and a CCD camera operating at -61°C.

RESULTS

A brief description of sample WAS72-4A: the rock can be identified as metagabbro. Preserved in the rock relict grains are clinopyroxene, presumably of primary magmatic origin. The pyroxene has been replaced by pargasite. The plagioclase of the original gabbro has been replaced by a mixture of albite and epidote/clinozoisite. The most common accessory mineral in the rock is Mn-bearing ilmenite, containing up to 5 wt% MnO. This often forms a characteristic lattice structure reminiscent of magnetite-ilmenite solid solution decomposition structures after primary titanomagnetite ranging in size from 300 to 500 µm (Fig. 1D). Titanite appears as single xenomorphic grains up to 40 µm in size or replaces ilmenite along the edges of aggregates to form thin 3-5 µm outer zones. Baddeleyite is often preserved as relics within newly formed zircon and is rarely found in the form of irregular shaped micron-sized grains. Zircon is found in aggregates that have replaced baddeleyite completely while maintaining its shape. These aggregates measure more than 100 µm in length. Rutile occurs sporadically in the form of small, irregular grains measuring 20-40 µm. Fluorapatite forms euhedral prismatic crystals measuring 300-400 µm and is only found in certain zones of the rock.

Xenotime-(Y) and a mineral of the rhabdophane-(Y)-rhabdophane-(Nd) series were discovered in Guyana for the first time. Xenotime-Y forms prismatic crystals up to 20 µm in size. The mineral has the following composition:

$(Y_{0.38}Nd_{0.23}Ce_{0.08}Ca_{0.07}Sm_{0.06}Pr_{0.05}Dy_{0.05}Gd_{0.04}La_{0.03}Er_{0.02}Yb_{0.01})_{1.02}P_{1.01}O_{14}$

Rhabdophane belongs to the Y-Nd series and has the empirical formula:

$(Y_{0.32}Nd_{0.21}Ce_{0.11}Ca_{0.1}Gd_{0.07}Sm_{0.05}La_{0.04}Dy_{0.03}Pr_{0.03}Fe^{2+}_{0.02}Er_{0.01}Yb_{0.01})_{1.0}(P_{0.98}Si_{0.01})_{\Sigma 1}\times H_2O$ forms fan-shaped aggregates up to 30-40 microns in size (Fig. 1B). The composition of the studied rhabdophane aggregates contains also significant impurities of Ce_2O_3 up to 8 wt. % and Gd_2O_3 up to 6.5 wt. %.

Phase 1 is a potentially new mineral (Fig. 1C). Its empirical formula is as follows: $(Y_{0.86}Ca_{0.35}Nd_{0.20}Ce_{0.14}Gd_{0.10}Dy_{0.09}Sm_{0.07}Er_{0.05}Yb_{0.04}Pr_{0.03}La_{0.01}Fe^{2+}_{0.05})_{\Sigma 1.99}(Fe^{2+}_{0.73}Fe^{3+}_{0.22}Si_{0.04})_{\Sigma 0.99}(Zr_{1.98}Hf_{0.02})_{\Sigma 2}(Ti_{2.79}Zr_{0.15}N^{b5+}_{0.08})_{\Sigma 3.02}O_{14}$. The simplified formula of this mineral is $(Y,REE,Ca)_2Zr_2Ti_3Fe^{2+}O_{14}$. Most likely this mineral is related to zirconolite-type mineral.

The Raman spectrum of zirconolite-like phase contains the following bands (cm^{-1}): 157, 308, 376, 731, 783, 839. It reveals an absence of bands arised from H_2O, OH groups or $(CO_3)^{2-}$ groups. The bands in the 100–400 cm^{-1} range are due to (REE,Ca)–O-stretching and O–(Ti, Zr)–O bending vibrations. The strong bands at 783cm^{-1} with the shoulders at 731 cm^{-1} and 839 cm^{-1} are to be assigned to symmetric stretching vibrations of TiO_6 groups (Salamat *et al.,* 2013; Chukanov *et al*., 2019).

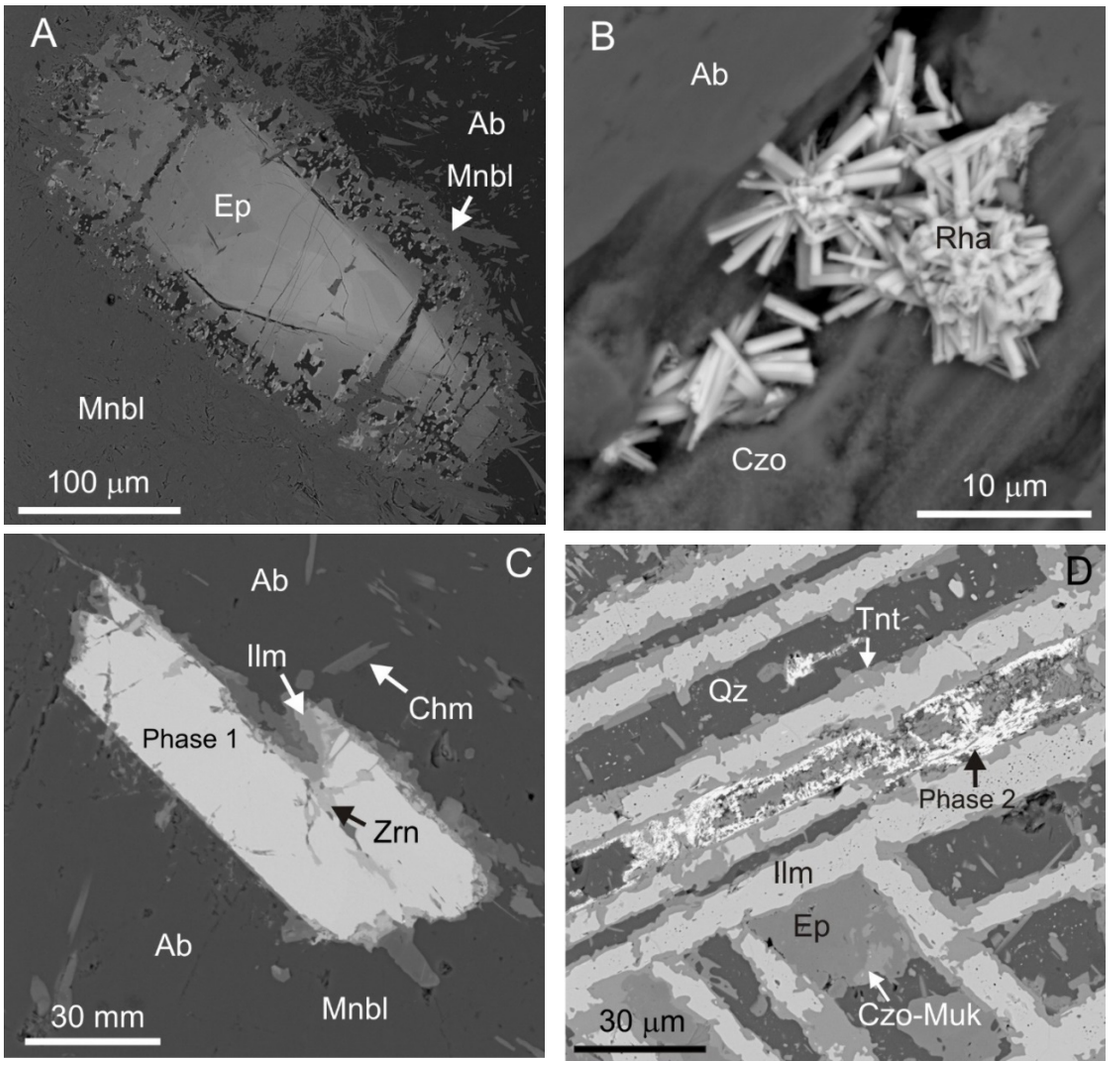


Fig. 1 A - REE-bearing epidote, mainly enriched in La and Nd; B - fan-shaped aggregates and single prismatic crystals of rhabdophane-(Y, Nd). C - Potentially new mineral - Phase 1, see description in the text. D - Potentially new mineral - Phase 2, see description in the text. In association with Phase 2 is a mineral of the clinozoisite-epidote-muhinite series. Abbreviations for mineral names: Ab - albite, Chm - chamosite, Czo – clinozoisite, Czo-Muk – mineral of intermediate composition of the clinozoisite-epidote-muhinite series, Ep – epidote, Ilm – ilmenite, Mnbl - magnesiohornblende, Qz – quartz, Rha – rhabdophane, Ttn – titanite, Zrn – zircon.

Another potentially new mineral, phase 2, is represented by the following empirical formula: $Ca_{0.95}(Y_{0.55}Nd_{0.54}Ce_{0.35}Gd_{0.22}Sm_{0.14}La_{0.10}Dy_{0.10}Er_{0.03}Pr_{0.02}Yb_{0.01})_{2.06}(Fe^{2+}_{0.76}Al_{0.70}Fe^{3+}_{0.28}Ti^{4+}_{0.18}Mg_{0.03})_{1.95}(V^{5+}_{2.51}Si_{1.53}P_{0.01})_{4.05}O_{16}$

The simplified formula can be written as $Ca(Y,Nd)_2(Fe^{2+},Al)_2(V^{5+},Si)_4O_{16}$. In this case, it is most likely an intermediate member of the series $CaY_2Fe_2{+}2V_5{+}4O_{16}$ - $CaNd_2Fe_2{+}2V_5{+}4O_{16}$ and $CaY_2Al_2V_5{+}2Si_2O_{16}$ - $CaNd_2Al_2V_5{+}2Si_2O_{16}$. Attention should be paid to the relatively high content of Ce_2O_3 of up to 8 wt. % and Gd_2O_3 of up to 5 wt. %, which is the same as in the case of rhabdophane. The grains of this mineral are irregularly shaped and measure up to 15 μm. This phase forms small, micron-sized grains within ilmenite lattice structures (Fig. 1D).

Due to the small size of the grains, obtaining of high-quality analyzes was difficult. However, this is undoubtedly a potentially new phase. Associated with phase 2 and found between the ilmenite lamellae is a mineral of the clinozoisite-epidote-mukhinite series with the following composition: $(Ca_{1.99}Fe^{2+}_{0.01})_1(Al_{2.12}Fe^{3+}_{0.41}V^{3+}_{0.41}Fe^{2+}_{0.03}Ti^{4+}_{0.03})O(Si_2O_7)[(Si_{0.99}Al_{0.01})O_4](OH)$.

4. DISCUSSIONS

Despite the Zr, Y and REE contents in the rock being at Clarke levels (Zr = 76 ppm, Y = 29.8 ppm, and sum of REE = 49 ppm), the sample under study is notable for the diversity of mineral forms of these elements, as well as the abundance of reaction relationships between them (Fig. 1). The textural relationships of the newly formed minerals, as well as their paragenesis, indicate that these mineral formation processes occurred under the influence of fluids that formed in serpentinites adjacent to gabbro (Abramov *et al*., 2025, this volume). The serpentinization processes produced a reduced fluid with low silica activity and high calcium activity, i.e., the fluid was weakly alkaline and possibly fluorine-bearing. Mineralogical confirmation of this is the absence of quartz among the newly formed minerals, the formation of almost pure clinozoisite, and the development of fluorapatite in association with xenotime.

It has been demonstrated that the alkaline fluid responsible for rodingitisation can transport Zr, Ti and P, as well as rare earth elements (Dubińska *et al*., 2004; Tsikouras *et al*., 2009). Consequently, the formation of rhabdophane-(Yb) and –(Nd), as well as the potentially new mineral – yttrium zirconolite, was caused by the dissolution and recrystallisation of primary gabbro minerals, including baddeleyite, zircon, apatite and titanomagnetite. As a result of such metamorphic (metasomatic?) transformations in metagabbros, minerals were formed in which concentration levels of REE and yttrium reach values of 10^5*Chondrite (Fig. 2).

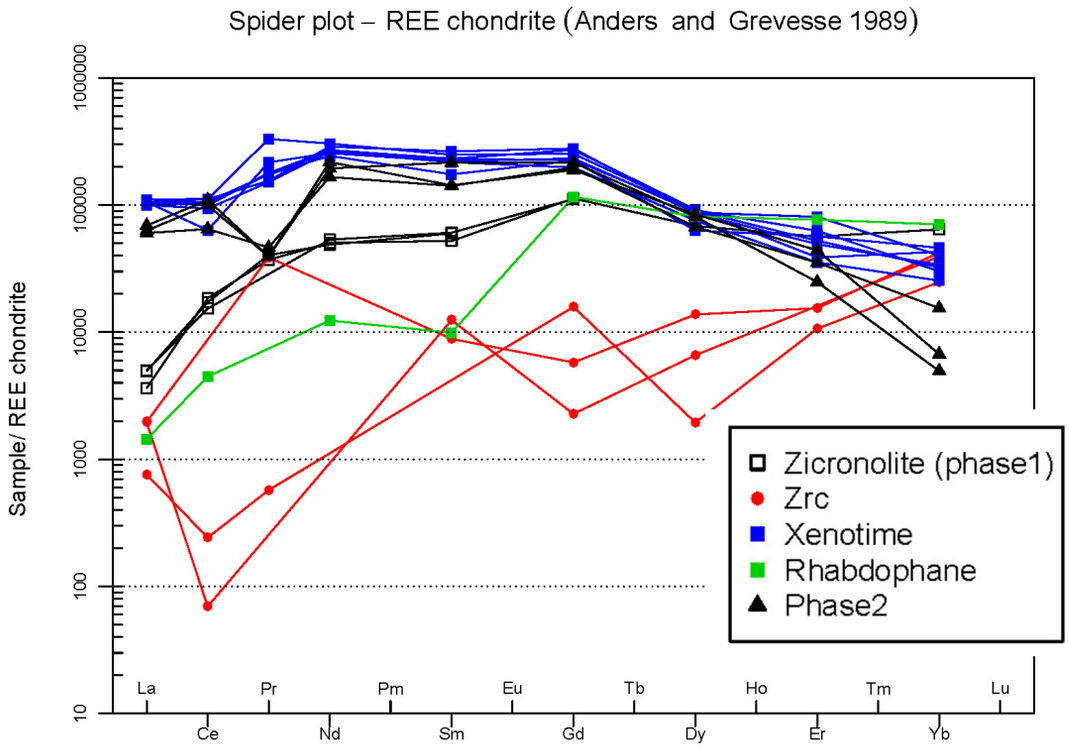


Fig. 2 Chondrite-normalized REE patterns of the REE bearing minerals from metagabbro WAS724A

Compared to other metal ores, economically viable concentrations of rare earth elements (REEs) are relatively uncommon (USGS, 2020). These resources mostly originate from four types of geological deposit: carbonatites, alkaline igneous rocks, ion-adsorption clays and monazite-xenotime-bearing placers (Balaram, 2019). Carbonatite and placer deposits are the main sources of light rare earth elements, whike hydrothermal-metasomatic deposits are associated with peralkaline rocks (Chakhmouradian and Wall, 2012). The mineralisation of rare earth elements in the metamorphosed gabbro in the area under study requires closer examination.

CONCLUSIONS

All of the rare and potentially new minerals described require further study. Detailed spectroscopic studies, such as Raman and infrared spectroscopy, must be carried out. Attempts should also be made to find larger grains of these minerals that can be used to determine their structure using single-crystal X-ray diffraction analysis.

The discovery of a new mineral is a significant achievement in fundamental science.

REFERENCES

Abramov, S., Galuskina I., Groznova E. (2025) Conditions For The Formation of Rodingites In The Northern Guiana Proterozoic Greenstone Shield (Republic Of Guyana, South America). This volume.

Balaram, V. (2019) Rare earth elements: A review of applications, occurrence, exploration, analysis, recycling, and environmental impact. Geoscience Frontiers, 10, 1285-1303.

Chukanov N.V., Zubkova N.V., Pekov I.V., Vigasina M.F., Polekhovsky Yu.S., Ternes B., Schüller W., Britvin S.N., and Pushcharovsky D.Yu. (2019) Stefanweissite, (Ca,REE)2Zr2(Nb,Ti)(Ti,Nb)2Fe2+O14, a new zirconolite-related mineral from the Eifel paleovolcanic region, Germany. Mineralogical Magazine, 83, 607–614.

Chakhmouradian, A. R., & Wall, F. (2012). Rare Earth Elements: Minerals, Mines, Magnets (and More). Elements, 8(5), 333–340.

Dubińska E. *et al*. (2004) U–Pb dating of serpentinization: hydrothermal zircon from a metasomatic rodingite shell (Sudetic ophiolite, SW Poland). Chemical Geology, Volume 203, Issues 3–4, 183-203.

Milton, C., *et al*. (1976) Merumite, a complex assemblage of chromium minerals ftom Guyana. U.S. Geol. Surv. Prof. Paper 887, 1-29.

Salamat A., McMillan P.F., Firth S., Woodhead K., Hector A.L., Garbarino G., Stennett M.C. and Hyatt N.C. (2013) Structural transformations and disor-dering in zirconolite (CaZrTi2O7) at high pressure. Inorganic Chemistry, 52, 1550–1558.

Shpachenko A.K, Sorokhtina N.V., Chukanov N.V., Gorshkov A.N., Sivtsov A.V. (2006) Genesis and compositional characteristics of natural y-CrOOH. Geochemistry International, Vol. 44, No. 7, pp. 681- 689.

Spencer, L.J. (1928) Potarite, a new mineral discovered by the Late Sir John Harrison in British Guiana. Mineralogical Magazine, 21, 397-406.

Tsikouras B, *et al*. (2009) Geochemical processes and petrogenetic evolution of rodingite dykes in the ophiolite complex of Othrys (Central Greece). Lithos,Volume 113, Issues 3–4, 540-554.

U.S. Geological Survey, 2020, Mineral commodity summaries 2020: U.S. Geological Survey, 200 p., https://doi.org/10.3133/mcs2020.

METAMORPHIC EVOLUTION AND RODINGITE ALTERATION OF A METAGABBRO IN THE PALEOPROTEROZOIC GREENSTONE BELT OF THE BARAMA-MAZURINI SUPERGROUP, GUYANA

Sergei Abramov[1], Irina Galuskina [2], Elena Groznova[3]
[1]Guyana Geology and Mine Commission
[2]Institute of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Silesia
[3]Institute of Experimental Mineralogy, Russian Academy of Sciences

westabra@gmail.com; irina.galuskina@us.edu.pl; egozagroza@gmail.com

SUMMARY

The metamorphic evolution of a metagabbro and ultramafic rocks from the Paleoproterozoic Barama-Mazaruni Supergroup of Guyana was investigated. The gabbro underwent a metamorphic event with the formation of the Mg-hornblende, phengite, and rutile at higher P-T conditions, followed by rodingitization at lower conditions with the development of newly discovered REE-bearing minerals. The ultramafic rocks were replaced by an assemblage of serpentinite, chlorite, and Mg-hornblende-tremolite. The inferred formation sequence of minerals (including those of variable composition, namely Hbl, Spl, Chl, and Mu) and their compositions were utilized to reproduce the metamorphic history of the rocks. The fluid producing the rodingitization of the metagabbro and formation of the REE-bearing minerals appears to be related to the serpentinization of the adjacent ultramafic rocks.

KEYWORDS: Amphibolite serpentinite, metagabbros, PT trends, rodingites

INTRODUCTION

Ultramafic-basaltic tholeites association occur mainly in the lower stratigraphic levels of the Paleoproterozoic greenstone belts of the Barama-Mazaruni Supergroup (Gibbs and Barron, 1993). However, less work have been on their later metamorphic P-T conditions and evolution.

During regional geological surveying, outcrops of ultramafic rocks and metagabbros were found to present various phases of metamorphism. In addition, it was observed by SEM the presence of REE-rich grains that were later identified as new minerals in the metagabbro sample (Galuskina and Abramov, 2025). This work attempt to characterize the metamorphic history of the rock which contains these minerals

Regional Geology

The study area is located in the administrative district of Cuyuni-Mazaruni (6°54'0.42"N, 59°39'20.18"W) in northern Guyana. The rocks are occurring in the Paleoproterozoic greenstone belts of the Barama-Mazaruni Supergroup withinbthe northern part of the Guiana Shield (Gibbs and Barron, 1993). The dominant rock type is

metabasalt, which was metamorphosed to the amphibolite facies, little deformation, and still retains its primary characteristic of a volcanic breccia. Two samples, the metagabbro WAS72-4A and the serpentinite WAS72-4B were collected from two outcrops about 200 m apart. Unlike the surrounding metabasalts, these samples show evidence of a more complex metamorphic history and are characterized by the development of coronae and spotted structures.

MATERIALS AND METHODS

The field work (mapping and sampling) was carried out by the Guyana Geology and Mining Commission (GGMC) in 2016 and 2023. The chemical compositions of the rocks were determined at Actlabs in Canada. Mineral were studied using a Meiji Techno MT9900 optical microscope at GGMC in Georgetown, Guyana, and a Phenom XL scanning microscope (600 determinations of mineral compositions) at a laboratory of the University of Silesia in Katowice, Poland. The chemical composition of minerals (240 analyses) was analyzed on a Cameca SX100 at the Laboratory for Microprobe Analysis at the University of Warsaw, Poland.

RESULTS

Petrography

Metagabbro WAS72-4A has a porphyroblastic texture (Fig. 1), which was probably inherited from the primary magmatic porphyritic composition. The porphyroblasts are composed of a mixture of hornblende and tremolite-actinolite, with relics of clinopyroxene. The rock matrix is represented by a fine-grained polymineral mixture of Act+Hbl+Ab+Ep/Cz+Phengite+Chl+Ru/Ttn. This aggregate contains polymineral inclusions consisting of zircon, rhabdophane, and a new mineral of the zirconolite group with the composition $(Y,REE,Ca)_2Zr_2Ti_3Fe^{2+}O_{14}$. A notable element of the rock structure are relics of primary titanomagnetite grains, of which only ilmenite lamellae remain, while magnetite is replaced by a polymineral mixture consisting of titanite, epidote/vanadium epidote (mukhynite) and a new mineral Ca-REE-V-mineral (with composition: $Ca(Y,Nd)_2(Fe^{2+},Al)_2(V^{5+},Si)_4O_{16}$.

Accessory minerals in metagabbros are characterized by reacting relationships: rutile is partially replaced by titanite, baddeleyite is replaced by zircon, and F-Cl apatite is replaced by F apatite. The interpretation of time relationships between minerals is complicated by the small size of the phases and the heterogeneity of minerals of variable composition. In particular, problems arise with how to interpret the compositions of newly formed amphibole aggregates as a mixture of early (Hbl) and late (Tr) or as a two-phase (Hbl+Tr) aggregate that was formed simultaneously.

Serpentinite WAS72-4B petrography suggest it is an amphibole-bearing serpentine displaying a taxitic texture with rounded serpentinite grains occurring in a matrix of chlorite-amphibole aggregates (Fig. 2). The early mineral associations include F-Cl apatite, high-Ti pargasite, and ilmenite (?). Two generations of serpentine are observed. The early serpentine (antigorite?) is found in the cores of serpentine grains and is

more rich in Al_2O_3 (from 3 to 5 wt.% according to SEM data). This early serpentine phase coexists with Mg-Hbl and contain Cr-Al spinel and pentlandite inclusions. The second generation of serpentine is low in aluminum and is associated with tremolite and chlorites. This mineral association contains inclusions of pyrrhotite, chalcopyrite, Cr-magnetite, and ilmenite.

Constraines from compositions of amphiboles

Figure 3 shows the compositions of amphiboles in metagabbros and amphibole serpentinites in terms of formation temperature, Ti-in-Amph thermometer (Liao *et al*., 2021) –NaB parameter. Since the NaB parameter in hornblende depends on pressure (e.g., Poli, 1993), this diagram qualitatively describes the PT evolution of these samples. The mantle peridotite was captured by the rising oceanic plate, where it was chemically altered in terms of Na_2O and CaO and transformed into amphibole peridotite with a composition of Ol+Opx+Cpx-Ti-Parg. This peridotite was further uplifted by the rising plate and serpentinized during the uplift process (association Al-Srp+Mg-Hbl+Chl+Sp). At a temperature of 500-550 °C and NaB= 0.15-0.17, the metagabbros and serpentinites were joined together. For metagabbros on this graph, two nearly isothermal trends corresponding to approximately 470 and 550 °C are clearly visible. It can be assumed that the gabbros were probably dragged by the slab to a depth (at temperatures of 550 °C) and after reaching maximum pressures (paragenesis of phengite + albite + hornblende + clinozoisite + rutile), it was lifted into low-pressure conditions together with serpentinites (at temperatures of 470-350 °C), which corresponds to counterclockwise PT evolution.

Metamorphic P-T conditions

To evaluate the PT formation conditions of the serpentinites and metagabbros, phase stability diagrams were calculated using Perple_X, version 7.0.1 (Connoly, 2005). Both rocks contain minerals that can serve as reference points in determining their PT history. For amphibolite ultrabasite WAS72-4B, this can be the composition of hornblende. Another reference point is the onset of serpentine formation. According to calculations, the early pargasite should -have crystallized at pressures of 14-17 kbar and temperatures of 650-700°C. During this stage, the rock consisted of Amph+Ol+Opx-+Cpx+Chl+Ilm. Its serpentinization began when temperature decreased to 450-500°C, when the assemblage of Al–Serp+ Mg –Hbl+ Cr-Mt +Chl formed. It is difficult to determine the further metamorphic history of sample WAS72-4B, since interpretations of the phase diagram cannot provide an unambiguous PT trend. Analysis of the phase diagram for metagabbros WAS72-4A shows that it may have a common metamorphic history with ultramafic rock WAS72-4B, but started during the stage when serpentine formed. This conclusion follows from the fact that the association of phengite + albite + hornblende + clinozoisite + rutile observed in the metagabbro should have formed in the temperature and pressure range of 11-12 kbar and 500-550°C.

However, it was not possible to calculate the complete PT trend for metagabbro because a significant part of the metamorphic history probably took place in the stability region of two amphiboles (hornblende and tremolite), which greatly complicates the interpretation of pseudo-sections.

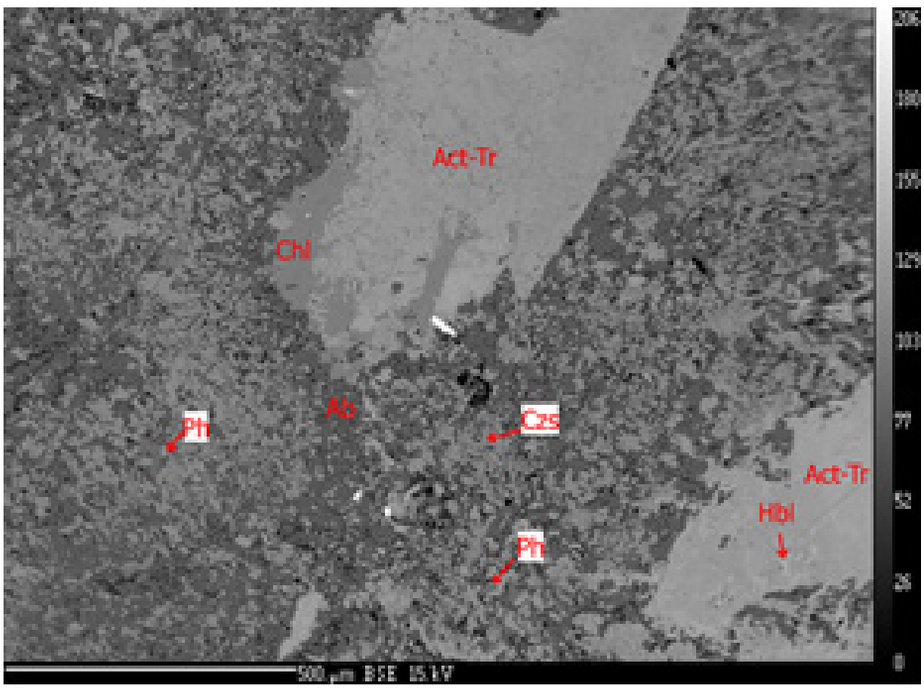


Fig. 1 Microstructure of WAS-72-4A metagabbro. BSE image

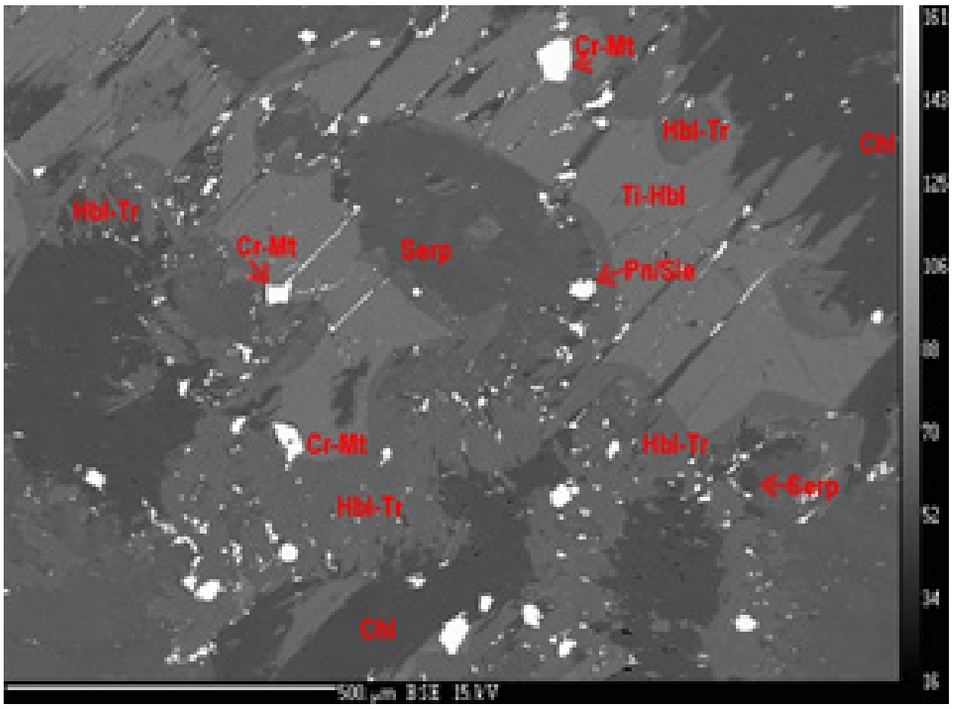


Fig. 2 Microstructure of amphibole serpentinite WAS72-4B. BSE image

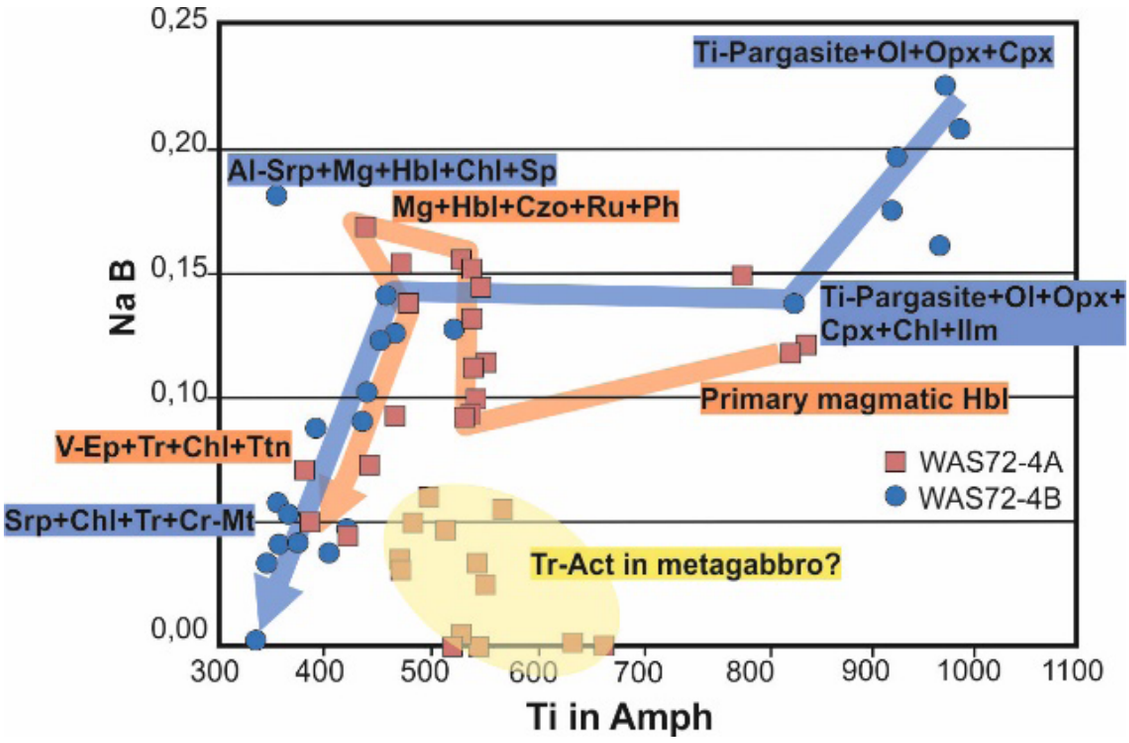


Fig. 3 Evolution of amphibole compositions from metagabbro (WAS72-4A) and amphibole serpentinite (WAS72-4B). Horizontal axis – temperature, °C (Ti-in-Amph thermometer), vertical axis – NaB (fu) in amphibole.

DISCUSSIONS

The studied serpentinite–metagabbro pair provides evidence of how this rock unit has evolved. The serpentinites (sample WAS72-4B) may be former upper-mantle peridotite metamorphosed in the lower oceanic crust. As shown in (Prigent *et al*., 2020, Patterson *et al*., 2022), Ti-pargasite is formed in ultramafic rocks in relations to seawater percolation through the lower oceanic crust along faults. This model is consistent with the presence of F-Cl apatite inclusions in the pargasite (sample WAS72-4B) and the presence of chlorine (0.3–0.6 wt) in the pargasite. After that, this rock was brought to shallower depths, where it was serpentinized. The serpentinite-derived fluid induced metasomatism of the surrounding gabbro (sample WAS-72–4A). Considered together, almost pure clinozoisite (Czo90-95) in association with zircon and zirconolite and calcic amphiboles, the replacement of magnetite by an association of vanadium-bearing epidote and a potentially new Ca-REE-V mineral led us to conclude that the alteration of the metagabbro can be defined as rodingitization.

Rodingitization is a metasomatic process, and the dominant mass transfers involved are removal of silica and addition of Ca (Bach *et al*., 2013). Serpentinization reactions generate alkaline, Ca-rich, and Si-poor fluids (Bach & Klein, 2009). Fluids determined by serpentinization reactions are the cause of rodingite formation. As shown in (Dubinska *et al*., 2004, Tsikouras *et al*., 2009), alkaline fluid inducing rodingitization can transport Zr, Ti, P, and REE. Therefore, the formation of potentially new Ca-REE-V mineral, Y-Nd rhabdophane, and Y-zirconolite was caused by the dissolution and recrystallization of primary gabbro minerals such as baddeleyite, apatite, and titanomagnetite.

The latest evolution stage of these rocks was associated with their exhumation to upper levels of the Earth's crust. This stage was marked by the development of barite, quartz, bornite in metagabbros, siegenite, and hematite in the serpentinites.

CONCLUSIONS

Mineralogical and petrological studies have shed light on the metamorphic history of the West Aranka area. It has been shown that ultramafic rocks are likely to be mantle xenoliths uplifted during the rise of the oceanic plate, metagabbros show a more complex metamorphic history , but starting from some level of depth, they were in contact with ultrabasics, and these two rock types were uplifted to a level of low temperatures and pressures corresponding to the regional greenstone metamorphism of the surrounding metabasalt. The mineralogical diversity of REE-Ti-Zr minerals observed in metagabbro is the result of a rodingitization process. Rodingites were formed under the influence of fluids whose composition (in terms of $CaO\text{-}SiO_2$ activity and fO_2) was controlled by serpentinization in adjacent ultramafics.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank the GGMC manager Carl Matthews for his valuable assistance in the field and analytical work, GGMC geologists Dr. D.C. Kantharaja and Trevor Hicks, who were the first to describe these rocks in 2016, the GGMC geologists Albert Lyttle, Anthony De La Cruz, and Odel Crum-Ewing, who were incredibly helpful in conducting the 2023 field work.

REFERENCES

Bach W, Klein F (2009) The petrology of seafloor rodingites: insights from geochemical reaction path modeling. Lithos 112(1–2):103–117

Bach, W., Jöns, N., Klein, F. (2013). Metasomatism Within the Ocean Crust. In: Metasomatism and the Chemical Transformation of Rock. Lecture Notes in Earth System Sciences. Springer, Berlin, Heidelberg.

Connolly JAD (2005) Computation of phase equilibria by linear programming: a tool for geodynamic modeling and its application to subduction zone decarbonation. Earth Planet Sci Lett 236:524–541

Dubińska, E., Bylina, P., Kozlowski, A., Dörr, W., Nejbert, K., Schastok, J., Kulicki, C. (2004) U–Pb dating of serpentinization: hydrothermal zircon from a metasomatic rodingite shell (Sudetic ophiolite, SW Poland). Chemical Geology 203, 183–203.

Galuskina I., Abramov S.(2025). Rare and potentially new accessory minerals in the metagabbro of the northern of Guiana Proterozoic greenstone shield (Republic of Guyana, South America). Check out this volume.

Gibbs, A.K., and Barron, C.N., (1993) Geology of the Guiana Shield. Oxford Monographs on Geology and Geophysics no. 22. Oxford, Clarendon Press, 246 p.

Liao Y, Wei C, Rehman HU (2021) Titanium in calcium amphibole: behavior and thermometry. Am Mineral 106:180–191

Patterson S. N., Lynn K. J., Prigent C., Warren J. M. (2021) High temperature hydrothermal alteration and amphibole formation in Gakkel Ridge abyssal peridotites, Lithos, Volumes 392–393, 106107.

Prigent C., Warren J.M., Kohli A.H., Teyssier C. (2020) Fracture-mediated deep seawater flow and mantle hydration on oceanic transform faults, Earth and Planetary Science Letters, Volume 532, 115988.

Poli St. (1993). The amphibolite-eclogite transformation: an experimental study on basalt. American Journal of Science, vol. 293, 1061-1107

Tsikouras, B., Karipi, S., Rigopoulos, I., Perraki, M., Pomonis, P., & Hatzipanagiotou, K. (2009). Geochemical processes and petrogenetic evolution of rodingite dykes in the ophiolite complex of Othrys (Central Greece). Lithos, 113(3-4), 540-554.

SOSDIUM-RICH GOLD-BEARING METAMORPHIC ROCKS OF NORTHERN GUYANA, GUIANA SHIELD: MINERALOGY, PETRO-GRAPHY AND ORIGIN

Sergei Abramov [1]; Elena Groznova [2]
[1]Guyana Geology and Mine Commission

[2]Institute of Experimental Mineralogy, Russian Academy of Sciences

westabra@gmail.com; egozagroza@gmail.com

SUMMARY

The origin and conditions of formation of the Na-rich and gold-mineralized metasandstones have been investigated at the Aramatta gold ore occurrence in the Paleoproterozoic greenstone belt of Guyana in the Guiana Shield (South America). Macroscopically, the rocks look like highly silicified fine-grained rocks. However, the rocks have Na_2O content reaching up to 7-8 wt % and they consist of untwinned granoblastic oligoclase (60-70 vol %), augite, hornblende, rutile, zircon. The fine grain rock matrix is cut by metasomatic veinlets consisting of albite, K-feldspar, epidote, tremolite, titanite, pyrite, pyrrhotite and micron size native gold. Sulfide minerals proportion reach up to 5 %. Quartz is present in trace amounts (1-2 %). Using the method of P-T pseudosections from Connoly (2005), it was estimated that the rocks underwent regional metamorphism corresponding to the amphibolite facies with a temperature ranging between 600 and 650ºC and pressure of 4 to 4.5 kbar, and with a fO_2 around HM-1. We consider that the strong oxidation of the early metamorphic associations could be inherited from the primary mineral compositions of the volcano-sedimentary rocks. It was also estimated that the P-T conditions of formation of the epidote-tremolite-sulfide aggregates occurred at about P = 0.5 -1 kb and T = 400-450ºC in a fluid-dominant phase This late fluid phase was more reduced at around QFM+2, H_2S-bearing and was SiO_2 saturated, as indicated by the development of tremolite rather than a sodium amphibole. Therefore, the gold-bearing mineral associations were formed at near-surface conditions during the interaction of metamorphic rocks with a reduced silica-saturated fluid. Such chemical and mineralogical characteristics suggest that the fluid had a magmatic origin associated with the degassing of granitic bodies, and did not result from dehydration of amphibolite facies minerals at deeper depth.

KEYWORDS: albite-rich metasandstones, P-T pseudo-sections, reduced SiO2-saturated fluid

INTRODUCTION

The Aramatta gold ore occurrences are located in the northwestern part of the Co-operative Republic of Guyana in the administrative region of Cuyuni-Mazaruni, about 200 km from Georgetown (6°58’2”N, -59°53’42”W to 6°55’N, -59°50’25”W). Gold

prospecting, geochemical surveys, trenching and drilling were carried out by the company "Innovative Mining Incorporated" in 2016-2018 in selected areas of Aramatta. The geology of the area is mainly composed of amphibolites and schists of basic composition and by local tonalite- granite intrusions and a network of late dikes of intermediate to felsic compositions. The Paleoproterozoic volcano-sedimentary rocks were affected by amphibolite facies regional metamorphism.. During the investigation of the gold minveralization at the Novogodnee gold occurrence at Aramatta, it was observed that the sulfide minerals and gold were predominantly concentrated in specific metamorphic rocks which included epidote-tremolitic albitites and in albite-rich metasandstones. The albite content in these rocks varies from 60 to 70% by volume. Such sodium-rich metamorphic rocks were observed for the first time in the Paleoproterozoic greenstone belts of the Barama-Mazaruni Supergroup in the Guiana Shield. This paper is presenting the petrographic and mineralogical descriptions and discuss the origin of these Na-rich rocks.

MATERIALS AND METHODS

The work is based on the results of the study of gold-bearing rocks that were selected during the description of core samples and exploration trenches at the Aramatta gold occurrence. The chemical composition of 10 rock samples was analyzed by XRF on a Philips spectrometer at the Institute of the Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy, and Geochemistry of Russian Academy of Sciences (IGEM). The minerals composition of three rock samples was analyzed by EPMA on the Tescan Vega-II XMU microprobe at the Institute of Experimental Mineralogy of Russian Academy of Sciences (IEM) in Chernogovka, Russia .

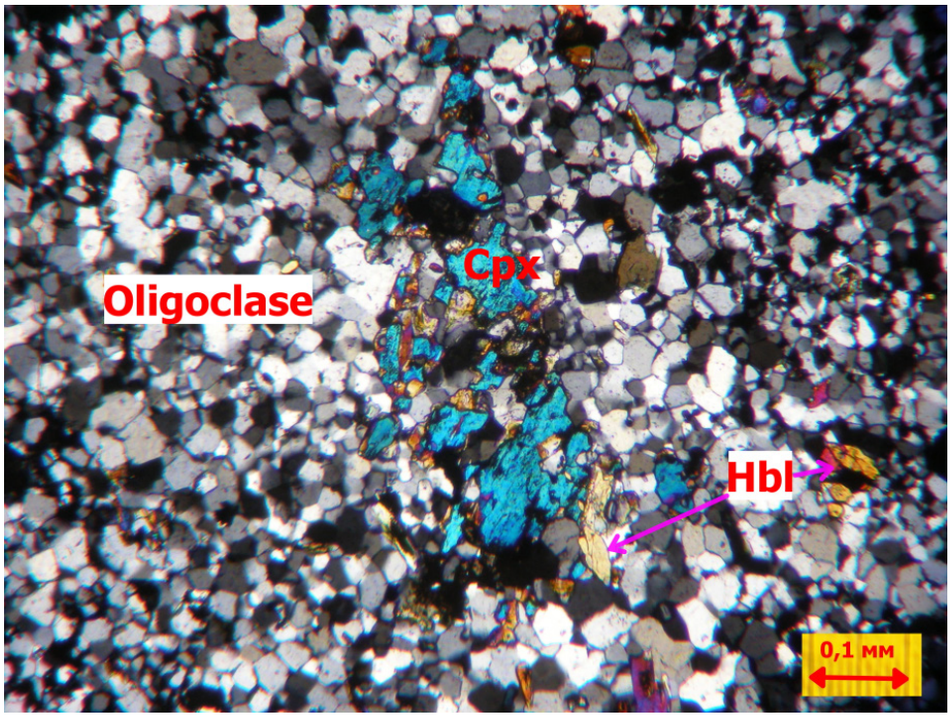


Fig. 1. Granoblastic textture in the albite-rich metasandstone in sample 2501-74. XPL

RESULTS

Geological characteristics of the metamorphic rocks.

The main rocks of the Aramatta area are composed of interbedded biotite-amphibole schists, amphibolites and albite-rich metasandstones. Transitions between these lithological units are mainly gradual with the albite-rich metasandstones forming interlayers of 1 to 20 meters in thickness between the amphibolites and schists. Macroscopically the rocks are fine-grained rocks looking like highly silicified rocks with massive or banded textures. Zones enriched in epidote and sulfides occur parallel to the direction of the rock layers.

Under microscope, the rocks show a fine-grained granoblastic texture (Fig. 1). The main mineral is a non-twinned oligoclase occupying 60 to 80 % by volume. Pyroxene and amphiboles are dispersed in the albite matrix and make about 5-10 %. Pyroxene occurs as irregular or tabular grains forning stringers or ribbon aggregates. Hornblende occurs as euhedral inclusions in albite and/or pyroxene. In some areas in the rocks with granoblastic texture the assemblage zircon, apatite and rutile appears to be replaced by late titanite crystals.

The rocks were later modified by epidote and tremolitic amphibole occurring as ribbon-like and/or vein-like aggregates along rocks layering which are considered of metasomatic origin (Fig. 2). In association with these minerals are disseminated pyrite with subordinate chalcopyrite and native gold grains. Pyroxene is still preserved in some of these aggregates, but is usually replaced by sulfide minerals. Sulfide contents reach up to 3 to 6 % by volume. Cross-cutting veinlets of quartz – albite - tremolite and albite-tremolite compositions with pyrite and sphalerite are also observed, although they are not widespread.

The latest mineral modifications are represented by the formation of epidote+albite symplectites. Epidote in the symplectites is resulting from the dissolution along the borders of the epidote grains formed from the previous metamorphic phase. The late stage albite is also developed by recrystallization and/or dissolution along grain boundaries of the oligoclase also formed during the previous metamorphic phase (Fig. 2). Albite appears also to corrode all the minerals formed in the previous stages. As a result of such recrystallization, the large middle-stage epidote grains are overgrown/replaced by this symplectite aggregate of epidote+albite.

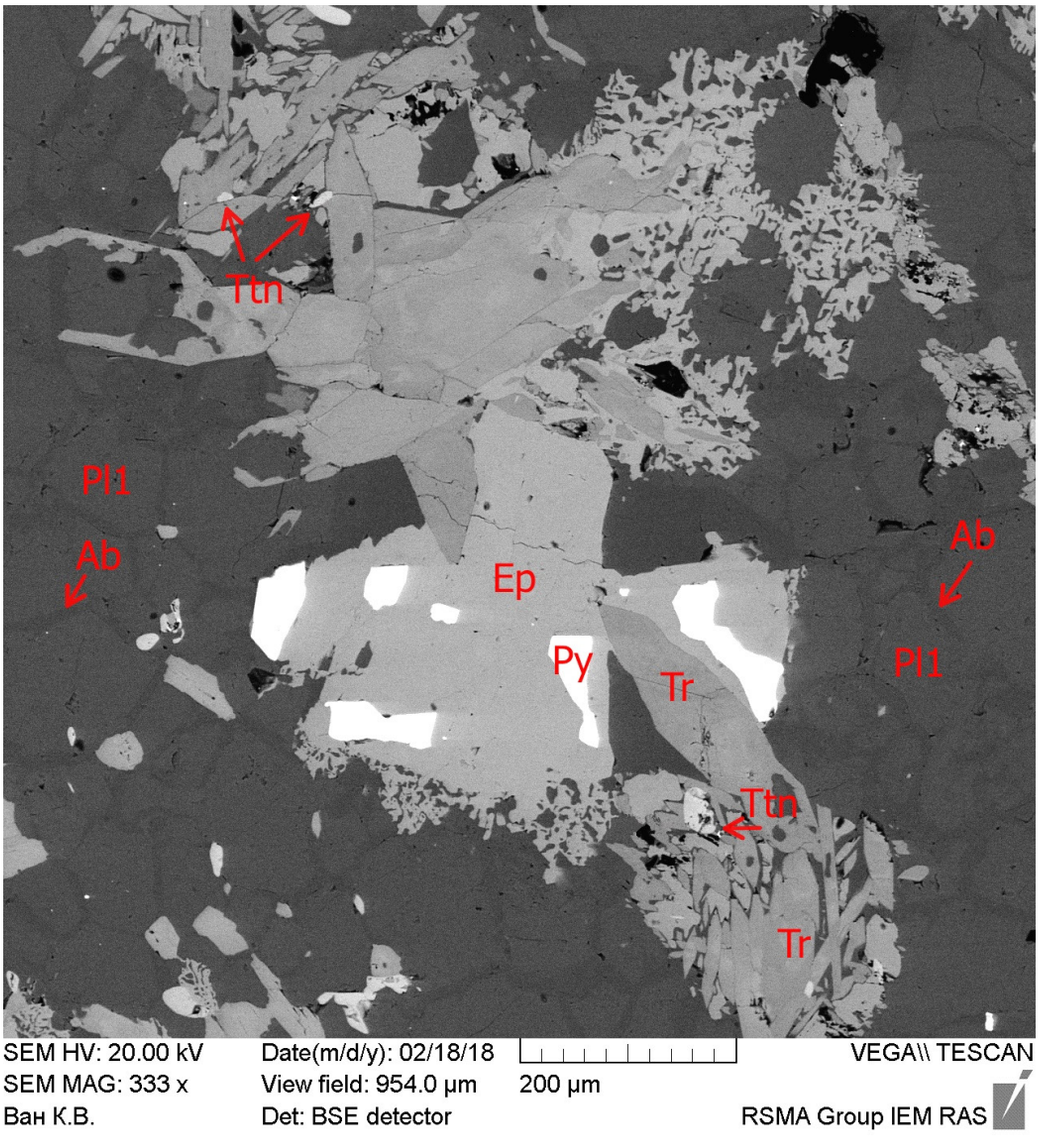


Fig. 2 BSE image of an albite-rich metasandstone sample with lenses of metasomatic epidote-pyrite composition. Large epidote grains are overgrown /replaced by Ab - Ep symplectites.

Based on the samples studied in thin sections and by scanning electron microscopy, the sequence of mineral formation was established. Three stages of development are identified: a first stage represented by the minerals association Oligoclase- Hbl - Cpx - Hem (?) - Rutile - Qtz (+ Apatite , Zircon). The middle stage is represented by the minerals association Albite-Tremolite - Epidote - Pyrrhotite - Pyrite – K feldspar– Titanite - Qtz - (+ Chalcopyrite and native gold). The last stage is represented by the Epidote - Albite association in the form of symplectites.

Composition of rocks and minerals.

The rocks chemical analysis indicate that the sodium-rich samples have SiO2 content varying between 58 and 60%, CaO contents ranging between 2.8 and 5.8%, and Na2O contents up to 8 and 9 wt %. Microprobe analysis of the early-stage amphiboles

indicated a pargasitic hornblende composition. However, the amphiboles of the middle stage have a tremolite composition. Clinopyroxene, unlike amphiboles, has a narrow range of compositions in all rocks samples, of an augite with a jadeite molecule contents of 0 to 5 % and an acmite molecule between 2 and 9%. Despite the fact that the epidote is formed in two successive stages, no significant changes in composition between these stages have been observed with all analyzes of the epidote having a clinozoisite molecule content of 60-70%. Early stage plagioclase that is still preserved has the composition of an oligoclase, but samples with the late-stage plagioclase corresponds to almost pure albite.

Estimates of temperatures and pressures of formation of the high-sodium rocks

The early stage mineral assemblage includes hornblende and oligoclase. The microprobe analysis of the soda-rich rocks contain poorly crystallized inclusions that have a variable composition with TiO_2 contents ranging between 20 and 60%, and SiO_2 values between 40 and 80% which correspond to a mixture of rutile with quartz. Quartz is also noted among the minerals of the middle stage (confirmed by microprobe). Therefore, the amphibole–plagioclase thermometer of Holland and Blundy (1994) could be used to estimate the temperatures of the quartz containing mineral associations. According to this thermometer model, the early stage minerals were formed at temperatures beteen 600 and 650°C, and the development of the middle stage falls in the range of 400-550°C. Estimates of amphibole formation temperatures based on its titanium content from Liao *et al*. (2020) are in very good agreement with the Hbl - Pl thermometer data. Pressure estimates can be made using the amphibole-plagioclase-clinopyroxene barometer proposed by Waters (2003) for amphibolites. Pressure estimates from this barometer give unrealistically high pressures in the range of 11-14 kbar. The amphibole– plagioclase barometer of Molina *et al*. (2015) can only be used for mineral associations with plagioclase that have a An number greater than 10, which can only be used to determine pressures of the early stage parageneses. Pressure estimates according to this barometer fall in the range of 6 to 9 kbar. Phase stability or pseudosection diagrams can be used to determine P-T conditions (Connoly, 2005). As shown by Pò and Braga (2014), the oxidation potential plays also an important role in the modeling of the mineral parageneses at lower crust depth. The modeling was performed using the P-T pseudosection method for the early mineral association composition which yielded a variable XFe3+ ratio ranging between 0.1 and 0.5 at a temperature of 650 °C and pressure values of 2 to 6 kbar.

Conditions of formation of the early stage minerals.

Modeling results show that the parageneses Cpx + Hbl + Hem +Pl in samples with rutile have compositions with an XFe^{3+} ratio of about 0.5, which corresponds approximately to a fO_2 value equal to HM-1. To determine the pressure range of rock formation, the Na and Al contents of pyroxene and amphibole were used, as well as the

composition of plagioclase in model and natural samples. The best agreement between these compositions is for a pressure ranging between 4.0 and 4.5 kbar under oxidizing conditions ($XFe^{3+} = 0.5$).

Conditions of formation of the middle stage minerals.

In the sulphur-rich rocks, the amphibole and pyroxene intergrowths with sulfides have the most magnesian compositions, which indicates that the formation of the sulfides in these rocks occurred due to the replacement of the Fe-amphibole and the Fe-pyroxene by more Mg-rich types. Since the middle stage mineral aggregates contain quartz, it can be assumed that they were formed by the introduction of silica and sulfur into the albite-rich metasandstones. This process was modeled using the P-T pseudosections method using their measured SiO_2 and S_2 contents which suggest a T value of 400^0C and a P value of 1 kbar. These calculations show that the observed middle-stage minerals association could have only formed when the system was saturated with quartz, since only rocks with Qtz present will yield an amphibole of tremolite composition (not forming a Na-rich amphibole!). In addition, these modeled compositions contain epidote in amounts similar to our samples.

During the early metamorphic stage, the middle stage fluid was more reduced with a fO2=QFM+2. Thus, the mineral associations of Ab+Ep+Tr+Py+Qtz of the middle stage are formed when sulfur and silica are introduced into the albite-rich metasandstones by an external fluid of reduced composition. The remaining question is the origin of the fluid, which is either derived from a granitic magma or from the regional metamorphism event.

DISCUSSIONS

The origin of high-sodium metamorphic rocks has been actively discussed for metamorphic complexes in several parts of the world (Pirajno, 2013, Starr & Pattison, 2019). Three possible processes leading to the formation of such high-sodium compounds have been proposed:

1) The sodic rocks were formed during the spilitization process of basalts (Amstutz *et al*., 1974).

2) The sodic rocks were produced by the introduction of Na-Cl rich fluids during regional metasomatism (Engvik *et al*., 2014) or from magmatic fluids reaction with metabasalts (Oliver *et al*., 2004).

3) The sodium-rich rocks correspond to the albite- and analcime-rich greywacke sandstones of volcanogenic-sedimentary origin observed occurring in young and modern oceanic arcs (Coombs, 1965).

We consider that the rocks at the Aramatta gold occurrence are of volcano-sedimentary origin based on several characteristic features: 1) the observed petrographic transitions from greywacke to albite metasandstones containing jasper and granite li-

thoclasts; 2) areas of rocks preserving their primary minerals assemblages in granoblastic metamorphic rocks without later evidences of metasomatic recrystallization; 3) the strong oxidation of the early metamorphic associations could be inherited from the primary compositions of the volcano-sedimentary rocks.

CONCLUSIONS

The sodic-rich metasandstones as well as the other volcano-sedimentary and volcanic rocks present in the area of the Aramatta gold occurrence were affected by regional metamorphism under amphibolite facies P-T conditions estimated between 4 and 4.5 kbar and 600 and 650C. Sulphide mineralization and epidote-tremolite alteration are the results of significant changes of the fluid chemistry during retrograde P-T conditions. Characterization of the P-T conditions, as well as estimates of the oxygen activity suggest that these transformations occurred at relatively shallow depth by a reduced sulphur-bearing and silica saturated fluid. These chemical characteristics are more consistent with a fluid derived from shallow degassing from intrusion rather than from a metamorphic source. This fluid-rock interaction does not appear to have occurred over a long period of time based on the observations of late epidote-albite symplectite rims around metasomatic veins representing the transition from a fluid-dominant to solid--state diffusion in a close system.

ACKNOWLEDGMENTS

The research was conducted with the support of the mining company “Innovative Mining Incorporated” (Guyana) and partly supported by the Institute of Geology of Ore Deposits, Geochemistry and Petrography of the Russian Academy of Sciences (IGEM RAS). The authors would like to thank Dr. S. Nadeau for fruitful discussions and review of the paper.

REFERENCES

Amstutz, G. C. Spilites and Spilitic Rocks. Spilites and Spilitic Rocks (Springer-Verlag, 1974). https://doi.org/10.1007/978-3-642-88230-2.

Coombs, D. (1965). Sedimentary analcime rocks and sodium-rich gneisses. Mineralogical Magazine and Journal of the Mineralogical Society, 34(268), 144-158. doi:10.1180/minmag.1965.034.268.12.

Engvik, A. K., Ihlen, P. M., & Austrheim, H. (2014). Characterisation of Na-metasomatism in the Sveconorwegian Bamble Sector of South Norway. Geoscience Frontiers, 5(5), 659-672. https://doi.org/10.1016/j.gsf.2014.03.008 .

Liao, Yue, Wei, Chunjing and Rehman, Hafiz Ur. (2021). Titanium in calcium amphibole: Behavior and thermometry. American Mineralogist, vol. 106, no. 2, pp. 180-191. https://doi.org/10.2138/am-2020-7409.

Oliver N. H. S, Cleverley J. S., Mark G., *et al*. (2004). Modeling the Role of Sodic Alter-

ation in the Genesis of Iron Oxide-Copper-Gold Deposits, Eastern Mount Isa Block, Australia. Economic Geology; 99 (6): 1145–1176. doi: https://doi.org/10.2113/gsecongeo.99.6.1145.

Pirajno F. (2013) Effects of Metasomatism on Mineral Systems and Their Host Rocks: Alkali Metasomatism, Skarns, Greisens, Tourmalinites, Rodingites, Black-Wall Alteration and Listvenites in "D.E. Harlov and H. Austrheim, Metasomatism and the Chemical Transformation of Rock, Lecture Notes in "Earth System Sciences, DOI 10.1007/978-3-642-28394-9_7, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013".

Pò, D. L., & Braga, R. (2014). Influence of ferric iron on phase equilibria in greenschist facies assemblages: The hematite-rich metasedimentary rocks from the Monti Pisani (Northern Apennines). Journal of Metamorphic Geology, 32(4), 371-387. https://doi.org/10.1111/jmg.12076.

Starr P. G., Pattison D. R.M.,(2019) Metamorphic devolatilization of basalts across the greenschist-amphibolite facies transition zone: insights from isograd mapping, petrography and thermodynamic modelling, Lithos, Volumes 342–343, 2019, 295-314, https://doi.org/10.1016/j.lithos.2019.05.020.

Waters, D., 2003, P-T path from Cpx-Hbl-Pl symplectites, updated 22 February 2003: http://www.earth.ox.ac.uk/~davewa/research/eclogites/symplectites.html (July 2012).

ANÁLISE PETROGRÁFICA E ESTRUTURAL DO GABRO CERRO FRONTINO, CORDILHEIRA OCIDENTAL, COLÔMBIA

Larissa dos Santos Nascimento[1]; Carlos Alejandro Salazar[2]; Marta Edith Velásquez David[2]

[1]Programa de pós-graduação em Geociências – Universidade Federal do Amazonas-UFAM; [2] Departamento de Geociências ICE-UFAM

larissasnascimento.lsn@gmail.com; csalazar@ufam.edu.br; edith@ufam.edu.br

RESUMO

As rochas hospedeiras da mineralização de ouro que ocorrem na Mina La Cuadrazón correspondem aos litotipos: gabros, dioritos e skarn. Esses litotipos representam os pulsos magmáticos que formaram o stock Gabro Cerro Frontino (~11Ma). A ocorrência desse magmatismo é correlacionada à geotectônica regional, que condicionou o alojamento desses plútons na crosta e posteriormente proporcionou as condições estruturais favoráveis para a percolação e precipitação dos fluidos hidrotermais que geraram os veios mineralizados com Au na referida mina.

PALAVRAS-CHAVE: Petrografia e colocação de pulsos magmáticos máficos; tectônica convergente andina no Neógeno; Estilo estrutural de veios com Au.

INTRODUÇÃO

A Mina La Cuadrazón está incluída no distrito mineiro El Cerro, localizado a sudoeste da cidade de Frontino, departamento de Antioquia, na Colômbia (Figura 1A, B). Nesta região ocorre a interação entre as placas Caribe, Nazca, Sul-americana e a microplaca Panamá, o que resultou no Orógeno Andino, o qual, na Colômbia, é subdividido nas cordilheiras ocidental, central e oriental (Correa Martínez, 2007). Na região do El Cerro afloram as rochas sedimentares do Grupo Cañasgordas, constituída por rochas calcáreas do Membro Nutibara na base, e calciossilicáticas pelíticas do membro Urrao no topo. Estas rochas são intrudidas por plútons como o Gabro Cerro Frontino (González e Londoño, 2002), cuja origem pode ter fontes diversas, que poderiam estar relacionados a fase de formação do arco (Figura 1C). A análise geológica aqui apresentada, tem como objetivo geral analisar o contexto estrutural de alojamento do plúton. Esta pesquisa se baseia na análise de dados estruturais *in situ* e extraídos por meio de imagens obtidas por sensores remotos, e em dados petrográficos, em escala meso e microscópica.

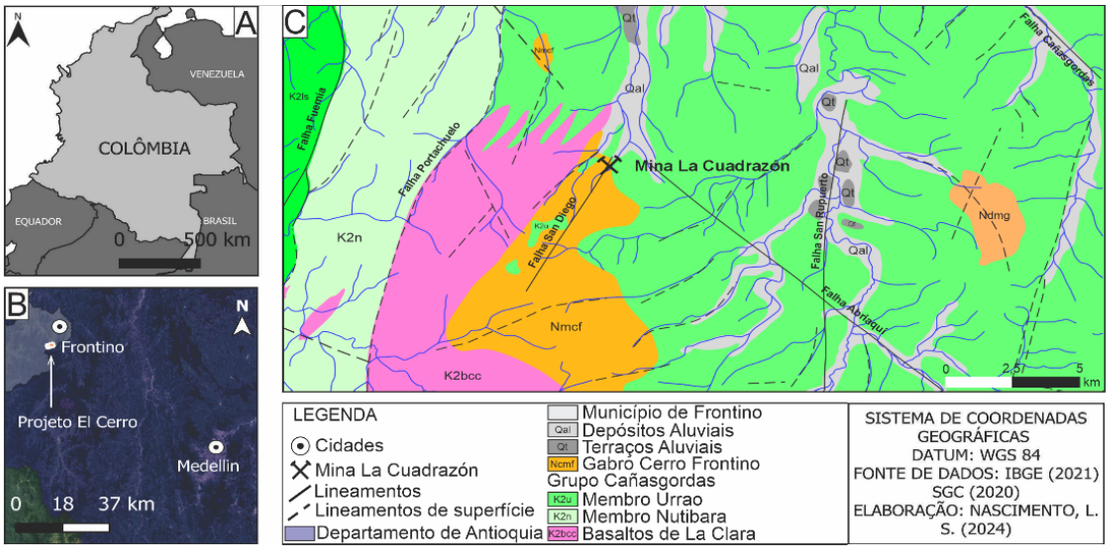


Figura 1: Localização da área de estudo. (A, B) Localização do Projeto El Cerro; (C) Geologia regional (Modificado de González e Londoño, 2002).

RESULTADOS

Três associações de litofáceis foram definidas a partir de análises petrográficas, dioritos, gabros e skarns (Figura 2A e 3A e B), além de veios de quartzo e quartzo--carbonato com sulfetos polimetálicos que se hospedam nos dioritos e gabros.

A associação de gabros é composta por gabro, gabro piroxenítico e raro piroxenito. Essas rochas constituem o gabro Cerro Frintino. Trata-se de um stock que tem forma alongada na direção 030º (NE). O gabro é de cor cinza escura, a cinza esbranquiçada. Possui textura fanerítica inequigranular fina a média, e aparência maciça. Está constituido por augita ovalada (Aug_1), com limites interlobados, a subprismática (Aug_2), com limites retos; labradorita-bitownita subtabular, com geminação polissintética em cunha (Figura 2C); hornblenda subédrica; biotita marrom clara, com clivagens arqueadas (Figura 3D); apatita inclusa e nas bordas de cristasi de piroxenio; magnetita anédrica (mag_1) inclusa em augita, e magnetita intersticial (mag_2) com desmistura para ilmenita. Estas rochas fazem contato irregular com skarn e diorito.

A associação dioritos é composta por uma variação de quartzo-diorito a diorito, de cor cinza esbranquiçado a cinza, localmente branca, com a concentração de minerais máficos variando entre 20 – 45%, textura fanerítica equigranular média, maciça. São compostos por agregados de cristais tabulares de plagioclásio (Pl_1) que exibem extinção ondulante, sericitização, geminação mecânica em cunha, e fraturas preenchidas por óxidos de Fe; cristais finos intersticiais de plagioclásio (Pl_2) indeformado; cristais de augita subédrica a anédrica com eixo maior, discretamente alinhados em duas direções perpendiculares entre si e pouco uralitizados; agregado de cristais de biotita associada a augita, comumente com clivagem arqueada; os minerais acessórios são cristais isolados prismáticos finos de apatita, agregados de cristais de magnetita, calcopirita, pirrotita, pirita e hematita; restrito aos quartzo dioritos, ocorre quartzo intersticial, titanita subédrica e zircão subédrico. O limite entre os litotipos dessa associação é irregular abrupto a local-

mente transicional, com ocorrência de fraturamento no diorito, e desenvolvimento de minerais (anfibólio e biotita, Figuras 3C, D) e com uma intensa alteração nos minerais.

O skarn se desenvolve nos limites entre o plúton máfico-ultramáfico com os estratos arenítico-carbonático, com o crescimento de diopsídio fino subédrico. São rochas de cor cinza esbranquiçada a cinza esverdeada, com a concentração de minerais máficos variando entre 10 – 55%, localmente alcançando 80%. São compostos por cristais de até 0,4 mm, de augita e diopsídio; agregados de cristais de biotita discretamente dobrada; agregados de cristais de carbonato e quartzo, formando fitas descontínuas orientadas que atingem até 1,35 mm (Figura 2B); como acessórios ocorrem agregados de cristais de calcopirita e magnetita associadas a augita, e rara galena.

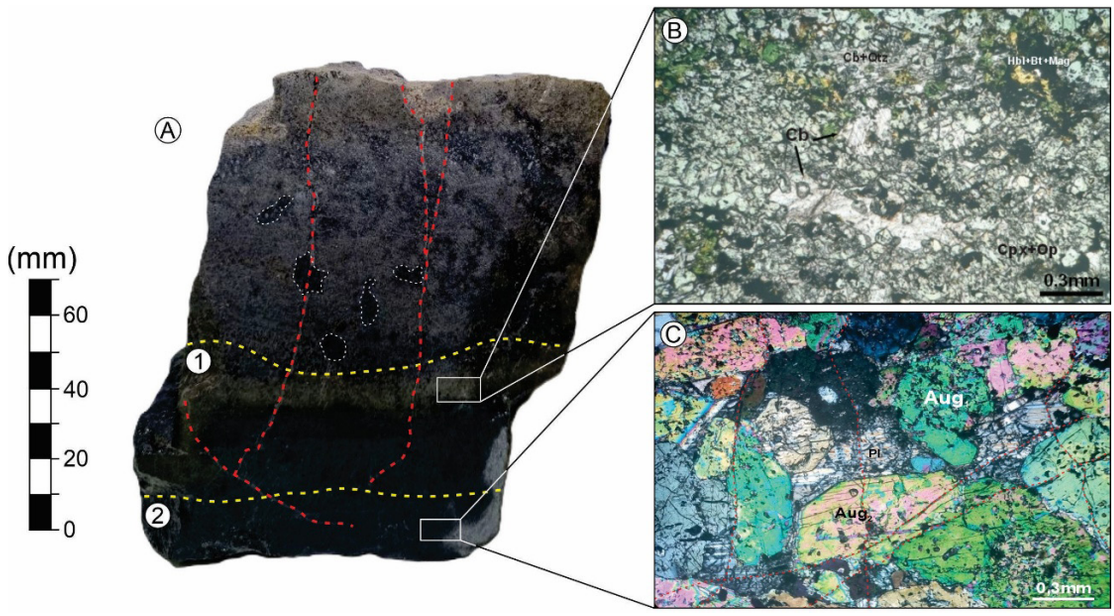


Figura 2: Amostra representativa do Contato entre o piroxenito cinza escuro fino a médio (2), o skarn cinza escuro esverdeado variando a cinza esverdeado e cinza esbranquiçado(1). Fotomicrografias das respectivas associações de litofácies. (B) Endoskarn com fitas de Carbonato+Quartzo (Cb+Qtz) entre cristais de Clinopiroxênio (Cpx), e alteração do piroxênio para combinação de Biotita+Hornblenda+Magnetita (Bt+Hbl+Mag); (C) Piroxenito exibindo Augita ovalada (Aug1) e subédrica (Aug2), Plagioclásio (Pl) deformado estruturas rúpteis (linhas vermelhas traçejadas) que se propagam por diferentes minerais.

Estruturas e deformação

Na área de estudo foram identificados lineamentos morfológicos correlacionados a zonas de cisalhamento e falhas, classificados como: I) lineamentos que controlam as principais drenagens da área de estudo. São lineamentos sinuosos e orientados para a direção 030º, coerentes com a atitud e dos vales que caracterizam os limites das cordilheiras. Esses limites, são definidos como suturas transpressivas dextrais; II) lineamentos com tendência NW-SE (~150º), relacionados a alinhamentos de serras e drenagens subordinadas, representando estruturas de maior importância regional, como as falhas Mutatá, Abriaquí e Cañasgordas-Dabeiba (Figura 1C), esta última considerada como sutura por Cediel (2019); III) lineamentos curtos, com direção para ~050º-080º, controlam drenagens tributárias intra bacias. São relacionados a estruturas retas, possivelmente de regime rúptil, concordantes com as falhas San Diego e Animas que cortam o gabro.

Na Mina Cuadrazón são explorados seis veios quartzo-carbonáticos polimetálicos, com orientação para 005º e largura variando entre 10 e 70 cm, transpassados ao longo do túnel principal, hospedados em gabros. Sua ocorrência está associada a zonas de cisalhamento com registro de deformação cataclástica, cuja orientação segue uma tendência SW-NE, com atitude 068°-097°/56°-78° (*strike/dip*), no entanto, subordinadamente, há uma inversão no sentido de mergulho, com orientação 247°-270°/56°-70° devido à sinuosidade dessas estruturas. Além disso, estrias de atrito estão expostas, desenvolvidas em espelhos de falha com *step* indicando deslocamento para os azimutes 170° e subordinadamente para 300°/60°-70° com cinemática dextral, e para o azimute 030°/67° com cinemática sinistral.

Mecanismos de deformação de caráter dúctil são observados em escala microscópica, como migração de limites de grão em augita e plagioclásio, extinção ondulante e deformação de maclas em plagioclásio, dobras nas clivagens de biotita, assim como alinhamentos de eixos indicando orientação preferencial de cristais de piroxênio e hornblenda. No contato das litofácies quartzo-diorito – diorito, há o fraturamento hidráulico observado no diorito, com o desenvolvimento de biotita marrom e hornblenda preenchendo fraturas (Figura 3C).

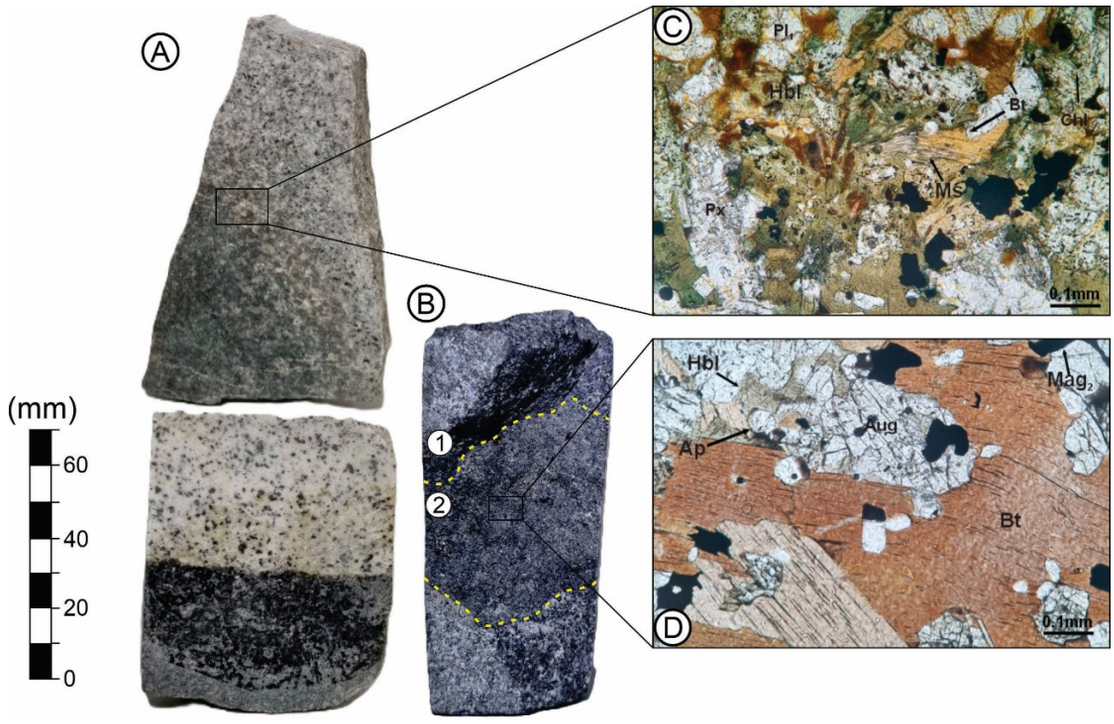


Figura 3: Amostras representativas das associações de litofácies. (A) Contato quartzo-diorito-diorito, abrupto e transicional; (B) Contato entre gabro cinza escuro, fino a médio, maciço (2) e diorito cinza esbranquiçado médio, com aglomerados máficos (1). Fotomicrografias das respectivas associações de litofácies. (C) Gabro piroxenítico-Biotita (Bt) suavemente dobrada, Augita (Aug) alterando para hornblenda e biotita e com inclusões de Apatita e Magnetita, Magnetita (Mag2) se formando nos interstícios de minerais máficos; (D) Contato entre diorito félsico (inferior) e máfico (superior), com intensa alteração dos minerais, além de penetração de material ferruginoso nas fraturas de cristais de Plagioclásio.

DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

As diferentes associações de litofácies que constituem o Gabro Cerro Frontino mostram uma relação composicional entre os litotipos que a compõem, sugerindo mais de um pulso magmático: I) o primeiro de composição mais básica, onde cristalizou augita, labradorita-bitownita, e magnetita, constituindo piroxenito e gabros; II) o segundo, de composição intermediária, onde a concentração de minerais hidratados como hornblenda e biotita sugere diferenciação e provável assimilação de material crustal durante o alojamento plutônico. O fraturamento hidráulico presente no diorito em contato com o quartzo-diorito, com o desenvolvimento de minerais máficos hidratados em fraturas, sugere que: a) o plúton teve evolução magmática com ocorrência de processos de diferenciação magmática e migração de fluidos; b) a colocação do quartzo-diorito teve uma relação de alojamento forçado com o diorito.

O controle tectônico dos Andes (Cardona *et al*., 2011; Kenan & Pindell, 2009; Salazar *et al*., 2016) é evidenciado pela forma alongada e o alinhamento de plútons paralelos ao eixo dos orógenos. Esse controle comumente influencia na estrutura interna dos corpos intrusivos (Salazar *et al*., 2016), e isto pode ter ocorrido durante o alojamento dos pulsos magmáticos que formaram o Gabro Cerro Frontino (~11-12 Ma), o que pode ser corroborado por evidências de deformação plástica encontradas em cristais de augita, plagioclásio e biotita.

O Gabro Cerro Frontino ocorre na forma de um corpo alongado, com eixo maior de atitude 030º, paralelo a falha San Diego que o intercepta, e os veios mineralizados (hospedados no gabro) têm orientação 060º-097º. Além disso, na região, a falha Cañasgordas está orientada em 120º azimute. Essas estruturas mostram entre si uma relação angular de 30º, compatível com a deformação relacionada a zonas de cisalhamento, o que reforça a hipótese de que o estilo estrutural de ocorrência dos veios mineralizados pode ter sido influenciado pela tectônica que ativou as falhas Cañasgordas-Dabeiba, as quais foram interpretadas por Maya (1992) e Cediel & Shaw (2003) como limites de terreno. Cunha (2023) descreveu evidências similares em relação a veios mineralizados tectonicamente controlados na região do Batólito Antiqueño.

Estruturas regionais como as falhas Cañasgordas e Abriaquí exibem trends semelhantes aos eixos de dobras existentes na Formação Penderisco do Complexo Cañasgordas (Álvarez & González, 1978; Page, 1986), as quais, segundo Ramos (2009), essas estruturas exibem características de suturas com evidências de reativação. No interior do plúton, as estruturas que controlam os veios mineralizados correspondem a falhamentos transpressivos similares aos descritos por Ramos (2009) para o segmento norte andino. Dessa forma, o gabro seria um bom marcador da tectônica local, onde a deformação nas rochas da região representaria o registro de ativação e reativação de estruturas sob a influência do mesmo regime tectônico, que para Cediel (2019) formou o arco Baudó, e está ativo a mais de 11Ma.

Por fim, a disposição dos veios na mina Cuadrazón, segue esse padrão dominante de tendência 060º-097º, variando a 250º-270º, e com mergulhos altos, principalmente para S, assim como descrito por Cediel (2019) para as estruturas de limite de terreno na

região de Chocó-Urabá. As estruturas encontradas no gabro controlam os veios mineralizados e representam uma deformação de caráter rúptil, posterior ao alojamento do Gabro Cerro Frontino, com o desenvolvimento de espelho de falha, estrias nos limites veio-rocha encaixante, e *steps* com indicadores cinemáticos característicos de regime transcorrente. Ademais, a atitude das falhas mineralizadas é paralela às falhas regionais Abriaquí e Cañasgordas, o que poderia representar um subdomínio estrutural com características cinemáticas similares às das falhas regionais.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa teve fomento da FAPEAM (Projeto Posgrad 2024-2025). Bolsa de mestrado 2023-2025 CAPES. Programa de redução de assimetrias da CAPES, PRAPG. Edital 014/2023.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Álvarez, E.; González, H., 1978. Geología y geoquímica del Cuadrángulo I–7 (Urrao). Ingeominas. *Informe 1761. Medellín. 347P.*

Cardona, A., Valencia, V.A., Bayona, G., Duque, J., Ducea, M., Gehrels, G., Jaramillo, C., Montes, C., Ojeda, G., Ruiz, J., 2011a. Early-subduction-related orogeny in the northern Andes: Turonian to Eocene magmatic and provenance record in the Santa Marta Massif and Rancheria basin, northern Colombia. Terra Nova 23, 26-34. doi.org/10.1111/j.1365-3121.2010.00979-x.

Cediel, F., & Shaw, R. P., 2003. Tectonic Assembly of the Northern Andean Block. In C. Bartolini, R. T. Buffler, & J. Blickwede (eds.), The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics: *AAPG Memoir 79, pp. 815-848.*

Cediel, F., 2019. Phanerozoic orogens of northwestern South America: Cordilleran-Type Orogens. Taphrogenic Tectonics. The Maracaibo Orogenic Float. The Chocó-Panamá Indenter. *In:* ***Geology and Tectonics of Northwestern South America****. Springer, Cham. p. 3-95.*

Correa Martínez, A. M., 2007. Petrogênese e evolução do Ofiolito de Aburrá, Cordilheira central dos Andes Colombianos. Tese de doutorado Universidade de Brasília. Inédito.

Cunha D S B., 2023. Metalogênese do depósito aurífero de Gómez Plata, Cordilheira Central, Colômbia. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em Geociências UFAM.

González, H., & Londoño, A., 2002. Catálogo de las unidades litoestratigráficas de Colombia, Granodiorita de Nudillales, Cordillera Occidental, Departamento de Antioquia. *Ingeominas*.

Maya, M., 1992. Catálogo de dataciones isotópicas en Colombia. *Boletín Geológico, 32(1-3), 127-187.*

Page, W., 1986. Geología sísmica y sismicidad en el noroccidente colombiano. ISA-Integral. *Woodward & Clyde Consultants*.

Pindell, J.L., Kennan, L., 2009. Tectonic evolution of the Gulf of Mexico, Caribbean, and northern South America in the mantle reference frame: an update. In: James, K.H., Lorente, M.A., Pindell, J.L. (Eds.), The Origin and Evolution of the Caribbean Plate, Geological Society, London, Special Publications, 328, pp. 1-55. doi.org/10.1144/SP328.1.

Ramos, V. A., 2009. Anatomy and global context of the Andes: Main geologic features and the Andean orogenic cycle. *Backbone of the Americas: Shallow Subduction, Plateau Uplift, and Ridge and Terrane Collision, v. 204, p. 31-65.*

Salazar Carlos A., Bustamante Camilo L., Archanjo Carlos J., 2016. Magnetic fabric (AMS, AAR) of the Santa Marta batholith (northern Colombia) and the shear deformation along the Caribbean Plate margin. *Journal of South American Earth Sciences. 70*:55-68.doi.org/10.1016/j.jsames.2016.04.011.

MAGMATISMO BIMODAL SERRA DA PROVIDÊNCIA: EVIDÊNCIAS PETROGRÁFICAS DE MISTURA DE MAGMAS NO CORPO VILA MARAVILHA, CENTRO-SUL DO CRÁTON AMAZONAS

Bruno Silva de Souza[1,2]; Antônio Charles da Silva Oliveira[2]; Túlio Amós de Araújo Mendes[2]; Mayara Fraeda Barbosa Teixeira[3]; Rielva Solimairy Campelo do Nascimento[3]; Marcelo Esteves Almeida[2]; Miquéas Barroso Silva[2]

[1]Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ; [2]Serviço Geológico do Brasil – SGB; [3]Universidade Federal do Amazonas - UFAM

brunossouza.geo@gmail.com; charles.oliveira@sgb.gov.br; tulio.mendes@sgb.gov.br; mayarafraeda@ufam.edu.br; rielva@ufam.edu.br; marcelo.esteves@sgb.gov.br; miqueas.silva@sgb.gov.br

RESUMO

A mistura é um importante processo de diferenciação magmática, envolvendo interação física e/ou química entre magmas de composições contrastantes. No sudeste do estado do Amazonas, município de Manicoré, granitos porfiríticos da Suíte Serra da Providência (SSP) ocorrem associados a rochas máficas atribuídas à Suíte Mata-Matá (SMM). A presença de feições de *mingling* e de um terceiro litotipo associado às rochas interagentes sugere a atuação de processos de mistura. Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo caracterizar as feições associadas à mistura de magmas na região com base em dados de campo e petrografia. Para isso, os dados foram obtidos em mapeamentos geológicos (1:100.000) realizados pelo Serviço Geológico do Brasil. Na área de estudo, a fácies porfirítica rapakivi da SSP ocorre com enclaves máficos e contatos irregulares e em cúspide com as rochas da SMM. Entre estas, ocorre a fácies híbrida da SSP, cujas características composicionais e texturais variam em função da rocha no qual interage. As descrições petrográficas indicam feições típicas de mistura, como textura rapakivi, zonação em plagioclásio, apatita acicular, quartzo poiquilítico, xenocristais ocelares com coronas máficas, aglomerados centrados em titanita e alterações deutéricas concêntricas. Esses aspectos apontam para a atuação combinada de processos de *mingling* e *mixing*, com formação de um produto híbrido. Conclui-se que as relações entre SSP e SMM configuram um sistema bimodal com evidências de mistura de magmas, cuja compreensão pode ser aprofundada por meio de estudos geoquímicos e isotópicos.

PALAVRAS-CHAVE: mingling; mixing; rocha híbrida; Suíte Mata-Matá.

INTRODUÇÃO

O magmatismo bimodal é caracterizado pela associação entre rochas máficas e félsicas, e representa o registro de interações complexas entre fontes mantélicas e crustais em diferentes contextos tectônicos. É especialmente comum em ambientes pós-colisionais e de rifte, onde o *underplating* de magmas máficos promove o aquecimento da base da crosta, favorecendo sua fusão parcial (Patchett, 1980). Granitos alcalinos com textura rapakivi frequentemente se desenvolvem nesses ambientes, sendo comum

a ocorrência de processos de mistura de magmas. O estudo dessas associações é fundamental para a compreensão dos mecanismos de geração e evolução magmática, além de fornecer importantes subsídios para a interpretação de ambientes geotectônicos envolvidos na sua gênese e da dinâmica do manto.

Na Suíte Serra da Providência (SSP), cuja área-tipo localiza-se entre os estados de Rondônia e Mato Grosso, ocorrem granitos rapakivi associados a gabros, charnockitos e mangeritos (Rizzotto *et al*., 1995; Scandolara, 2006). A SSP é interpretada com um magmatismo bimodal, no qual processos de diferenciação, incluindo a mistura de magmas, são frequentemente descritos. No sudeste do Amazonas, Almeida *et al*. (2016) correlacionaram os granitos rapakivi da região de Manicoré à SSP, agrupando-os sob a designação de Corpo Vila Maravilha, juntamente com granitos equigranulares, charnockitos e rochas máficas associadas. Essas litologias exibem contatos sin-magmáticos e evidências texturais que sugerem interação entre magmas, embora os estudos detalhados sobre esses processos ainda sejam escassos. Além disso, as rochas máficas vêm sendo atribuídas a uma unidade distinta, denominada Suíte Mata-Matá (Meloni *et al*., 2021).

Mapeamentos recentes realizados pelo Serviço Geológico do Brasil permitiram a subdivisão do Corpo Vila Maravilha em pelo menos cinco fácies, com destaque para a porfirítica rapakivi (PPR) e a híbrida (HBG). A fácies PPR ocorre associada às rochas máficas da Suíte Mata-Matá, enquanto a fácies HBG é interpretada como possível produto híbrido dessa interação. Diante disso, este trabalho tem como objetivo identificar as principais feições e texturas associadas à mistura de magmas na área de estudo, com ênfase na investigação da possível fácies híbrida, a partir de dados de campo e análises petrográficas detalhadas.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo está localizada no município de Manicoré, sudeste do estado do Amazonas, nas proximidades da vila de Santo Antônio do Matupi. O acesso principal ocorre pela rodovia Transamazônica (BR-230) e por vicinais que se estendem ao sul, denominadas Gorpinho, Pito Aceso e Progresso (Figura 1).

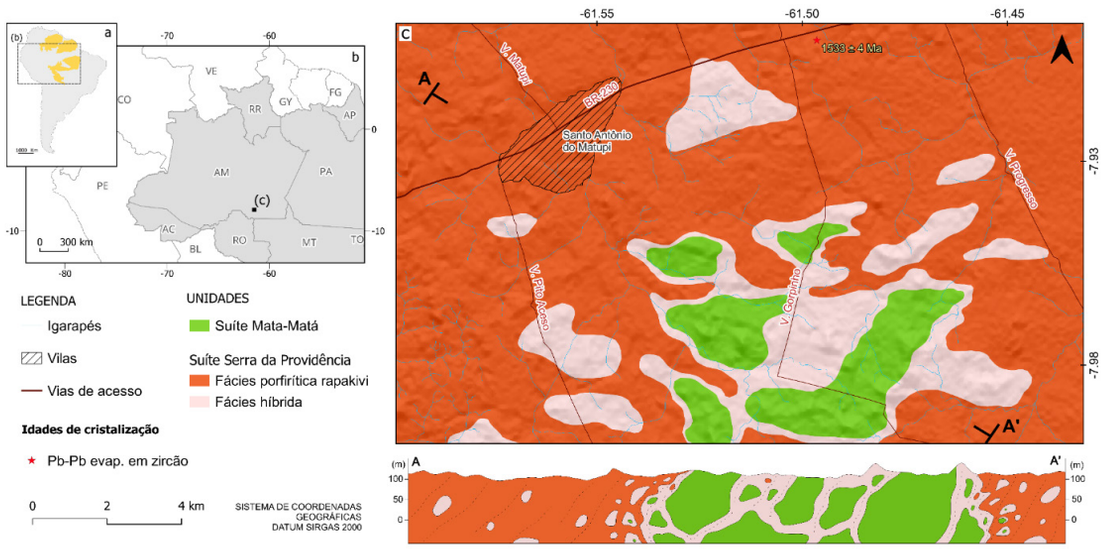


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo, incluindo a geologia simplificada e o perfil geológico interpretado, com exageração vertical de 5x.

Os dados utilizados foram obtidos durante campanhas de mapeamento geológico em escala 1:100.000, realizadas nas folhas Boca do Rio Branco (SB.20-Z-C-VI) e Igarapé Jatuarana (SB.20-Z-D-IV), inseridas no Programa de Expansão da Cartografia Geológica Nacional desenvolvido pelo Geológico do Brasil (SGB). As amostras selecionadas foram tratadas para confecção de 36 lâminas delgadas no laboratório de laminação do SGB. As análises petrográficas voltaram-se a identificação mineralógica, análise das relações de contato entre os minerais e observação de microtexturas, com base em Hibbard (1995) e Vernon (2004), enquanto a classificação das rochas seguiu os critérios estabelecidos por Le Maitre (2002).

3. RESULTADOS

Na Suíte Serra da Providência (SSP), a fácies porfirítica rapakivi reúne biotita sienogranitos a monzogranitos cinza-claro a rosados, de textura porfirítica a seriada. Os fenocristais são compostos por ortoclásio e microclínio, com presença variável de textura rapakivi, imersos em matriz inequigranular média a grossa. Enclaves máficos e graníticos menos evoluídos são comuns, com tamanhos variados e geometrias circulares e elípticas, geralmente apresentando bordas de reação e assimilação de fenocristais (Figura 2a), ou ainda enclaves da própria hospedeira (Figura 2b). A mineralogia essencial dessa fácies inclui ortoclásio, microclínio, quartzo, plagioclásio e biotita, com ±titanita, opacos, allanita, fluorita, apatita e zircão como acessórios e traços. Os cristais de ortoclásio exibem pertitas e simplectitos abundantes e, por vezes, zonação intensa, podendo apresentar manteamento por plagioclásio. Este último geralmente ocorre zonado e intensamente saussuritizado a partir do núcleo.

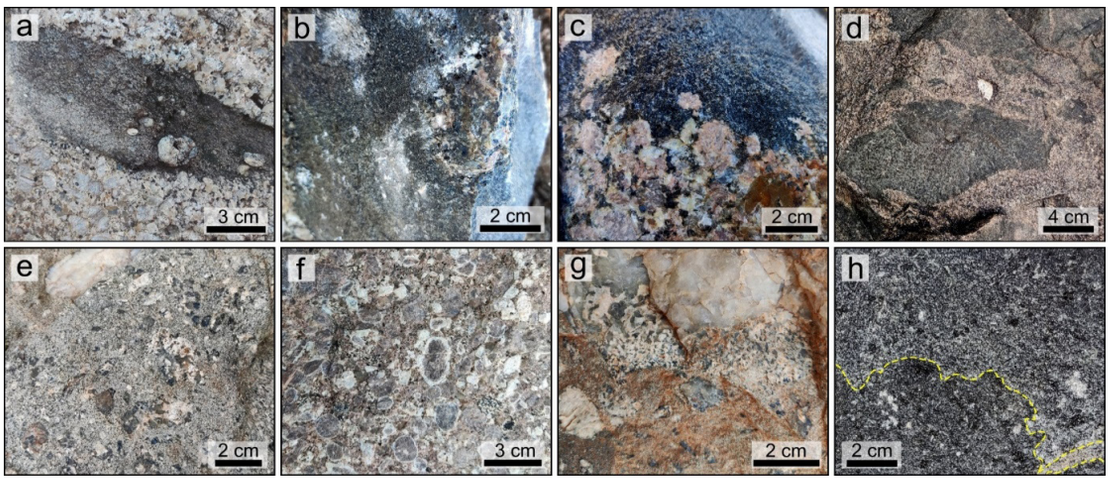


Figura 2: Feições de campo do Corpo Vila Maravilha: (a) enclave máfico com assimilação de fenocristais; (b) enclave máfico com assimilação da hospedeira; (c) detalhe do contato assimilativo entre as rochas; (d) *mingling* entre gabros e granodioritos; (e) xenocristais de quartzo com manteamento de máficos e megacristais associados; (f) fenocristais com abundantes texturas rapakivi; (g) megacristais de ortoclásio com textura gráfica; (h) contato sinuoso e em cúspide entre rochas da SMM.

Na Suíte Mata-Matá (SMM), por sua vez, ocorrem biotita gabros, gabronoritos e dioritos cinza-escuro a esverdeados, variando de texturas hipoabissais a equigranulares finas a médias, raramente com variedades porfiríticas. Ocorrem frequentemente associados a rochas graníticas, em contatos abruptos a fracamente transicionais, predominantemente irregulares e em cúspide, com relações de mútua assimilação e intersecção (Figura 2c, d; Figura 3a). A mineralogia essencial dessa suíte inclui plagioclásio, clinopiroxênio, ortopiroxênio, biotita, uralita e opacos, com titanita, quartzo e microclínio como acessórios e traços. Geralmente, as rochas apresentam intensa saussuritização, uralitização e cloritização, por vezes gerando espessas bordas de reação em alguns minerais (Figura 3b), sobretudo próximo ao contato com os granitos.

Na fácies híbrida, atribuída à SSP e tida como produto do *mixing* com a SMM, estão presentes hornblenda-titanita-biotita granodioritos a monzogranitos cinza-claro a azulados, com variedades porfiríticas, hipoabissais, inequigranulares finas a médias e subordinadamente equigranulares finas. Quando porfiríticas, apresentam fenocristais compostos por quartzo fumê de hábito ovalado, por vezes com manteamento de máficos (Figura 2e), e por ortoclásio de hábitos tabulares e ovalados, cor azulada, geralmente com textura rapakivi (Figura 2f), imersos em matriz inequigranular fina a média. Localmente, podem ocorrer mega xenocristais de ortoclásio com textura gráfica (Figura 2g), além de enclaves máficos com assimilação de fenocristais. Os contatos com a fácies PPR e as rochas da SMM variam de abruptos a transicionais, sendo predominantemente irregulares e em cúspide (Figura 2h), caracterizando-se por relações mútuas de assimilação e intersecção. A mineralogia essencial dessa fácies inclui plagioclásio, quartzo, ortoclásio, biotita, ±hornblenda e ±clinopiroxênio, com opacos, titanita, fluorita, zircão, apatita e allanita como acessórios e traços. Os cristais de plagioclásio ocorrem frequentemente zonados (Figura 3e) e intensamente saussuritizados, geralmente a partir do núcleo ou em zonas concêntricas. Podem integrar aglomerados com biotita, hornblenda, titanita, apatita acicular e opacos, em contatos retos entre si e irregulares a serrilhados com a matriz (Figura 3f). Os cristais de ortoclásio ocorrem com abundantes pertitas e, por vezes, zonação intensa (Figura 3d), podendo apresentar manteamento por plagioclásio, configurando textura rapakivi (Figura 3c). Quando próximo do contato com rochas máficas, surgem simplectitos, em conjunto com cristais de quartzo intersticiais e poiquilíticos (Figura 3g). Além disso, também são observados xenocristais ocelares de quartzo subdivididos em subgrãos, com bordas serrilhadas e apresentando coronas de máficos (Figura 3h). Os cristais de clinopiroxênio ocorrem em hábito granular ou na forma de relictos em hornblenda.

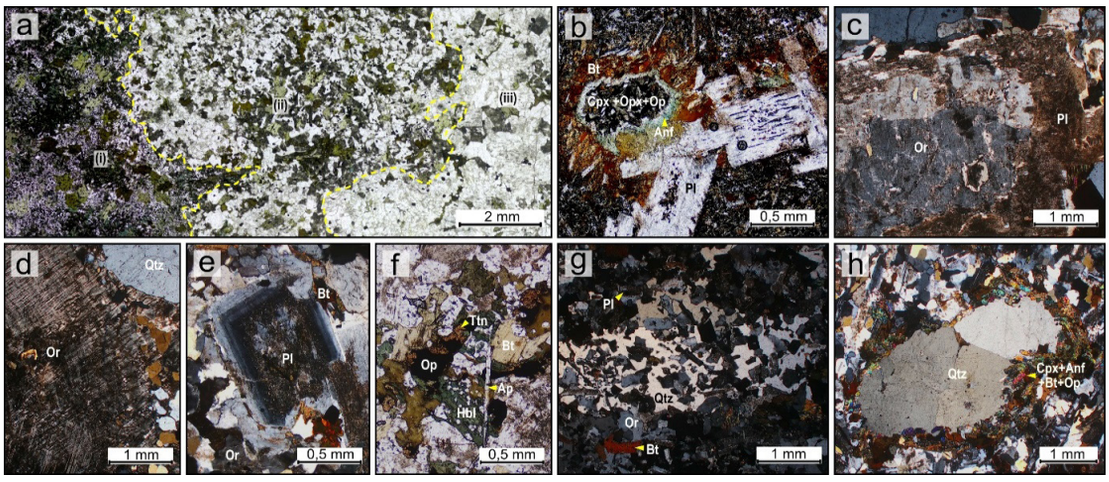


Figura 3: Fotomicrografias de feições de mistura no Corpo Vila Maravilha: (a) contato transicional entre rocha máfica alterada (i) e biotita granito (iii), com termo híbrido (iii); (b) zonação de alteração em piroxênios; (c) fenocristal de ortoclásio com manteamento de plagioclásio saussuritizado; (d) fenocristal de ortoclásio zonado; (e) cristal de plagioclásio zonado, com núcleo saussuritizado e zonas cálcicas; (f) aglomerados de máficos centrados em titanita; (g) detalhe para cristal de quartzo com hábito poiquilítico; (h) xenocristal de quartzo, subdividido em subgrãos, com corona de máficos.

DISCUSSÕES

As relações de contato sinuosas, em cúspide, tendendo a transicionais e com mútua assimilação são consistentes para um contexto de comagmatismo, segundo Morgavi *et al*. (2022). Na área de estudo, frequentemente se observa relações de *mingling* e a ocorrência de um terceiro litotipo, denominado fácies HBG, cujas características variam em função da proximidade com as rochas interagentes (Figura 4). Dessa forma, a hipótese de mistura de magmas e hibridização é coerente, principalmente quando aliado a evidências petrográficas.

Nesse contexto, Hibbard (1995) defende que algumas feições e texturas petrográficas são típicas de mecanismos de mistura de magmas, e quando identificadas em conjunto, podem representar uma evidência consistente deste processo. Dentre elas, podem ser identificadas na área de estudo a textura rapakivi, aglomerados centrados em titanita, presença de grandes cristais de apatita acicular, zonas cálcicas em plagioclásio e xenocristais ocelares de quartzo ou feldspatos com coronas de máficos. Além disso, a intensa zonação em ortoclásio e a alteração deutérica concêntrica em piroxênios também podem indicar desestabilização química no magma. Ainda, a ocorrência de quartzo poiquilítico é proposta por Bussy & Ayrton (1990) em um contexto de perturbação térmica associada à mistura de magmas, e a frequente subdivisão dos xenocristais ocelares de quartzo em subgrãos é sugerida como resultado do choque térmico sofrido durante a interação dos magmas.

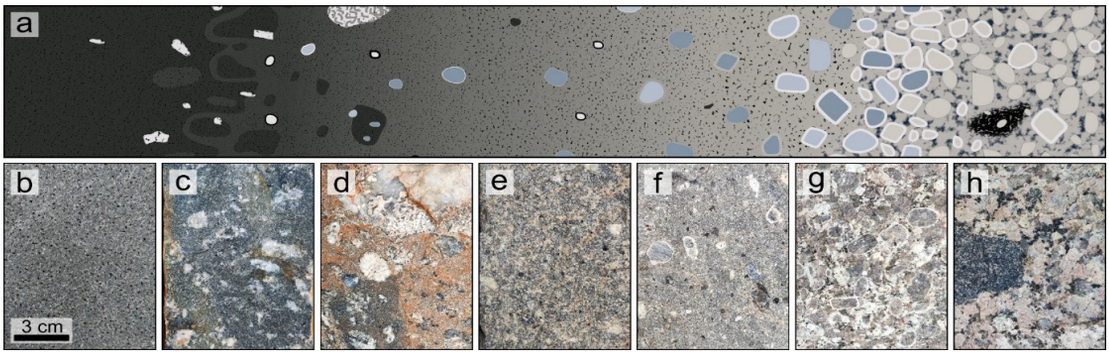


Figura 4: Faciologia e feições de mistura de magmas: (a) diagrama esquemático da interação entre as rochas da SSP e SMM, com base nas relações estratigráficas observadas em campo; (b) rocha da SMM distante da mistura; (c) rocha da SMM na zona de mingling, com assimilação de fenocristais; (d) fácies híbrida associada ao extremo máfico, com abundantes texturas de mistura; (e, f) fácies híbrida intermediária, em equiílibrio químico e textural; (g) fácies híbrida associada ao extremo félsico, com abundantes texturas rapakivi; (h) rocha da fácies PPR distante da mistura, e enclave máfico associado. Todas as fotografias possuem a mesma escala.

CONCLUSÕES

As relações estratigráficas e texturais observadas são consistentes com a hipótese de mistura de magmas entre as rochas máficas atribuídas à Suíte Mata-Matá e os granitos porfiríticos da Suíte Serra da Providência, com mecanismos de *mingling* e *mixing*. Neste último caso, a interação resulta em um litotipo híbrido, com características variando em função da influência dos termos extremos. Por fim, são sugeridos estudos geoquímicos e isotópicos que complementem as conclusões obtidas neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, M. E.; Costa, U. A. P.; Oliveira, A. C. S. Geologia e recursos minerais da folha Sumaúma (SB.20-Z-D): estado do Amazonas: nota explicativa. Manaus: CPRM, 2016. Escala 1:250.000.

Bussy, F.; Ayrton, S. Quartz textures in dioritic rocks of hybrid origin. Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie, v. 70, p. 223-235, 1990.

Hibbard, M.J. (1995). Petrography to petrogenesis. Prentice Hall, 587p.

Le Maitre, R. W. (2002). Igneous rocks a Classification and Glossary of Terms Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Sub-Commission on the Systematics of Igneous Rocks, Cambridge University Press, 236 p.

Meloni, R. E.; Simões, M. S.; Oliveira, A. C. S. Áreas de relevante interesse mineral (ARIM) evolução crustal e metalogenia do sudeste do Amazonas: distrito aurífero Juma. 2021. Informe de recursos minerais, série províncias minerais do Brasil, nº 34. 320 p.

Morgavi, D.; Laumonier, M.; Petrelli, M.; Dingwell, D. B. (2022). Decrypting magma *mixing* in igneous systems. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 87(1), 607-638.

Patchett, P. Thermal effects of basalt on continental crust and crustal contamination of magmas.1980. Nature 283.

Rizzotto, G. J.; Scandolara, J. E.; Silva, C. R.; Dall'Agnol, R.; Bettencourt, J. S.; Morais, P. R. 1995. Geology and preliminary geochemistry of the middle proterozoic Serra da Providência rapakivi granite-Rondônia, Brazil. In: Dall'Agnol R., Macambira M.J.B., Costi H.T. (eds.) Symposium on Rapakivi Granites and Related Rocks, Center of Geosciences. University Federal of Para, Belém. Abstracts. Volume, p. 67-68.

Scandolara, J. E. Geologia e evolução do terreno Jamari, embasamento da faixa Sunsás/Aguapeí, centro-leste de Rondônia, sudoeste do Cráton Amazônico. 2006. 383 p. 2006. Tese - Instituto de Geociências, UnB, 2006.

Vernon, R. H. Um guia prático para microestrutura de rochas. Cambridge University Press, 2004.

METAMORFISMO REGIONAL E DEFORMAÇÃO TECTÔNICA POLIFÁSICA DAS ROCHAS DA SERRA TEPEQUÉM (RR)

Renê Luzardo[1] & Lucas Balsini Garcindo[1]

[1]SGB – Serviço Geológico do Brasil

rene.luzardo@sgb.gov.br

RESUMO

A serra Tepequém (RR) é um morro testemunho remanescente da cobertura vulcanossedimentar do Supergrupo Roraima (Paleoproterozoico). Recentes evidências demonstram que a serra constitui uma estrutura braquisinforme alçada com eixos maiores de direção NE-SW, constituída por rochas metavulcanossedimentares polideformadas e de baixo grau metamórfico. Duas fases deformacionais (D_1 e D_2) foram identificadas, envolvendo dobramentos isoclinais e geração de foliações do tipo clivagem ardosiana e clivagem de crenulação. A ocorrência de paragêneses metamórficas com pirofilita + clorita em rochas pelíticas (ardósia e filito) e actinolita + epidoto + clorita em rochas vulcânicas básicas (metabasalto), caracteriza a fácies xisto verde do metamorfismo regional. A identificação de ardósia, filito e metabasalto polideformados sugere a existência de pelo menos um evento metamórfico regional orogênico mais jovem que 1,87 Ga (idade do Supergrupo Roraima).

PALAVRAS CHAVE: Serra Tepequém; metamorfismo regional; Supergrupo Roraima

INTRODUÇÃO

A serra Tepequém, localizada na porção centro-norte do Estado de Roraima (fig. 1) é considerada um morro testemunho remanescente da cobertura sedimentar do Paleoproterozoico denominada Supergrupo Roraima (Pinheiro *et al.,* 1990) que recobre parte do Escudo da Guiana que, no local, é representado por rochas vulcânicas do Grupo Surumu com idades entre 2,10 e 1,87 Ga (Santos *et al.*, 2000). Na serra afloram rochas da Formação Arai correlatas com a base do Supergrupo Roraima, uma sequência siliclástica/vulcanoclástica de litarenitos, conglomerados, pelitos, jaspelitos e itabiritos depositados em ambiente de leques aluviais, fluviais entrelaçados a eólicos com influência vulcânica (Pinheiro *et al.,* 1990).

A ocorrência de camadas de ardósia que exibem proeminente clivagem e deformação, intercaladas com camadas de arenitos e conglomerados, aparentemente indeformados e não metamórficos, suscita controvérsias a respeito das rochas do Supergrupo Roraima. As rochas metamórficas de baixo grau em geral preservam praticamente inalteradas as

feições da rocha original (protólito) como estruturas sedimentares primárias ou texturas ígneas e apresentam incipiente desenvolvimento das feições secundárias como foliações e minerais metamórficos. O objetivo deste trabalho é investigar o metamorfismo e a deformação polifásica que afetaram as rochas da serra Tepequém nessa porção do craton no Escudo das Guianas.

MATERIAIS E MÉTODOS

O mapeamento geológico foi conduzido com a coleta de amostras e levantamento de dados estruturais (Luzardo, 2006). As amostras foram encaminhadas para laminação e pulverização para análise por difração de raios-X, que segundo a Subcomissão para a Sistematização das Rochas Metamórficas da IUGS, é recomendada para identificação de rochas metamórficas de baixo grau. Após a identificação mineralógica, as rochas foram classificadas de acordo com fácies e grau metamórfico (Yardley, 1989). Foram empregadas técnicas de microtectônica em amostras orientadas conforme o acamamento S_0 e clivagem regionais através da análise estrutural das lâminas petrográficas para o reconhecimento de fases de deformação e paragêneses metamórficas associadas (Passchier & Trouw, 2005).

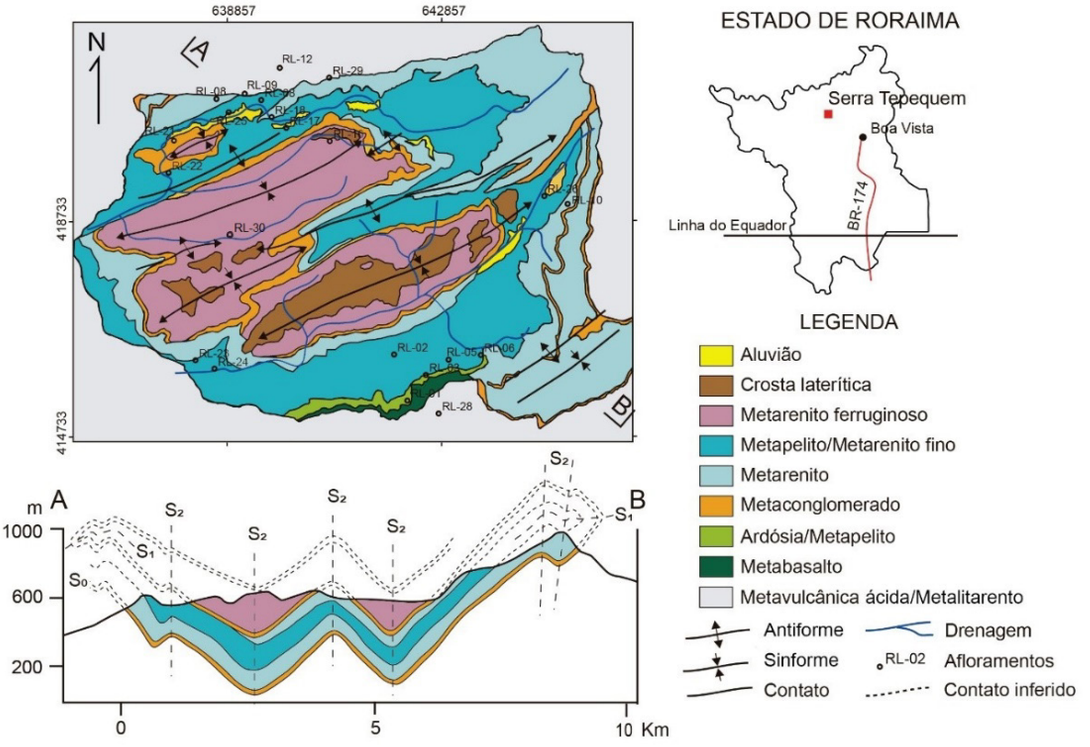


Figura 1 – Mapa geológico com a localização dos afloramentos de levantamento e amostragem, seção geológica e localização da Serra Tepequém (RR)(modificado deLuzardo , 2006)).

RESULTADOS

A análise estrutural indica que, pelo menos, duas fases de deformação acompanhadas por metamorfismo regional de baixo grau afetaram as rochas da sequência metavulcanossedimentar da serra Tepequém (fig. 2). A primeira fase de deformação (D_1) está relacionada às dobras isoclinais, possivelmente recumbentes, que afetaram o acamamento sedimentar (S_0) gerando clivagem ardosiana (S_1) marcada por lamelas de mica branca (pirofilita) e clorita orientadas segundo uma direção preferencial (figs. 4A, 4B e 5C). Outras feições indicadores de deformação tectônica como máculas elípticas ("spots") (fig. 3A) e seixos achatados também são comuns (fig. 3C).

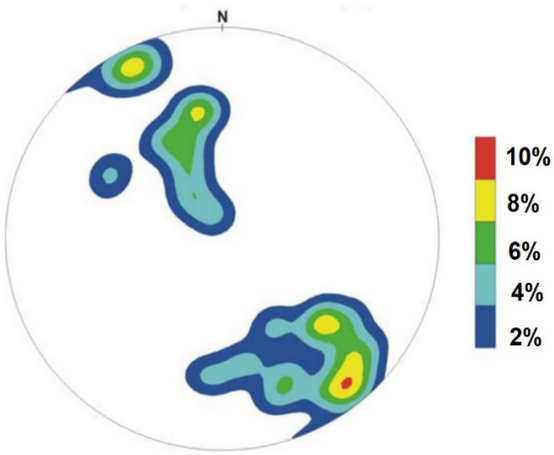


Figura 2 – Densidade de polos do acamamento S_0 evidenciando o dobramento regional das dobras de grande amplitude com eixo NE-SW da Fase D_2 (n=34).

A segunda fase de deformação (D_2) é marcada por uma foliação tipo clivagem de crenulação mais jovem (S_2) que gera microdobras na clivagem ardosiana mais antiga (S_1) (figs. 4C, 4D, 5A e 5B). Esta foliação mais antiga (S_1) está preservada e pode ser observada nos microlitons com porfiroblastos de pirofilita (fig. 5B). A foliação de crenulação S_2 (fig. 4C) é subvertical, possui orientação segundo a direção N70E e é plano axial das dobras (D_2) abertas de grande amplitude que constituem a sinforme (fig. 1 e estereograma da fig.2).

As análises de difração de raios-X determinaram a associação pirofilita + muscovita e a ausência de argilominerais como a caulinita, indica a reação metamórfica caulinita + quartzo = pirofilita + H_2O do campo de estabilidade da pirofilita entre 1 Kb e 325 ± 20° C e 4 Kb e 375 ± 15 °C (Kerrick, 1968). A ocorrência de metabasalto com associação actinolita + epidoto + clorita + albita + pumpellyíta (fig. 5D) substituindo parcialmente fenocristais de piroxênio e plagioclásio cálcico originais, intercalado com ardósia e filito com pirofilita + clorita caracteriza a fácies xisto verde (zona da clorita) do metamorfismo regional de baixo grau (Yardley, 1989).

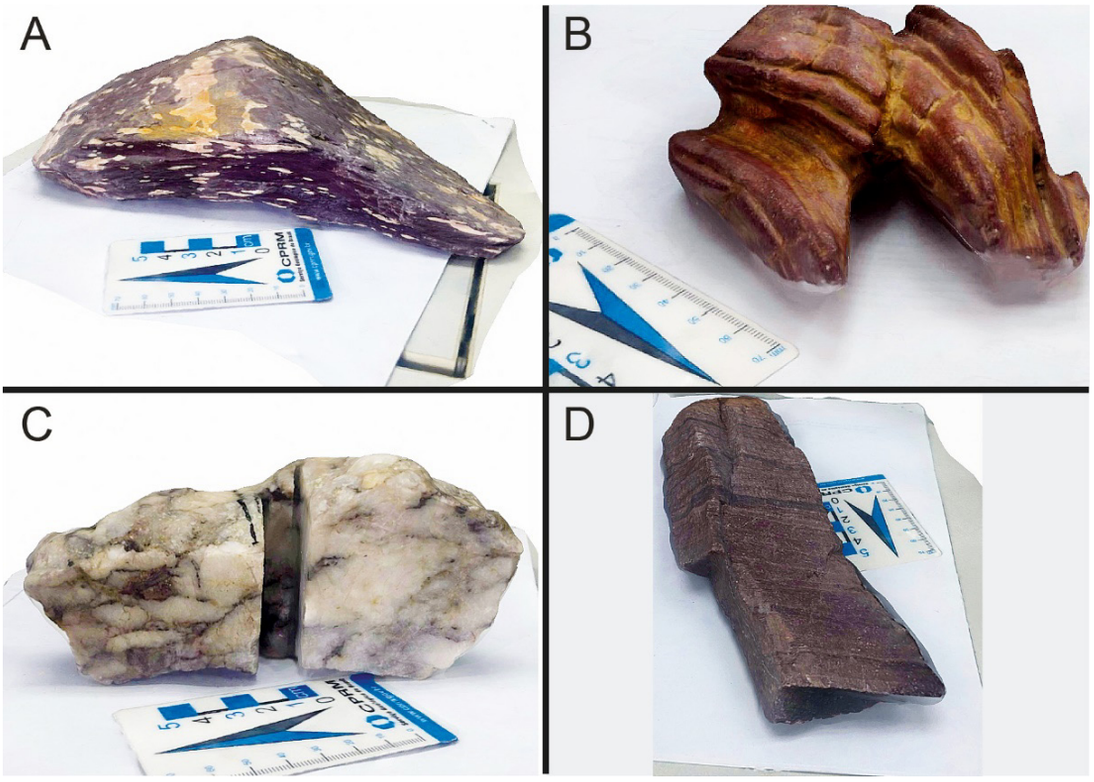


Figura 3 – Amostras da Serra Tepequem (RR): A) Ardósia (RL-03) com máculas elípticas paralelas à clivagem S_1, paralelas a S_0 subhorizontal em campo, redobrada por D_2 com plano axial subvertical e conforme eixo regional NE-SW; B) Jaspelito (RL-22) dobrado por D_2; C) Metaconglomerado (RL-17) deformado por D_1 com planos de dissolução em contatos côncavo-convexos; D) Ardósia (RL-05) com estruturas em lápis formadas pelas clivagens S_1 e S_2, cortando acamamento S_0.

A segunda fase de deformação (D_2) é marcada por uma foliação tipo clivagem de crenulação mais jovem (S_2) que gera microdobras na clivagem ardosiana mais antiga (S_1) (figs. 4C, 4D, 5A e 5B). Esta foliação mais antiga (S_1) está preservada e pode ser observada nos microlitons com porfiroblastos de pirofilita (fig. 5B). A foliação de crenulação S_2 (fig. 4C) é subvertical, possui orientação segundo a direção N70E e é plano axial das dobras (D_2) abertas de grande amplitude que constituem a sinforme (figs. 1 e 2). Os processos de recristalização que acompanharam o metamorfismo de baixo grau, como dissolução por pressão, mobilizaram os fluidos intergranulares e geraram veios sin-metamórficos de quartzo com especularita.

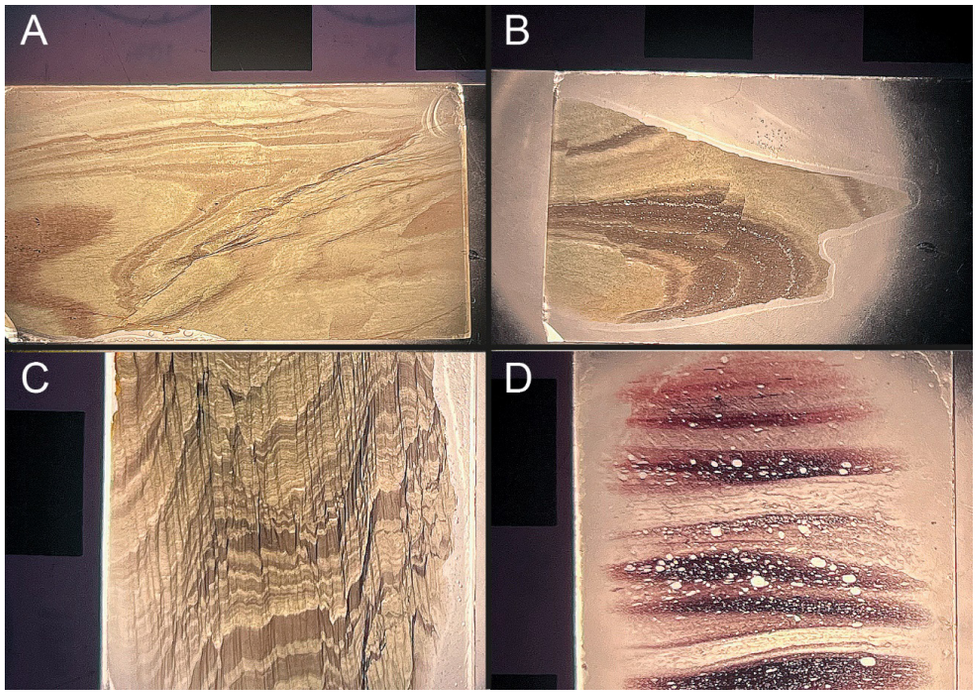


Figura 4 – Lâminas petrográficas fotos A e B orientadas em S_0 sub-horizontal e clivagem de crenulação: A) Filito (RL-30, Cachoeira do Barata) exibindo dobras D_1 isoclinais recumbentes com clivagem S_1 plano axial afetando acamamento sub-horizontal S_0; B) Filito (RL-30) exibindo dobras D_1 isoclinais recumbentes com clivagem S_1 plano axial dobrando S_0 sub-horizontal. Lâmina petrográfica foto C orientada ortogonalmente às lâminas A e B. C) Clivagem de crenulação S_2 subvertical, plano axial às dobras D_2, observa-se também charneiras de dobras recumbentes D_1; D) Jaspelito (RL-22, Tilin do Gringo), com intercalação de níveis ferruginosos e pelíticos, exibindo S_0 paralelo a S_1 horizontal e clivagem ardosiana S_2 cortando-a diagonalmente mais visível no topo. (Escala quadriculada em todas as fotos de 1cm)

DISCUSSÃO

Uma vez demonstrado que a serra Tepequém é constituída uma sucessão de rochas metavulcanossedimentares polideformadas e transformadas por metamorfismo regional de fácies xisto verde, surgem novas questões já que os minerais das paragêneses metamórficas não foram datados por métodos radiométricos. As deformações que afetaram a sequência, principalmente a fase (D_1), promoveram a transposição das camadas e, possivelmente, inverteram a posição lito-estratigráfica de parte da sequência.

Ocorreu, nesta porção do cráton das Guianas, um evento tectônico-metamórfico mais jovem que as rochas do Supergrupo Roraima?

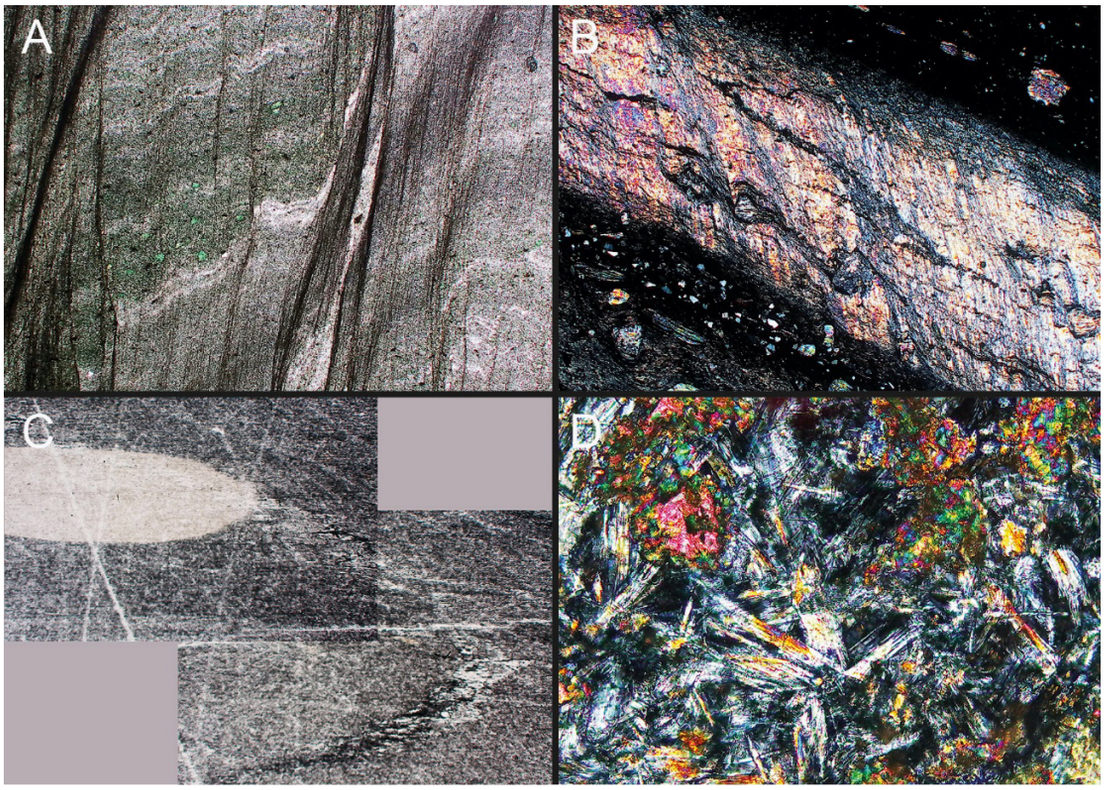


Figura 5 – Fotomicrografias: A) Filito (RL-30) exibindo clivagem de crenulação S_2 cortando S_0 paralelo a S_1 marcado por clorita e pirofilita (LP, aumento de 2x); B) Jaspelito (RL-22) exibindo clivagem de crenulação S_2 em diagonal obliquo a S_0 paralelo a S_1 marcado por clivagem ardosiana marcada por pirofilita (LP, aumento de 4x); C) Ardósia (RL-03) com máculas elípticas paralelas a S_1 plano axial de dobras iscolinais D_1 (LN, aumento de 2x); D) Metabasalto (RL-01 Pousada do SESC), com actinolita (acicular), epidoto (granular com cores de interferência de 2ª a 3ª ordem) e clorita (LP, aumento de 20x).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

INTERNATIONAL UNION OF GEOLOGICAL SCIENCES – IUGS. Origin, Texture, and Classification of Metamorphic Rocks. Teklewold Ayalew, 2011.

Kerrick, D.M., 1968. Experiments on the upper stability limit of pyrophyllite at 1.8 kilobars and 3.9 kilobars water pressure. American Journal of Science, 266, 204-14.

Luzardo, R. O metamorfismo da serra Tepequém (Estado de Roraima). 2006. 91 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2006.

Passchier, C. & Trouw, R. J. Microtectonics. Berlin: Springer-Verlag, 2005.

Pinheiro S.S.; Reis N.J.; Costi H.T. 1990. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. *Geologia da Região de Caburaí, Nordeste de Roraima* Escala 1:100.000. Estado de Roraima. DNPM/CPRM. Superintendência Regional de Manaus, 1v., il. 91p.

Santos, J.O.S.; Hartmann, L.A.; Gaudette, H.E.; Groves, D.I.; Mcnaughton, N.J.; Fletcher, I.R. A new understanding of the provinces of Amazon Craton based on integration of field mapping and U-Pb and Sm-Nd geochronology. Gondwana Research, v. 3, p. 453-488, 2000.

Yardley, B. W. D. Metamorphic Petrology. London: Chapman and Hall, 1989.

ANÁLISE ESTRUTURAL E DEFORMAÇÃO RÚPTIL NA REGIÃO PERIURBANA DE MANAUS

Lucas Balsini Garcindo[1]; Rene Luzardo[1]; Paulo Roberto Rodrigues Benevides Filho[1]; Tomas de Miranda Lisboa[1]

[1]**Serviço Geológico do Brasil**

lucas.garcindo@sgb.gov.br

RESUMO

Na região periurbana de Manaus, a Formação Alter do Chão (FAC) e unidades informais suprajacentes apresentam-se afetadas por um sistema extensional de *grabens* e *horsts* com orientações NE-SE, E-W e NW-SE, controlando vales e drenagens. Durante o mapeamenteo geológico mais de cem estruturas foram descritas, principalmente falhas normais com deslocamentos métricos. Três eventos tectônicos foram identificados: extensão N-S (Cretáceo-Eoceno), extensão NW-SE (Pleistoceno-Holoceno) e rotação para extensão E-W (Holoceno), refletindo variações do campo de tensões intraplaca Sul-Americana associadas às placas de Nazca e Caribe.

PALAVRAS-CHAVE: Formação Alter do Chão, análise estrutural, Bacia Sedimentar do Amazonas.

INTRODUÇÃO

A região periurbana de Manaus (fig.1) é localizada na Bacia Sedimentar do Amazonas (BSA) que registra a sedimentação entre as eras Paleozóica e Cenozóica, atingindo aproximadamente 6000 metros de espessura nos seus depocentros (Caputo, 2014). A deformação rúptil se estendeu às últimas fases do preenchimento da BSA, afetando desde rochas sedimentares do fim do Cretáceo até os depósitos e terraços do Quaternário. A finalidade dessa pesquisa é justamente analisar essa deformação tardia e unidades litoestratigráficas relacionadas, à luz de um volume significativo de dados estruturais de novos afloramentos levantados durante o Projeto Estudos Hidrogeológicos da Região Periurbana de Manaus (2018) financiado pela ANA e SGB, ainda não publicados.

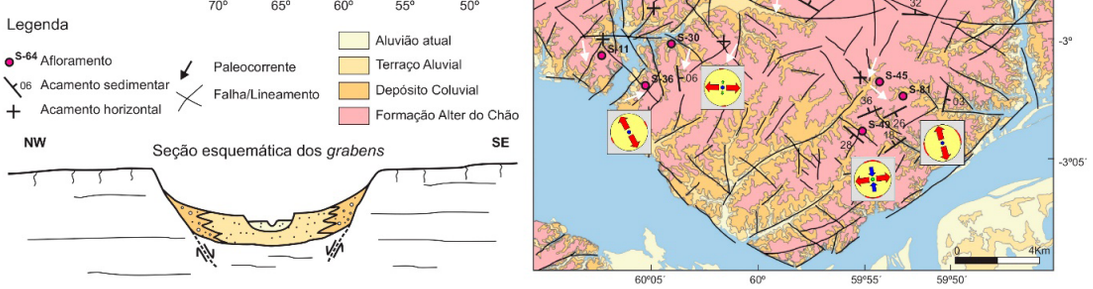


Figura 1 – Mapa geológico da região de Manaus, com mecanismos focais calculados a partir das falhas em cada ponto (paleotensores)

CONTEXTO GEOLÓGICO

A BSA é uma estrutura sinclinal intracratônica que cobre 500.000 km² limitada ao norte pelo Escudo das Guianas e ao sul pelo Escudo Brasileiro (ou Guaporé). A Formação Alter do Chão (FAC), que recobre a bacia, definida por Kistler (1954) é a principal unidade aflorante na região de Manaus e na Bacia do Amazonas, sua idade ainda é bastante controversa (Daemon, 1975; Dino, *et al.* 1999; Caputo, 2014), assumida como entre o Cretáceo e o início do Paleoceno (K-T).

MATERIAIS E MÉTODOS

O mapeamento geológico (1:50.000) foi precedido por etapas de levantamento de dados. Foram coletados os dados estruturais de pares falha/estria, juntas, bandas de deformação subverticais e acamamento sedimentar, com a elaboração de perfis sedimentológicos (fig.2), dados de paleocorrente, fotomosaicos de afloramentos e seções geológicas. Foram testadas técnicas de aquisição de dados por drones como no ponto S-64, para modelagem 3D de afloramentos.

Em Manaus a FAC (K-T) varia em espessura de 200 a 300 m, cobertas por crostas lateríticas formadas durante a erosão do Tortoniano (Arai, 2006) datadas por paleomagnetismo em 10 Ma (Horbe, 2014). Em discordância erosiva jazem as unidades informais de Depósitos Coluviais e Terraços Aluviais do Pleistoceno-Holoceno (Sarges, 2007; Soares, 2007). Por fim os depósitos do ambiente fluvial atual (Holoceno até o recente). Em subsuperfície, subjacentes à FAC os evaporitos da Formação Nova Olinda (Permiano) e o Diabásio Penatecaua (Triássico).

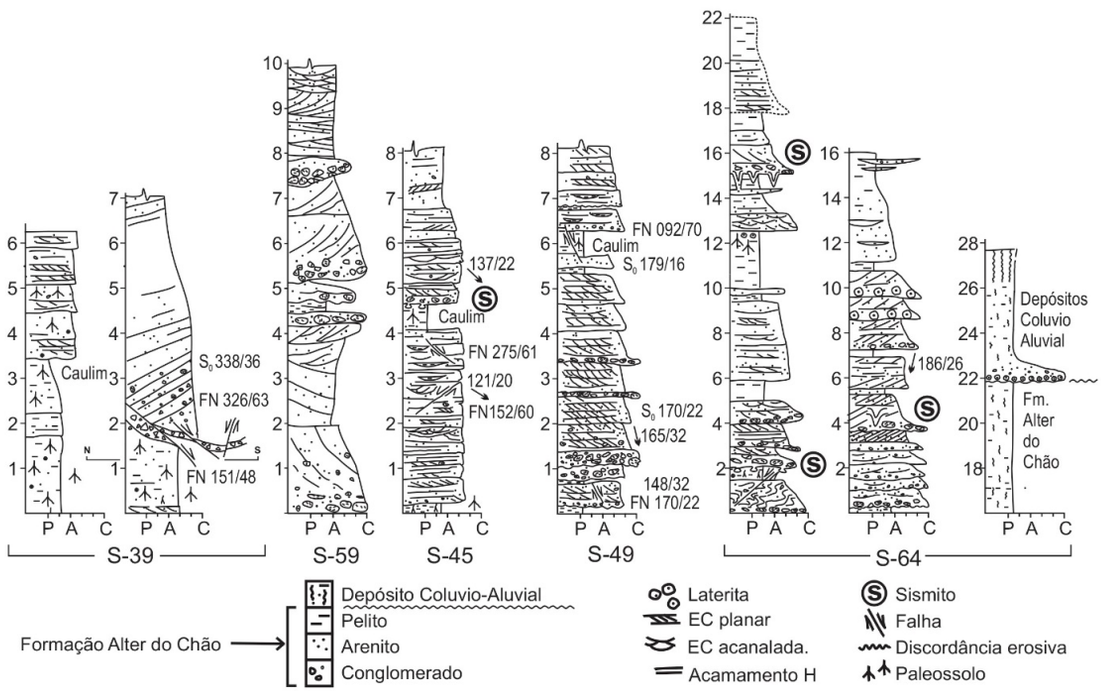


Figura 2 – Perfis sedimentológicos dos afloramentos principais da análise estrutural.

Pouco mais de uma centena de estruturas foram descritas: falhas (72); acamamento sedimentar (19); juntas (20); paleocorrentes (12) corrigidas ou não do basculmento. Para a análise dos dados estruturais (fig.3) foi utilizado o aplicativo *Tensor* e *Win Tensor* (Delvaux & Sperner, 2003). O controle tectônico sobre a rede de drenagem é evidente, os igarapés (rios) do: Quarenta, Mindu, Franceses, Ipiranga, Gigante, parte do Tarumã (NE-SW); Franco, Boa Vista, João Paulo (NW-SE); o próprio Negro que está encaixado na principal intersecção das estruturas com estas mesmas direções. Menos comuns lineamentos N-S como os rios Tarumã-Acú e Puraquequara, estruturas a princípio mais recentes inferidas a partir das anomalias e capturas de drenagem.

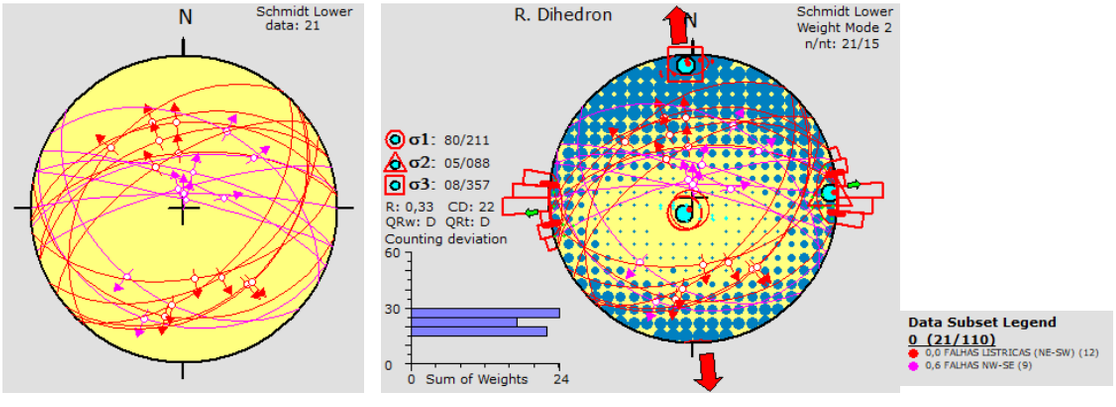


Figura 3 – Exemplo dos pontos S-64 e S-81, metodologia utilizada para o tratamento estatístico conjunto dos grupos de falhas discretizados pelo Win Tensor.

ANÁLISE ESTRUTURAL

A área caracteriza-se por um sistema extensional de *grabens* e *horsts* simétricos a assimétricos com orientação NE-SE a E-W e NW-SE, coincidindo com os principais lineamentos morfoestruturais onde encaixam-se os vales e boa parte das drenagens mais importantes. Possui geometria romboédrica, compartimentado por falhas normais a normais oblíquas afetando rochas sedimentares da FAC, por vezes reativadas ou com as mesmas direções cortando depósitos coluviais-aluviais sobrejacentes, crostas lateríticas e inclusive solos (fig.4). Subjugados a estes, sistemas mais recentes N-S e NW-SE são observados, controlando depósitos coluviais-aluviais.

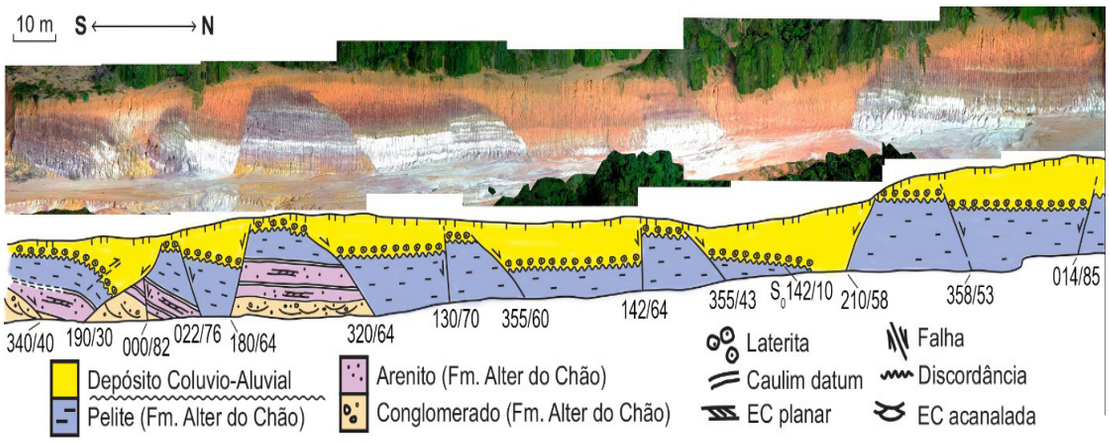


Figura 4 – Seção do afloramento S-64, sistema extensional exibindo falhas normais (por vezes lístricas com anticlinais de *rollover*) sindeposicionais à Formação Alter do Chão com desenvolvimento de *grabens* invertidos, sendo posteriormente reativadas cortando crosta laterítica e, novamente, sindeposicionais aos depósitos colúvio-aluviais.

As maiores falhas extensionais lístricas e planares exibem deslocamentos métricos a decamétricos. As falhas antitéticas às lístricas sofrem inclinação devido à rotação dos blocos ao longo da falha de descolamento basal, formando uma estrutura conhecida como anticlinal de *rollover*. Foram observadas associadas às falhas sindeposicionais da FAC, estruturas sedimentares induzidas por terremotos (sismitos) como laminação convoluta (*sismoslumps*, *dish structures*), diques clásticos, cunhas tixotrópicas, falhamentos hidroplásticos e estruturas de carga de grande porte. Nos pontos S-39, S-49, S-61 e S-81 as falhas NE-SW, E-W e NW-SE afetam aparentemente apenas a FAC e foram interpretadas como sindeposicionas (fig. 5). Já na porção W da área de estudo, nos pontos S-30, S-36, S-54 e S-57/59, as estruturas NE-SW a N-S afetam claramente os depósitos coluviais e crostas lateríticas desenvolvidas no topo da FAC. No ponto S-64 observa-se que as mesmas estruturas lístricas sindeposicionais da FAC são as mesmas reativadas durante o entulhamento colúvio-aluvial dos grabens durante Pleistoceno-Holoceno, morfologicamente são falhas de crescimento onde ocorre o espessamento dos depósitos em direção ao plano.

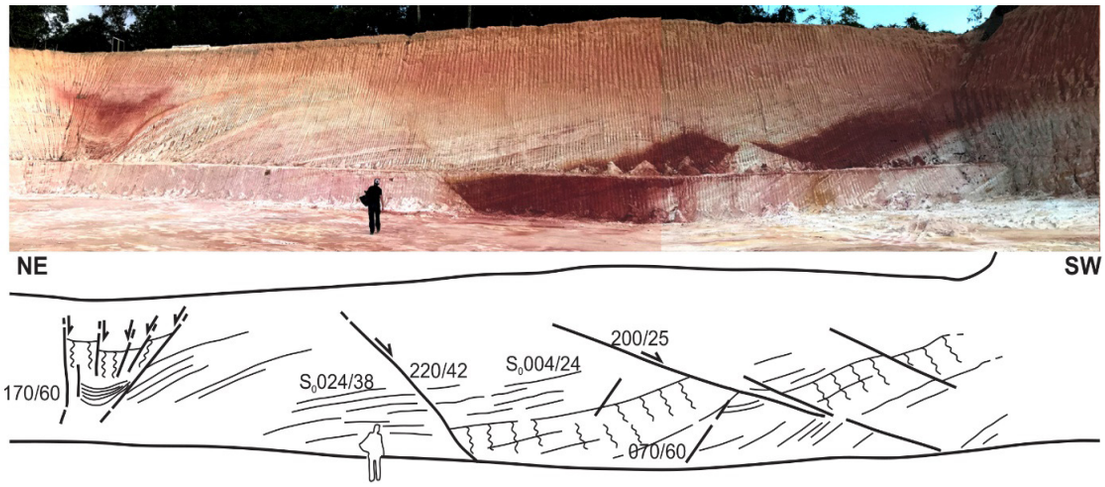


Figura 5 – Seção do afloramento S-81, exibindo falhas normais cortando a camada datum de paleossolo bem desenvolvido da Formação Alter do Chão.

E no ponto S-75 no vale tectônico NW-SE do Igarapé Água Branca, entulhado por depósitos aluviais com estruturas tectônicas como falhas intraestratais e sismitos (*sismoslumps* e falhamento hidroplástico) em terraços arenosos, laminados, intercalados com níveis delgados de matéria orgânica (passíveis de datação por C^{14}).

Discussão

A análise estrutural de superfície aponta para 3 eventos tectônicos compatíveis a um regime tectônico extensional: (1) extensão N-S (entre o Cretáceo-Eoceno) gerando falhas normais geralmente lístricas e a reativação de estruturas NE-SW e NW-SE herdadas da BSA (*dog leg*), sindeposicionais à FAC, sintéticas e antitéticas em pares conjugados, exibindo anticlinais de roll over com eixos E-W e sismitos; (2) Extensão NW-SE (Pleistoceno-Holoceno), reativando estruturas pretéritas e controlando a deposição de vales tectônicos principalmente de direção NE-SW, afetando as crostas lateríticas e a unidade Depósitos Coluviais e Terraços Aluviais e gerando sismitos; (3) rotacionamento do eixo máximo de extensão para E-W (Holoceno?), controlando tectonicamente as drenagens N-S (lineamentos Tarumã-Puraquequara) e a captura de outras direções de menor ordem, e reativando as estruturas NW-SE. Estes eventos tectônicos foram interpretados como resultado da variação do campo de tensões intraplaca Sul-Americana, com rotação do eixo de extensão máxima (sigma 3) de N-S entre o intervalo K-T, para NW-SE e E-W na transição Pleistoceno-Holoceno. Isso sugere interações entre diferentes placas tectônicas: a extensão inicial ao reflexo intraplaca da convergência da Placa de Nazca a oeste e início da subducção andina com compressão E-W; a rotação do eixo pode ser interpretada como uma interação cada vez maior com a Placa do Caribe ao norte a partir do Mioceno, a partir de esforços transpressivos resultando em uma compressão N-S e extensão E-W.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albuquerque, O. R. Reconhecimento geológico no vale do Amazonas (Campanhas de 1918 e 1919). Rio de Janeiro: Serviço Geológico e Mineralógico/Divisão de Geologia e Mineralogia, 1922. Boletim, n. 3, 84 p.

Arai , M. 2006. A grande elevação eustática do Mioceno e sua influência na origem do Grupo Barreiras . *Geologia USP. Série Científica*, *6*(2), 1-6.

Caputo, M. V. Bacia do Solimões: Estratigrafia, tectônica e magmatismo. Relatório. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2014.

Daemon, R. F. Contribuição à datação da Formação Alter do Chão, Bacia do Amazonas. Revista Brasileira de Geociências, v. 5, p. 78-84, 1975.

Delvaux, D.; Sperner, B. Stress tensor inversion from fault kinematic indicators and focal mechanism data: the TENSOR program. In:

Dino, R.; Silva, O. B.; Abrahão, D. Caracterização palinológica e estratigráfica dos estratos cretáceos da Formação Alter do Chão, Bacia do Amazonas. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 5., Rio Claro. Boletim de Resumos Expandidos, p. 557-565, 1999.

Nieuwland, D. (Ed.). New Insights into Structural Interpretation and Modelling. London: Geological Society, 2003. v. 212, p. 75–100.

Horbe, A. M. C., **2014. Idades paleomagnéticas de crostas lateríticas da Amazônia**. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais 9 (1): 12p.

Kistler, P. Historical resume of the Amazon Basin. Petrobras Internal Report, no. 104-A, Brazil, 1954.

Sarges, R. R. Relação entre as estruturas tectônicas, sedimentação coluvial e a geomorfogênese da região de Manaus, Amazonas. 2006. 121 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

Soares, E. A. A. Depósitos pleistocenos da região de confluência dos rios Negro e Solimões, Amazonas. 2007. 205 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

RECONSTRUCTING PALEOPROTEROZOIC VOLCANIC ENVIRONMENTS: ERUPTIVE STYLES AND EVIDENCE OF PHREATOMAGMATISM IN THE AMAZONIAN CRATON'S COLÍDER GROUP

André Massanobu Ueno Kunifoshita[1]; Maria José Mesquita[1]; Felipe Holanda dos Santos[2]; Carlos Augusto Sommer[3]

[1]Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP; [2]Universidade Federal do Ceará - UFC; [3]Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

andrekunifoshita@gmail.com; majo@unicamp.br; fhfelipeh@gmail.com; carlos.sommer@ufrgs.com

ABSTRACT

Paleoproterozoic rocks are crucial for understanding Earth's tectonic evolution, particularly in regions where juvenile crust and mineral deposits were formed. The Amazonian Craton preserves significant Paleoproterozoic volcanic records, associated with the Orocaima, Uatumã, and Colíder Silicic Large Igneous Provinces (SLIPs). In this study, we identify different eruptive styles, both effusive and explosive, within the Colíder Group in the Alta Floresta Mineral Province. For the first time, deposits associated with phreatomagmatic eruptions are described in this region. The ancient volcanic succession comprises massive hypohyaline rhyolitic lava flows, indicative of effusive volcanic activity, with crystallization ages (U-Pb in zircon) around 1800 Ma. In contrast, lapilli tuffs and tuffs with massive and stratified structures represent explosive deposits, and the pyroclastic rocks are interpreted as ignimbrite. The presence of four types of ash aggregates—ash pellets, coated ash pellets, accretionary lapilli, and cored accretionary lapilli—suggests a phreatomagmatic origin. Additionally, epiclastic deposits are observed, resulting from the reworking of both primary volcanic material and basement rocks. The identification of these diverse eruptive styles enables the reconstruction of a paleoenvironment characterized by interactions between magma and water during volcanic activity. Such settings are typical of ancient and modern calderas, intra-caldera basins, or volcanic systems in direct contact with marine or fluvial waters. The findings presented herein provide new insights into the reconstruction of this Paleoproterozoic volcanic terrane and offer valuable contributions to the understanding of the geological evolution of the Amazonian Craton.

KEYWORDS: Phreatomagmatic eruption; Colíder Group; Paleoproterozoic volcanism; Amazonian Craton.

INTRODUCTION

In Paleoproterozoic terrains, the record of volcanic deposits is often hampered by erosion, weathering, and metamorphic processes, which makes it difficult to accurately identify the paleoenvironment (Mueller *et al*., 2000). However, it may be possible in volcanic successions with excellent preservation. A notable example is found in the Colíder Group, southern Amazonian Craton, which contains well-preserved Paleoproterozoic felsic volcanism.

The volcanic rocks of the Colíder Group outcrop in the eastern region of the Alta Floresta Mineral Province (PMAF) around the Peixoto de Azevedo Domain, and in the western area, along the entire southern edge of the Upper Tapajós Basin (Souza *et al*., 2005). The volcanism of the Colíder Group in the União do Norte region comprises mainly felsic flows, subvolcanic intrusions, pyroclastic deposits, and associated epiclastic rocks (Souza *et al*., 2005; Kunifoshita *et al*., 2024) (Figure 1A and B).

In this study, we present new data on the physical volcanic processes and eruptive styles of the Colíder Group, derived from field and petrographic observations, lithofacies analysis, and zircon U-Pb geochronology.

MATERIALS AND METHODS

Lithofaciological analyses were conducted during the geological mapping and petrographic investigations. To describe the field and thin-section characteristics, as well as to interpret the volcanic processes, we followed the guidelines of McPhie *et al*. (1993), Cas and Wright (1987) and Branney and Kokelaar (2002). The nomenclature of the lithofacies of the effusive and pyroclastic volcanic rocks was based on the proposals of McPhie *et al*. (1993) for coherent lavas, intrusions and volcaniclastic deposits.

The thin sections were analyzed using a variable-pressure Scanning Electron Microscope (SEM) model JSM-IT500HR (JEOL) – FEG (field emission gun), equipped with a JEOL EX-74600U4L2Q energy-dispersive spectrometer (EDS) from the Electron Microscopy Laboratory of UNICAMP. The sample selected for U-Pb isotopic analysis was performed via LA-SF-ICP-MS at the Isotopic Geochemistry Laboratory of UNICAMP.

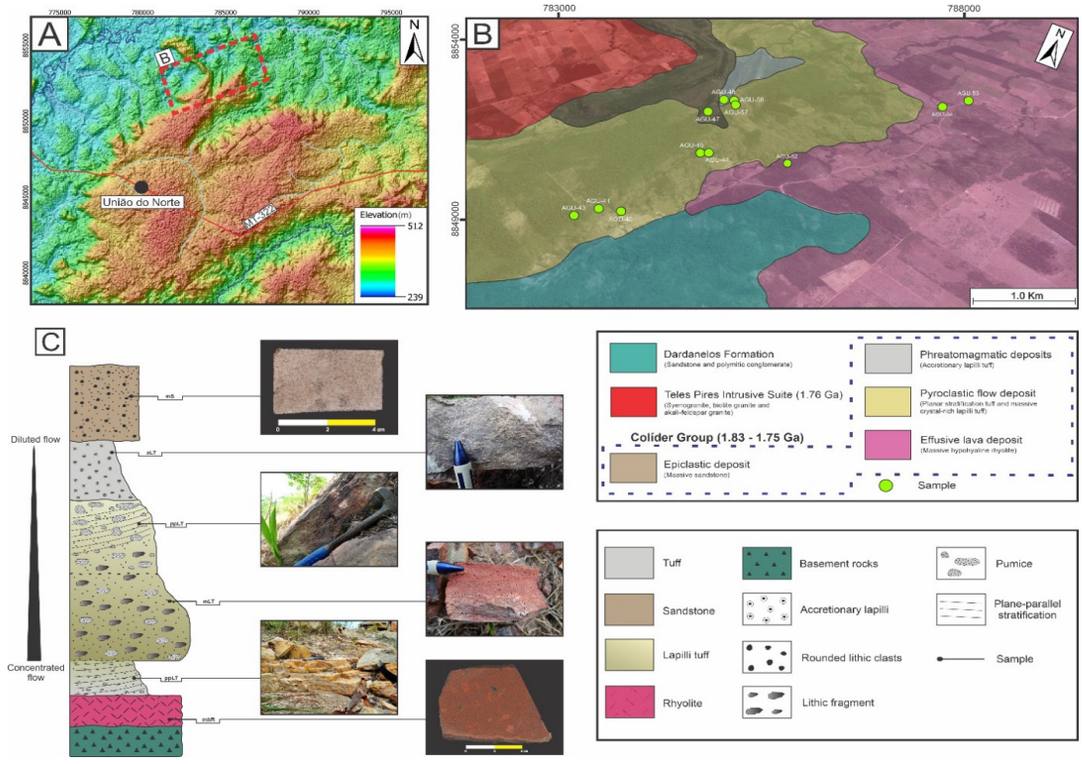


Figure 1 – Overview and location of the study area. (A) Topographic map of the União do Norte region. (B) Photointerpreted aerial photograph of the study area. (C) Schematic stratigraphic profile of the Colíder Group volcanism in the northern region of União do Norte. The photographs correspond to the lithofacies

RESULTS

Stratigraphy and lithofacies analysis

Observations based on fieldwork and petrographic analysis identified five mappable volcanic lithofacies related to the Colíder Group (Figure 1C). It is observed that effusive rocks (lithofacies *mhR*) generally occur in the basal portion of the terrain (Figure 1C and Figure 2A). It is suggested that PDCs (pyroclastic density currents) deposits cover the effusive rocks and are characterized by cross-bedded lapilli tuff (Figure 1C and Figure 2B and C), massive lapilli tuff (Figure 2D and E) (lithofacies *mLT*). The PDCs deposits are succeeded by particle-rich deposits of accretionary lapilli (Figure 1C and Figure 2F and G) (lithofacies *aLT*). In addition, massive sandstones overlie the volcanic rocks identified in the study area (Fig. H) (lithofacies *mS*). Scanning electron microscopy (SEM) reveals heterogeneous morphology for accretionary lapilli particles (Figure 1C and Fig. 2I and J). Four types of accretionary lapilli with different characteristics were identified: Ash pellets, Coated ash pellets, Accretionary lapilli, Cored Accretionary lapilli (Figure 1C and Fig. 2I and J).

Zircon U-Pb geochronology

Zircon grains from a sample of the Massive hypohyaline rhyolite (*mhR*) lithofacies (AGU-54) were selected for analysis by U-Pb LA-SF-ICP-MS. The sample represents the Effusive Volcanism phase of the Colíder Volcanism in the União do Norte district. For the AGU-54 sample, 30 spots were analyzed, where only 9 were selected to calculate the U–Pb age. The spots with discordance greater than 10% or high common Pb content were discarded. The applied zircon crystals contain U values between 97.6 and 487 ppm, Th between 151.3 and 549.9 ppm and $^{232}Th/^{238}U$ ratios between 1.00 and 2.51. These data provided a concordant age of 1800 ± 8.5 Ma with an MSWD of 0.018, interpreted as the age of rock crystallization.

DISCUSSION

Evidence of Effusive Volcanism

The region where the massive hypohyaline rhyolite (*mhR*) outcrops characterize much of the study area's volcanic terrain at the lowest topographic elevation. The rhyolite outcrops are small hills and mounds with raised surfaces, suggesting rhyolitic dome features (Fink and Anderson, 2000; Kunifoshita *et al*., 2024). The massive structure, matrix devitrification, and porphyritic texture suggest the *mhR* lithofacies represent the central portion of a subaerial rhyolitic lava flow (Figure 2) (McPhie *et al*., 1993). The massive hypohyaline rhyolite (*mhR*) has zircon U-Pb ages of 1800 ± 8.5 Ma (AGU-54), indicating the age of effusive volcanism. The ages are similar to those of Kunifoshita *et al.* (2024) south of effusive volcanism observed by União do Norte, and are part of Colíder SLIP.

Evidence of Effusive Volcanism

The pyroclastic deposits characterized by the lithofacies *lLT* and *mLT* are associated with an explosive eruption. Field relationships combined with petrographic data indicate that the pyroclastic deposits have similar stratigraphy and compositions to ignimbrite deposits (Figure 2) (Sparks *et al*., 1973; Sommer *et al.*, 2013).

Evidence of Phreatomagmatism

The considerable amount of accretionary lapilli in the *LTa* lithofacies implies that they originated in a highly explosive volcanic environment (Van Eaton and Wilson, 2013). It is believed that accretionary lapilli originate from the aggregation of ash in a moist core, which is mediated by electrostatic attraction and surface tension (Schumacher and Schmincke, 1991), usually associated with phreatomagmatic eruptions. These particles are transported by moist plumes and deposited either by PDC or fall deposits from the eruptive cloud (Figure 2) (Houghton *et al.,* 2015).

Sedimentary environments

The massive sandstone (*mS*) lithofacies is deposited above the *LTa* lithofacies. It represents erosion and subsequent sedimentation processes of primary volcanic deposits generated by different eruptive styles of the Colíder Group, as seen in the stratigraphic column (Figure 2).

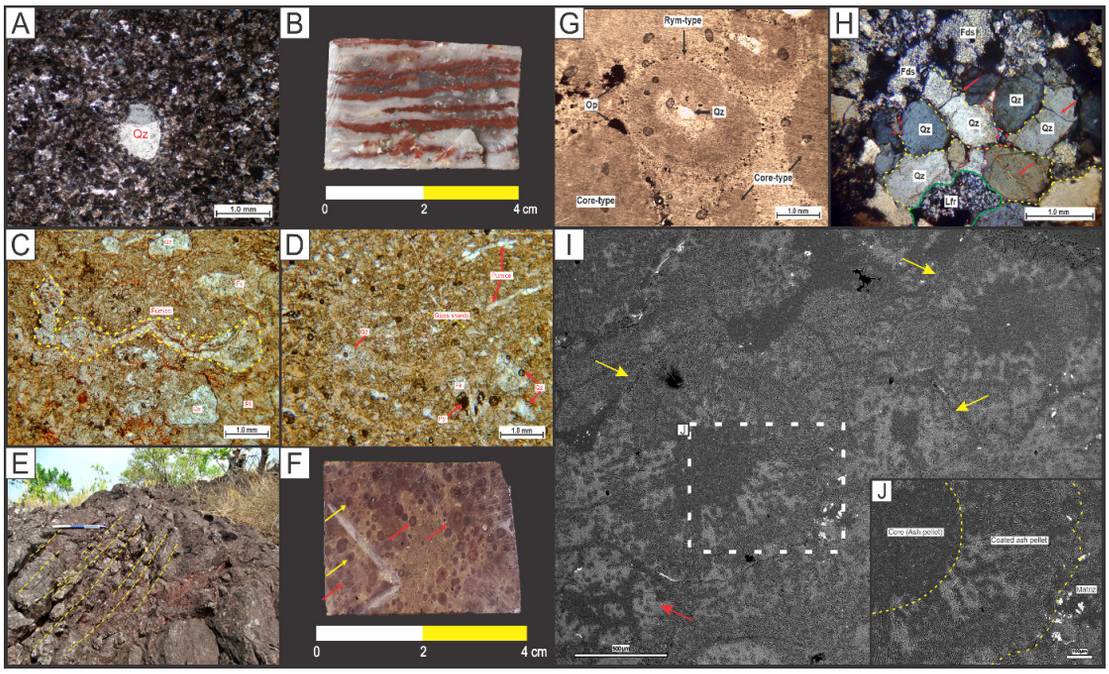


Figure 2 – Petrographic characteristics. (A) Typical characteristics of rhyolite – mhR lithofacies. (B) Hand sample of tuff with reddish (oxidized?) layers with disseminated pyrite (ppLT lithofacies). (C) Plane-parallel stratification typical of ppLT lithofacies. (D and E) Microscopic characteristics of mLT lithofacies, with fragments of glass shards, pumice and quartz crystalloclasts and alkali feldspar disseminated in a devitrified cryptocrystalline matrix. (F) Hand sample of lapilli tuff rich in accretionary lapilli particles (aLT lithofacies). (G) Typical characteristics of lapilli tuff rich in accretionary lapilli particles, following the definition of Schumacher and Schmincke (1991). (H) Microscopic features of the sandstone (lithofacies mS) - Qz – quartz, Fds – feldspar, Lfr – lithic fragment (dashed red lines indicate silica cement; green lines indicate a lithic fragment; red arrows indicate fractured grains filled with clay minerals). (I and J) General view of accretionary lapilli particles of the Colíder Group (red arrows indicate ash pellet; yellow arrows indicate coated ash pellet), following the definition of Brown *et al*. (2010).

CONCLUSION

The region north of Vila União do Norte allowed us to better characterize the effusive, pyroclastic, and epiclastic volcanic rocks of the Colíder Group. The stratigraphic study with detailed lithofacies analysis and petrographic analysis allowed us to distinguish three eruption styles in volcanic systems in subaerial conditions:

(i) Effusive eruption, represented by coherent lava flows and subvolcanic bodies, characterized by rhyolite of the *mhR* lithofacies, and which spatially predominate in the study area;

ii) Explosive eruption, represented by deposits of stratified and massive lapilli tuff, belonging to the *ppLT* and *mLT* lithofacies, and which characterize an ignimbrite deposit in the main topographic highs of the study area; iii) Explosive phreatomagmatic eruptions are characterized by lapilli tuff deposits with centimetric and millimetric particles of four types of accretionary lapilli (Ash pellets, Coated ash pellets, Accretionary lapilli, Cored Accretionary lapilli), which originate from explosive eruptions and are transported in wet plumes. These deposits suggest a direct correlation between water and magma during a volcanic eruption.

In addition, sandstones associated with the *mS* lithofacies reveal traces of a fluvial sedimentary unit whose environment was eroding, reworking, and transporting primary volcanic deposits and plutonic and metamorphic rocks.

The correct identification of the different eruptive styles (effusive - explosive - phreatomagmatic) of the Colíder Group allowed us to reconstruct a paleoenvironment where water and magma interacted during a volcanic eruption. This type of scenario is common in ancient and recent volcanic calderas, as well as in those in direct contact with seawater or river water. However, we do not rule out the possibility of an origin for fissure eruptions, in which there would be several mixing features between fine-grained phreatomagmatic deposits and rhyolitic flows.

REFERENCES

Branney, M. J., e Kokelaar, P. (2002). Pyroclastic density currents and the sedimentation of ignimbrites. *Geological Society Memoir No. 27.* https://doi.org/10.1086/427850

Brown, R. J., e Andrews, G. D. M. (2015). Deposits of Pyroclastic Density Currents. Second Edi. ed, *The Encyclopedia of Volcanoes*. Elsevier Inc. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-385938-9.00036-5

Cas, R. A. F., e Wright, J. V. (1987). Volcanic Successions Modern and Ancient: a geological approach to processes, products and successions. Allen and Unwin, London, 531 p.

Fink, J., e Anderson, S.W. (2000). Lava domes and coulees. *Encyclopedia of Volcanoes,* pp. 307–320.

Houghton, B.F., White, J.D.L., e Van Eaton, A.R. (2015). Phreatomagmatic and Related Eruption Styles, Second Edi. ed, *The Encyclopedia of Volcanoes*. Elsevier Inc. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-385938-9.00030-4.

Kunifoshita, A.M.U., Holanda dos Santos, F., e Mesquita, M. J. (2024). The Colíder Paleoproterozoic felsic volcanism: New insights into stratigraphy and petrogenesis in the southern Amazonian Craton. *Geosci. Front*. 101722. https://doi.org/10.1016/j.gsf.2023.101722.

McPhie, J., Doyle, M., e Allen, R. (1993). Volcanic textures: A guide to the interpretation of textures in volcanic rocks. Hobart, *Centre for Ore Deposits and Exploration Studies*, University of Tasmania, Tasmania. https://doi.org/10.1016/0377-0273(95)90002-0

Mueller, W., Chown, E. H., e Thurston, P. C. (2000). Processes in physical volcanology and volcaniclastic sedimentation: modern and ancient: *Precambrian Res.* 101(2–4), 81–85. https://doi.org/10.1016/s0301-9268(99)00095-9.

Schumacher, R., e Schmincke, H.U. (1991). Internal structure and occurrence of accretionary lapilli - a case study at Laacher See Volcano. *Bull. Volcanol.* 53, 612–634. https://doi.org/10.1007/BF00493689.

Souza, J.P., Frasca, A.A.S., e Oliveira, C.C. (2005). Geologia e Recursos Minerais da Província Mineral de Alta Floresta. Relatório Integrado. Brasília, Serviço Geológico Brasileiro, CPRM, 164p. (in Portuguese).

Sommer, C.A., Lima, E.F., Machado, A., Rossetti, L. de M.M., e Pierosan, R. (2013). Recognition and characterisation of high-grade ignimbrites from the Neoproterozoic rhyolitic volcanism in southernmost Brazil. *J. South Am. Earth. Sci*. 47, 152–165. https://doi.org/10.1016/j.jsames.2013.07.010.

Sparks, R.S.J., Self, S., e Walker, G.P.L. (1973). Products of Ignimbrite Eruptions. *Geology* 1, 115–118. https://doi.org/10.1130/0091-7613(1973)1<115:POIE>2.0.CO;2.

Van Eaton, A.R., e Wilson, C.J.N. (2013). The nature, origins and distribution of ash aggregates in a large-scale wet eruption deposit: Oruanui, New Zealand. *J. Volcanol. Geoth. Res*. 250, 129–154. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2012.10.016.

CARACTERIZAÇÃO GEOFÍSICA, GEOLÓGICA E PETROGRÁFICA DAS ROCHAS VULCÂNICAS E SEDIMENTARES DAS PROXIMIDADES DE NOVO PROGRESSO, ESTADO DO PARÁ

Ulisses Antonio Pinheiro Costa[1,2]; Angela Pacheco Lopes[2,3]; Edney Smith de Moraes Palheta[3,4]; Luis Carlos Melo Palmeira[1,5]; Marcos Luiz do Espirito Santo Quadros[1,6]

[1]Serviço Geológico do Brasil – CPRM, Superintendência Regional de Belém;
[2]Serviço Geológico do Brasil – CPRM, Núcleo de Curitiba;
[3]Serviço Geológico do Brasil – CPRM, Residência de Fortaleza

[2]ulisses.costa@sgb.gov.br; [3]angela.lopes@sgb.gov.br; [4]edney.palheta@sgb.gov.br; [5]luis.palmeira@sgb.gov.br; [6]marcos.quadros@sgb.gov.br

RESUMO

O mapeamento geológico sistemático em escala 1:100.000 conduzido pelo Serviço Geológico do Brasil-CPRM na região leste do Domínio Tapajós, município de Novo Progresso-PA, revelou a ocorrência de rochas vulcânicas (dacitos), piroclásticas (ignimbritos) e sedimentares (arenitos e conglomerados), dispostas em cristas alongadas na direção NW-SE se destacando tanto no relevo quanto em imagens de levantamento aerogeofísico (gamaespectrometria e magnetometria) do embasamento vulcânico. Os dacitos e ignimbritos foram correlacionados à Formação Salustiano e as sedimentares à Formação Aruri, ambas com idades de formação posicionadas no Orosiriano.

PALAVRAS-CHAVE: Domínio Tapajós; Mapeamento Geológico; Vulcanismo;

INTRODUÇÃO

Na porção sul e sudeste do Domínio Tapajós (fig. 1) ocorrem diversos litotipos plutônicos, vulcânicos coerentes, vulcanoclásticos e sedimentares em faixas com orientação predominante NW-SE, representativas de pelo menos dois arcos magmáticos com evolução principalmente contida no orosiriano (Vasquez *et al.*, 2024). Devido à dificuldade na distinção petrográfica entre os depósitos vulcânicos e vulcanoclásticos e a sobreposição nas idades radiométricas, a delimitação cartográfica e a caracterização genética das unidades litoestratigráficas é complexa e exige a integração de diversas bases e técnicas acuradas.

O presente trabalho apresenta resultados preliminares de dados geológicos e geofísicos coletados no âmbito do Projeto Geologia e Recursos Minerais do Setor Leste do Domínio Tapajós, de mapeamento geológico sistemático de quarto folhas cartográficas em escala 1:100.000, conduzido pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM (SGB-CPRM). A área de estudo encontra-se situada 30 km a leste da cidade Novo Progresso,

no sudoeste estado do Pará (fig. 1), onde ocorrem cristas de até 7 km de extensão que se destacam na superfície do terreno, sustentadas por rochas vulcânicas e vulcanoclásticas associadas à Formação Salustiano (fig. 1). O objetivo é apresentar o estágio atual sobre o entendimento do vulcanismo e da sedimentação nas formações de topo nessa região, além de apresentar critérios que auxiliem na cartografia das unidades.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os estudos incluíram a utilização de imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) de relevo sombreado, mapas de gamaespectrometria (composições RGB de canais de KThU), magnetometria (Gradiente Total - GT) provenientes do levantamento aerogeofísico do SGB, além das descrições de afloramentos obtidas durante os trabalhos de mapeamento geológico, aliados a estudos petrográficos.

RESULTADOS

Relevo e caracterização geofísica

O relevo de pequenas cristas íngremes e de topo agudo é acompanhado por respostas nos canais de eU, eTh e K da gamaespectrometria que mostram enriquecimento especialmente no canal do K, com valores moderados de eTh e eU (fig. 2). No mapa do GT da magnetometria, esses corpos não mostram grande contraste com as vulcânicas ao redor (Formação Vila Riozinho), porém a ocorrência mais a sul (fig. 2) e algumas outras ocorrências mais estreitas se encontram em áreas de baixo magnético.

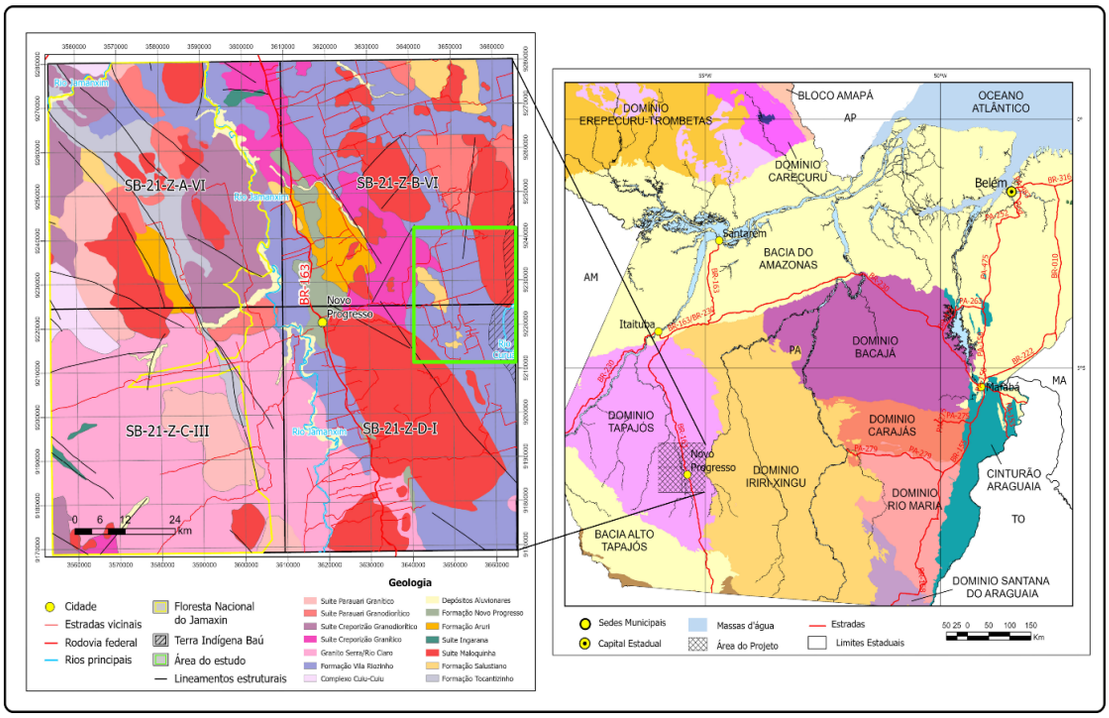


Figura 1 – Localização e mapa geológico das quatro folhas alvo do projeto, destacando a área detalhada nesse estudo (polígono verde). Modificado de Vasquez *et al.* (2024).

Litotipos

Foram identificados ignimbritos, dacitos, arenitos, conglomerados e uma rocha vulcanoclástica com indícios de metamorfismo de baixo grau.

Ignimbritos e dacitos

Os ignimbritos são as rochas mais abundantes nas "lentes" mapeadas. Possuem matriz muito fina, afanítica, com cor que varia de cinza escuro a rosa escuro/vermelho (fig. 3A). Litoclastos e cristaloclastos milimétricos são constituintes comuns. Ocorrem maciços ou finamente laminados, com venulação de quartzo e epidoto localizadas. Em lâmina delgada, observa-se a matriz microcristalina que envolve cristaloclastos em sua maioria de feldspatos, litoclastos de rochas vulcânicas félsicas, *fiammes* e púmices (fig. 4A). Em geral possuem alto grau de soldagem. Os dacitos possuem matriz vítrea, de cor rosa escuro, com cristais milimétricos de plagioclásio e sulfetos (fig. 3B). Observam-se cristais euédricos de plagioclásio na microscopia, alguns mostrando bordas irregulares que indicam reabsorção e moderada sericitização (fig. 4B). Em uma das laminas delgadas, se observou rocha vulcanoclástica com indícios de metamorfismo, apresentando matriz microcristalina com quartzo e mica branca neoformada (fig. 4C). Dispersos na matriz se observam cristais ou cristaloclastos de quartzo, com extinção ondulatória moderada a forte, desenvolvimento de subgrão e feições de sombra de pressão incipiente.

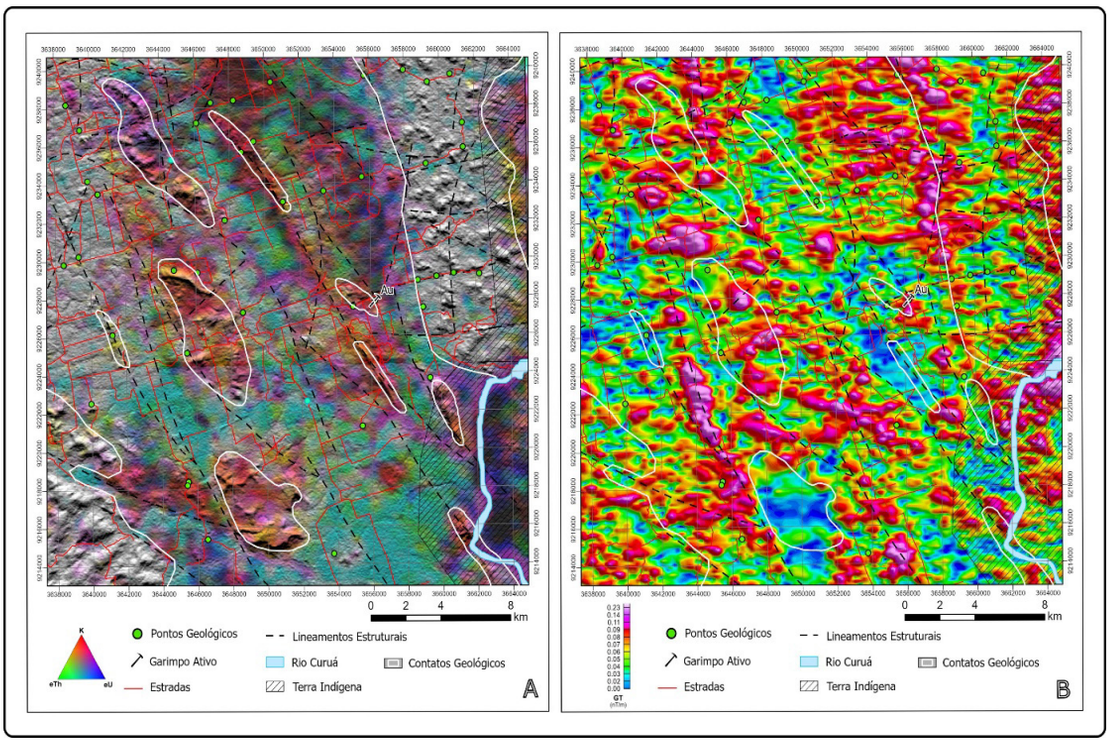


Figura 2 – Mapas. A) fusão SRTM + ternário RGB da gamaespectrometria; B) Gradiente total da magnetometria, ambos exibindo os contatos geológicos.

Arenitos e conglomerados

Os quartzo arenitos e arcóseos são brancos a branco rosados, friáveis, de granulometria areia fina a média, podendo conter feldspatos e alguma muscovita (fig. 3C). Seixos de até 4 cm de material argilizado com goethita ao redor são observados. O conglomerado polimítico de matriz arenosa se caracteriza por clastos que variam de seixo, blocos e até matacões de até 35 cm de diâmetro, com predominância de rocha vulcânica félsica e ignimbritos laminados. variando desde esféricos e bem arredondados a cilíndricos e angulosos (fig. 3D).

Figura 3 – Amostras de mão; A) ignimbrito rosa claro com vênulas de quartzo; B) dacito cinza escuro microporfirítico; C) quartzo arenito esbranquiçado; e D) conglomerado polimítico muito alterado.

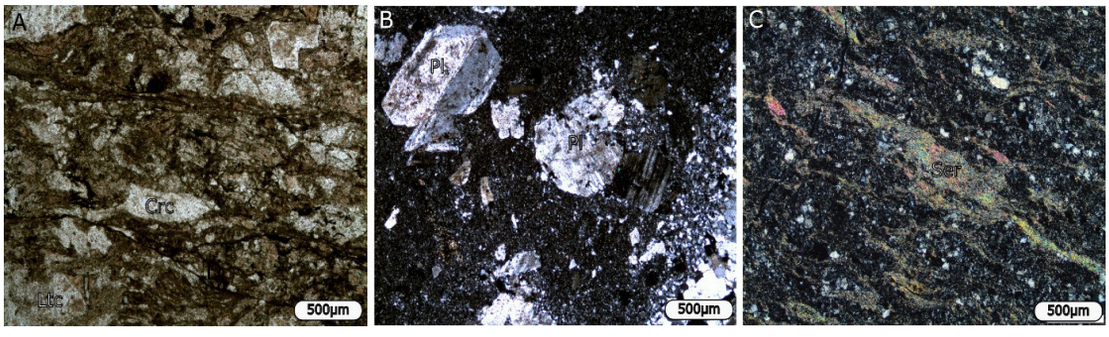


Figura 4 – Fotomicrografias; A) ignimbrito com litoclastos (Llc) e cristaloclastos (Crc); B) dacito com matriz afanítica e cristais subédricos a euédricos de plagioclásio (PL); e C) vulvanoclástica metamorfisada com cristaloclastos e mica microcristalina (Ser).

DISCUSSÕES

As respostas nos mapas geofísicos, principalmente na gamaespectrometria, indicam que as rochas que ocorrem nas cristas são composicionalmente diferentes das rochas circunvizinhas, com maior destaque no canal do K, que pode indicar maiores concentrações de feldspatos. O predomínio de rochas piroclásticas félsicas (ignimbritos soldados) e em menor proporção os dacitos, indicam uma natureza explosiva do vulcanismo. As rochas sedimentares com contribuição vulcânica (arenitos e conglomerados) sugerem que os processos de transporte e deposição possuem caráter proximal em relação às fontes vulcânicas. Rochas com indícios de recristalização dinâmica dos minerais constituintes ocorrem condicionadas a lineamentos estruturais e tem distribuição pontual, sendo interpretada como filonito oriundo de rocha vulcanoclástica.

CONCLUSÕES

Na área de estudo ocorrem rochas vulcânicas coerentes (dacitos) e piroclásticas (ignimbritos); além de rochas sedimentares com contribuição vulcânica que podem ser, nesse estágio de conhecimento, associadas às formações Salustiano (dacitos e ignimbritos) e Aruri (sedimentares), definidas por Pessoa *et al.*, (1977) e posteriormente estudadas por diversos autores (Almeida *et al.*, 2000; Vasquez, 2000; Klein *et al.*, 2001a). Ressalta-se que, no atual estágio de investigação, os dados disponíveis ainda são insuficientes para caracterizar se as rochas estudadas são vulcanoclásticas ressedimentadas ou sedimentares vulcanogênicas. A continuidade dos estudos, com o suporte de análises litoquímicas e geocronológicas, permitirão um melhor entendimento do quadro litoestratigráfico da área. O mapa geológico esquemático da figura 5 é apresentado para ilustrar a disposição das unidades, conforme proposto nesse trabalho.

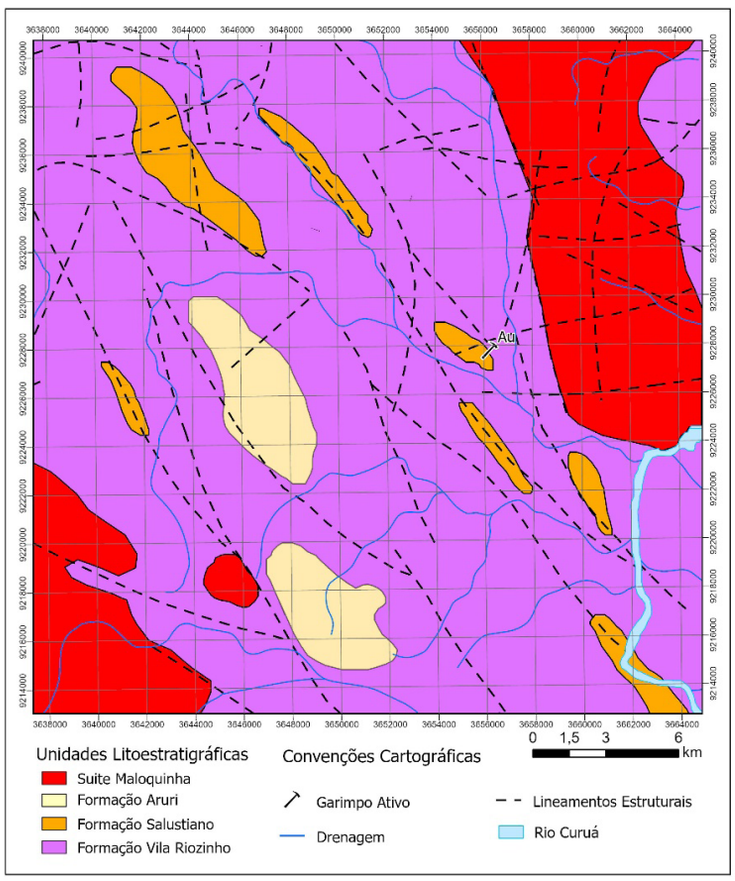


Figura 5: Mapa geológico esquemático da área de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Klein, E. L., Almeida, M. E., Vasquez, M. L., Bahia, R. B. C., Quadros, M. L. do E. S., Ferreira, A. L. (2001). *Geologia e recursos minerais da Província Mineral do Tapajós: folhas SB.21-V-D, SB.21-Y-B, SB.21-X-C, SB.21-Z-A e SB.21-Z-C: estados do Pará e Amazonas*. Brasília: CPRM. Escala 1:500.000. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/handle/. Acesso em 15 jun 2025.

Pessoa, M. R., Santiago, A. F., Andrade, A. F., Nacimento, J. O., Santos, J. O. S., Oliveira, J. R., Lopes, R. C., Prazeres, W. V. *Projeto Jamanxim: relatório final*. Manaus: CPRM, 1977. v.1-v.3. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/9404. Acesso em: 15 jun. 2025.

Vasquez, M. L., Souza Gaia, S. M., Chaves, C. L., Silva, C. M. G. (2024). **Área de relevante interesse mineral (ARIM): evolução crustal e metalogenia da Província Mineral do Tapajós. Informe de Recursos**

Minerais. Série Províncias Minerais do Brasil, n. 39, Belém: SGB. ISBN 978-65-5664-5070. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/24985. Acesso em 15 jun. 2025.

MAPA GEOLÓGICO DA REGIÃO NORTE DO BRASIL, ESCALA 1:2.500.000: METODOLOGIA E COMPARTIMENTOS GEOLÓGICOS

Marcos Luiz do Espírito Santo Quadros[1,2]; Frank Gurgel Santos[1,3]; Vladimir Cruz de Medeiros[1,4]; Elias Bernard da Silva do Espírito Santo[1]; Márcio Antônio da Silva[1]; Gustavo Moreira[1]; Patrick Araújo dos Santos[1]; Marcelo Esteves Almeida[1]

[1]Serviço Geológico do Brasil - CPRM

[2]marcos.quadros@sgb.gov.br; [3]frank.santos@sgb.gov.br; [4]vladimir.medeiros@sgb.gov.br

RESUMO

O Mapa Geológico da Região Norte do Brasil (escala 1:2.500.000) corresponde a um dos produtos elaborados no âmbito do projeto Mapa Geológico do Brasil, em execução pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM). Sua elaboração teve início com a aquisição dos produtos vetoriais disponíveis no site do SGB-CPRM, até o ano de 2024, em escalas variando de 1:100.000 a 1:1.000.000, seguido da consistência e simplificação dos temas a serem representados inicialmente na escala 1:2.5000.000 e na forma de digital em *shapefile* (litoestratigrafia e estruturas tectônicas). Durante a elaboração do Mapa Geológico da Região Norte do Brasil, os arquivos digitais vetoriais de temas geológicos da área continental (litoestratigrafia, estruturas geológicas e recursos minerais) foram simplificados, agrupados na hierarquia maior (grupo, complexo e época do magmatismo), classificados por tipo de estrutura geológica (falha ou zona de cisalhamento) e por substância mineral (p. ex. Au, Cu, Fe, Ni e Cr). O mapa conta também com informações da área oceânica (estruturas tectônicas oceânicas e batimetria), além de tabelas com as unidades estratigráficas contidas no mapa e o encarte com os compartimentos tectônicos da região norte do Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: Cartografia Geológica; Geologia do Brasil; Região Norte do Brasil

INTRODUÇÃO

O Mapa Geológico da Região Norte do Brasil (escala 1:2.500.000) é um produto do Projeto Mapa Geológico do Brasil, integrante da Ação Geologia Para Mineração e Desenvolvimento Sustentável dentro do Programa Mineração Segura e Sustentável, desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil-CPRM (SGB-CPRM) no âmbito da Superintendência Regional de Salvador (SUREG/SA) e da Divisão de Geologia Básica (DIGEOB).

Este produto foi elaborado a partir dos mapas geológicos do Brasil nas escalas 1: 2.500.000, no formato digital *shapefile*, e 1:5.000.000, em GeoPDF (Medeiros *et al*., 2025a; Medeiros *et al*., 2025b), ambos disponibilizados para *download* no GEOSGB, que é um complexo sistema gerenciador de geociências do Serviço Geológico do Brasil-CPRM, via WEB, que envolve uma dezena de bases de dados temáticos, aplicativos de

consulta e inserção de dados, soluções de espacialização e visualização de informações em tempo real, opções variadas de baixa de arquivos, ferramentas de geoprocessamento e serviços WMS (https://geosgb.sgb.gov.br).

O objetivo deste mapa foi consolidar, integrar e sintetizar o conhecimento geológico regional da região norte do Brasil armazenado no SGB-CPRM, e disponibilizá-lo na escala de 1:2.500.000, para visualização em tela ou impressão gráfica, permitindo uma visão regional sintetizada da cartografia geológica produzida pelo Serviço Geológico do Brasil-CPRM até 2024. A finalidade deste produto é atender as demandas do setor público, privado e da sociedade em geral, agindo de acordo com a Missão do SGB-CPRM, que é "Gerar e disseminar conhecimento geocientífico com excelência, contribuindo para melhoria da qualidade de vida e desenvolvimento sustentável do Brasil".

METODOLOGIA

A elaboração do Mapa Geológico da Região Norte do Brasil teve início com a aquisição dos produtos vetoriais disponíveis no SGB-CPRM em escalas que variam de 1:100.000 a 1:1.000.000. A etapa seguinte contou com a consistência e simplificação dos temas a serem representados na escala 1:2.5000.000 e 1:5.000.000 (Medeiros *et al.,* 2025a; Medeiros *et al*., 2025b), obedecendo as seguintes premissas (Medeiros *et al.,* 2025c): (i) Considerando a Metodologia Menor Área Mapeável (IBGE, 2006), não representar polígonos com áreas inferiores a 156,25 km^2 (equivalente a um quadrado com 12,5 km x 12,5 km); (ii) Sempre que possível, utilizar Formação como a hierarquia menor nas unidades/bacias fanerozoicas; (iii) Sempre que possível, utilizar Grupo, Complexo e Suíte como as hierarquias menores nas unidades do embasamento cristalino (Arqueano-Neoproterozoico); (iv) Representar apenas as estruturas tectônicas mais importantes (continentais e oceânicas); (v) Priorizar a elaboração dos temas a partir da compilação de mapas prévios, evitando novas interpretações geológicas; (vi) Priorizar a cartografia dos mapas mais recentes em detrimento dos mais antigos; (vii) Aplicar a sistemática metodológica de forma homogênea em todas as regiões do mapa.

Inicialmente utilizou-se de dados/arquivos vetoriais dos produtos geológicos cartográficos (cartas/mapas geológicos) disponibilizados no GEOSGB até junho de 2024 e com escalas menores que 1:100.000. Esses dados foram selecionados primeiramente para a elaboração do Mapa Geológico do Brasil (MGB) nas escalas 1:2.500.000 (arquivo em formato shape) e 1:5.000.000 (arquivo em formato GeoPDF). A partir desses novos mapas geológicos do Brasil (Medeiros *et al.,* 2025a; Medeiros *et al*., 2025b) é que foi gerado o Mapa Geológico da Região Norte do Brasil na escala de 1:2.500.000 e em formato GeoPDF.

Além dos mapas geológicos pré-existentes que representaram o país nas escalas 1:2.500.000 (Bizzi *et al.* 2003) e 1:5.000.000 (Schobbenhaus Filho, 2001), vários outros em escalas de maior detalhe foram utilizados, com destaque para: Klein *et al.* (2008), Macambira *et al*. (2016), Mendes *et al*. (2023), Moreton *et al*. (2008), Oliveira *et al*. (2023), Rizzotto *et al*. (2019), Silva *et al*. (2024), Sousa *et al*. (2020), Vasquez *et al*. (2020), Vasquez *et al.* (2008).

Artigos publicados, livros, dissertações e teses de pós-graduação e outros dados disponíveis na literatura também foram utilizados na elaboração do mapa, tais como: Almeida *et al*. (1977), Bahia *et al.* (2007), Klein *et al*. (2020).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os arquivos vetoriais no formato *shapefile* (pontos, linhas e polígonos) utilizados para a elaboração do Mapa Geológico da Região Norte do Brasil, contendo os temas: unidades litoestratigráficas, estruturas geológicas (continentais e oceânicas), principais jazimentos minerais e a batimetria da parte oceânica, foram derivados do Mapa Geológico do Brasil, escalas 1: 2.500.000 e 1:5.000.000 (Medeiros *et al*., 2025a; Medeiros *et al.,* 2025b). Após a consistência e representação da cartografia geológica no corte da região Norte do Brasil, na escala de 1:2.500.000, e elaboração do layout do mapa, alguns elementos puderam ser ressaltados, tais como: (i) A região norte do Brasil é representada por uma porção do Cráton Amazônico, parte da Faixa Araguaia (faixa móvel brasiliana), coberturas cratônicas ediacaranas (glaciogênica, carbonática e siliciclástica), coberturas sedimentares fanerozoicas que compõem parte das províncias Parnaíba, Amazonas e Costeira, além de parte de uma bacia interior fanerozoica (Bacia do Tacutu); (ii) O mapa elaborado apresenta em seu encarte tectônico a subdivisão do Cráton Amazônico em oito compartimentos geológicos, assim denominados: Carajás-Rio Maria (CM), Santana do Araguaia (AS), Bacajá-Amapá (BA), Macuxi (MA), Tapajós-Uatumã (TU), Amazônia Ocidental (AO), Rio Apa-Jauru (AJ) e Alto-Guaporé (AG), com destaque para os limites do compartimento Tapajós-Uatumã (TU) que não é do tipo tectônico e que sobrepõe aos compartimentos adjacentes (Medeiros *et al*., 2025b); (iii) O mapa apresenta legenda e tabela com 290 unidades estratigráficas, identificadas por números e cores e empilhadas por idade, além de uma listagem com a identificação dos recursos minerais por substância (p. ex. Au, Cu, Fe e outras), proporcionando uma leitura direta e ágil do mapa.

CONCLUSÕES

Com a disponibilização do Mapa Geológico da Região Norte do Brasil, o Serviço Geológico do Brasil-CPRM cumpre a sua missão institucional, além de aplicar e aprimorar uma metodologia utilizada inicialmente na confecção dos Mapas Geológicos do Brasil nas escalas 1:2.500.000 e 1:5.000.000), a qual poderá vir a ser também adaptada para ser aplicada na elaboração de mapas geológicos em escalas de maior detalhe.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, F. F. M.; Hasui, Y.; Brito Neves, B. B.; Fuck, R. A. (1977). *Províncias Estruturais Brasileiras.* In: VII Simpósio de geologia do Nordeste, SBG, Atas..., Capina Grande-PB, p. 363-391.

Bahia, R. B. C.; Martins Neto, M. A.; Barbosa, M. S. C.; Pedreira, A. J. (2007). *Análise da evolução tectonossedimentar da Bacia dos Parecis através de métodos potenciais.* Revista Brasileira de Geociências. 37(4): 639-649, 2007.

Bizzi, L. A.; Schobbenhaus Filho, C.; Vidoty, R. M.; Gonçalves, J. H. (2003). *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: texto, mapas e SIG.* Brasília: CPRM.

IBGE (2006). *Manual Técnico de Uso da Terra*. 2. ed. Manuais Técnicos em Geociências nº 7. Rio de Janeiro. IBGE. 91 p.

Klein, E. L.; Marinho, P. A. C.; Rosa-Costa, L. T.; Larizzatti, J. H. Faraco, M. T. L. (2008). *Carta Geológica da Folha Cândido Mendes, SA.23-V-D-III. Escala: 1.100.000.* Belém: CPRM. 1 mapa color. Programa Geologia do Brasil.

Klein, E. L.; Rodrigues, J. B.; Lopes, E. C. S; Oliveira, R. G.; Souza-Gaia, S. M.; Oliveira, L. B. T. (2020). *Age, provenance and tectonic setting of metasedimentary sequences of the Gurupi Belt and São Luís cratonic fragment, northern Brazil: broadening the understanding of the Proterozoic-Early Cambrian tectonic evolution.* Precambrian Research, v. 351, p. 105950.

Macambira, E. M. B.; Ricci, P. S. F.; Anjos, G. C. (2016). *Carta Geológica da Folha Repartimento, SB.22-X-A. (2016). Escala 1:250.000*. Belém: CPRM. 1 mapa color. Programa Geologia do Brasil.

Medeiros, V. C.; Santos, F., G.; Quadros, M. L. E. S.; Moreira, G.; Silva, M. A.; Santo, E. B. S. E.B; Santos, P. A.; Santana, J. S.; Cruz Filho, B. E.; Almeida, M. E.; Lopes, P. R. S. (2025a) *Mapa Geológico do Brasil: Litoestratigrafia, escala 1:2.500.000*. Salvador: SGB-CPRM, 2025. 1 shape file.

Medeiros, V. C.; Santos, F. G.; Quadros, M. L. E. S.; Espirito Santo, E. B. S.; Silva, M. A.; Moreira. G.; Santana, J. S.; Domingos, N. R. R.; Barros, T. S. C.; Santos, P. A.; Almeida, M. E.; Wanderley, A. A. (2025b). *Mapa Geológico do Brasil. Escala 1:5.000.000*. Salvador: SGB-CPRM, 2025, 1 mapa.

Medeiros, V. C.; Quadros, M. L. E. S.; Santos, F. G.; Espirito Santo, E. B. S.; Moreira. G.; Silva, M. A.; Barros, T. S. C. (Orgs.) (2025c). *Nota Explicativa dos Mapas Geológicos do Brasil. Escalas 1:2.500.000/1:5.000.000.* Salvador: SGB-CPRM, texto (em preparação).

Mendes, T. A. A.; Oliveira, A. C. S.; Lopes, P. R. S.; Aguiar, L.; Grazziotin, H. F.; Almeida, M. E.; Benevides Filho, P. R. R. (2023). *Mapa Geológico do Estado de Roraima. Escala 1:1.000.000*. Manaus: CPRM. 1 mapa color.

Moreton, L. C.; Lacerda Filho, J. V.; Borges, A. J.; Frasca, A. A. S.; Melo, L. C.; Bispo, P. S.; Dias, N. (2008). *Mapa Geológico do Estado de Goiás e Distrito Federal. Escala 1:500.000*. Goiânia: CPRM; SIC – FUNMINERAL. 1 mapa color.

Oliveira, C. E. S.; Silva, D. R. V. (2023). *Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado de Rondônia. Escala 1:500.000.* Porto Velho: CPRM. 1 mapa color.

Rizzotto, G.; Alves, C. L.; Rios, F. S.; Gonçalves, G. F; Lopes, L. L. (2019). *Carta de Integração Geológica-Geofísica ARIM Juruena:* Projeto Evolução Crustal e Metalogenia da Província Mineral Juruena - Teles Pires. Escala 1:300.000. Goiânia: CPRM, 2019. 1 mapa color. Áreas de Relevante Interesse Mineral - ARIM.

Schobbenhaus Filho, C. (2001). *Mapa Geológico do Brasil, escala 1:5.000.000.* Serviço Geológico do Brasil-CPRM

Silva, D. P. B.; Barbosa, J. P. O.; Nascimento, F. G. C.; Silva, C. M. G.; Cruz, V. L. (2024). *Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Amapá. Escala 1:500.000.* Belém: CPRM. 1 mapa color.

Sousa, C. S.; Silva, R. C. S.; Polo, H. J. O; Saboia. (2020). *Mapa Geológico do Domínio Rio Maria: Projeto Integração Geológica-Geofísico - Metalogenética das Sequências de Greenstone Belts do Domínio Rio Maria. Escala 1:250.000.* Belém: CPRM. 1 mapa color.

Vasquez, M. L.; Castro, J. M. R.; Chaves, C. L.; Costa Neto, M. C.; Cruz, V. L. (2020). *Mapa Geológico e de Recursos Minerais da Província Mineral do Tapajós. Escala 1:500.000.* Belém: CPRM. 1 mapa color.

Vasquez, M. L.; Sousa, C. S.; Carvalho, J. M. A. (2008). *Mapa Geológico do Estado do Pará: Projeto Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Pará. Escala: 1:1.000.000*. Belém: CPRM. 1 mapa color.

MINERALOGIA DO MINÉRIO DE MANGANÊS DO DEPÓSITO MOEMA, NOROESTE DO MUNICÍPIO DE MARABÁ-PA

Gilmara Regina Lima Feio[1,2]; Milena Crystieli Santos da Costa[1]; Hugo Rodrigues do Nascimento Oliveira[1], Aderson David Pires de Lima[1]; Antônio Emídio de Araújo dos Santos Júnior[1], Kelly Vitória Alves[1]

[1]Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará - Unifesspa;
[2]Programa de Pós-graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação

milena.costa@unifesspa.edu.br, gilmarafeio@unifesspa.edu.br, hugooliveira@grupomaringa.com.br, aderson_lima@unifesspa.edu.br, emidiosantos@unifesspa.edu.br, kellyvitoria@unifesspa.edu.br

RESUMO

O minério de manganês do Depósito Moema está localizado a sul de Vila Cruzeiro do Sul, município de Itupiranga-PA. Faz parte geologicamente da Serra Buritirama a oeste, contato (?) entre os domínios Carajás, a sul e Bacajá, a norte, na porção sudeste do Cráton Amazonas. O objetivo do trabalho foi realizar a caracterização dos minerais nas sequências do Depósito Moema, através do trabalho de campo, caraterização mineralógica, em microscópio ótico de luz refletida e difração de raios-x. Os dados coletados mostraram que o Depósito de Manganês Moema consiste em uma estrutura NW-SE, formada por três litologias: i) Inferior, que compreende o xisto, formado por quartzo e mica; ii) Intermediária, formada por xisto manganesífero, principal unidade que contém minério, a mineralogia é composta por caulinita, quartzo, orientita, criptomelano, todorokita, kurnakovite, ferrierite, hollandita, litiforita, akhtenskita, diásporo, nacrita, ankerita e zavaritskita; iii) Superior, composta por colúvio manganesífero, é formado por criptomelano, todorokita, akhtenskita, orientita, ferrierita, kurnakovita, bernesita, asbolano, coombsita, quartzo, caulinita. A presença de xisto indica que a sequência foi inicialmente formada em um ambiente sedimentar, através de um processo multi estágio, sendo sedimentação pelítica e de manganês, e posteriormente enriquecida por processos hidrotermais e supergênico, similar ao processo de formação do Depósito Buritirama.

PALAVRAS-CHAVE: Formação Buritirama; Manganês; litioforita; Bacajá.

INTRODUÇÃO

O minério de manganês é dos recursos minerais mais estratégicos para o Brasil, tendo papel fundamental para a transição energética, por ser utilizado na fabricação de baterias para veículos elétricos. Neste sentido, este trabalho se propôs a estudar o Depósito Moema, que é um depósito de Manganês localizado a oeste da cidade de Marabá, sul da Vila Cruzeiro do Sul (Figura 1).

Geologicamente é uma continuidade a oeste da Serra de Buritirama, Formação Buritirama. Segundo Salgado (2020) a Formação Buritirama, ocorre na porção sudeste do Cráton Amazônico delimitada entre os domínios Bacajá (a norte) e Carajás (a sul), é

composta por metassedimentos químicos e siliciclásticos (Supergrupo Itacaiúnas), que hospedam mineralização manganesífera oxidada e carbonática.

O Depósito de Buritirama é o maior em termos de volume de minério de manganês dessa região, representando cerca de 33% de todo manganês produzido no Brasil. Já o depósito Moema apresenta uma quantidade bem menor, ainda sem informação de cubagem e que está sob a responsabilidade da empresa Mineração Moema, conforme ANM (2024).

Embora haja uma série de trabalhos desenvolvidos sobre a mineralização da Formação Buritirama (Salgado 2020, Salgado *et al*. 2023, Vasquez & Rosa-Costa, 2008 e Sotirakis 2018), o Depósito Moema carece de informações sobre sua ocorrência, estrutura tectônica, gênese e mineralização, e principalmente, sua possível relação com o Depósito Buritirama. Por isso, considerando este panorama, este trabalho tem como objetivo realizar uma caracterização geológica do depósito, com base em dados de mineralogia, por meio de petrografia e difração de raios-x (DRX).

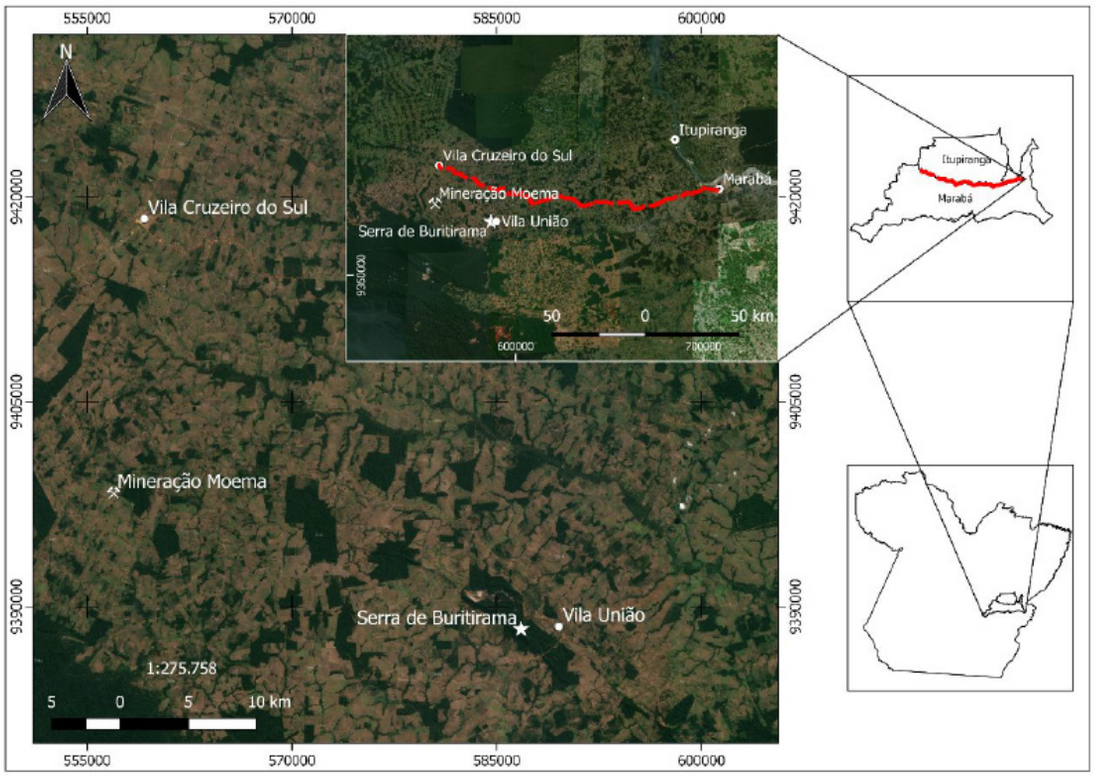


Figura 1 - Mapa de localização e acesso a Mineração Moema.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo investigou depósito manganesífero Moema, da Serra do Buritirama, com base em revisão bibliográfica, trabalho de campo, petrografia e difração de raios-x. Foram confeccionadas 10 lâminas para análise por microscópica de luz refletida, no microscópio óptico de marca Zeiss Axioscop 10, no laboratório de Petrografia da Faculdade de Geologia da Unifesspa. Nas amostras foram realizadas análises no difratômetro de raios-x, da marca RIGAKU, modelo ULTIMA IV, software Jade 9 no Instituto de Geociências da UNB. O banco de dados usado para interpretação foram ICDD pdf-2 e pdf-4 2010.

RESULTADOS

Geologia

Os dados coletados em campo mostraram que a sequência aflorante encontrada apresenta uma estratigrafia simples, composta da base para o topo de quartzo-mica xisto, xisto manganesífero e colúvio manganesífero (Figura 2). O quartzo-mica xisto ocorre predominantemente na base da sequência, mas também como lentes na porção acima do minério. Embora o xisto esteja intemperizado, foi possível caracterizá-lo como uma rocha de coloração amarelo esbranquiçado, composto de quartzo e muscovita em sua composição. Já o xisto manganesífero é o corpo de minério, uma rocha xistosa, que ocorre na forma de lentes do tipo pulverulento e maciço, de cor preta a cinza azulado e escuro, com brilho terroso submetálico. Devido ao intemperismo, porções com caulinita foram identificadas. Enquanto o colúvio manganesífero é a camada superior da sequência, e mais expostas aos agentes de intemperismo. Possui como característica hábitos psolítico e botrioidal, com coloração amarelo alaranjado, contendo porções de minério de manganês de cor cinza azulado e/ou cinza escuro e brilho terroso submetálico.

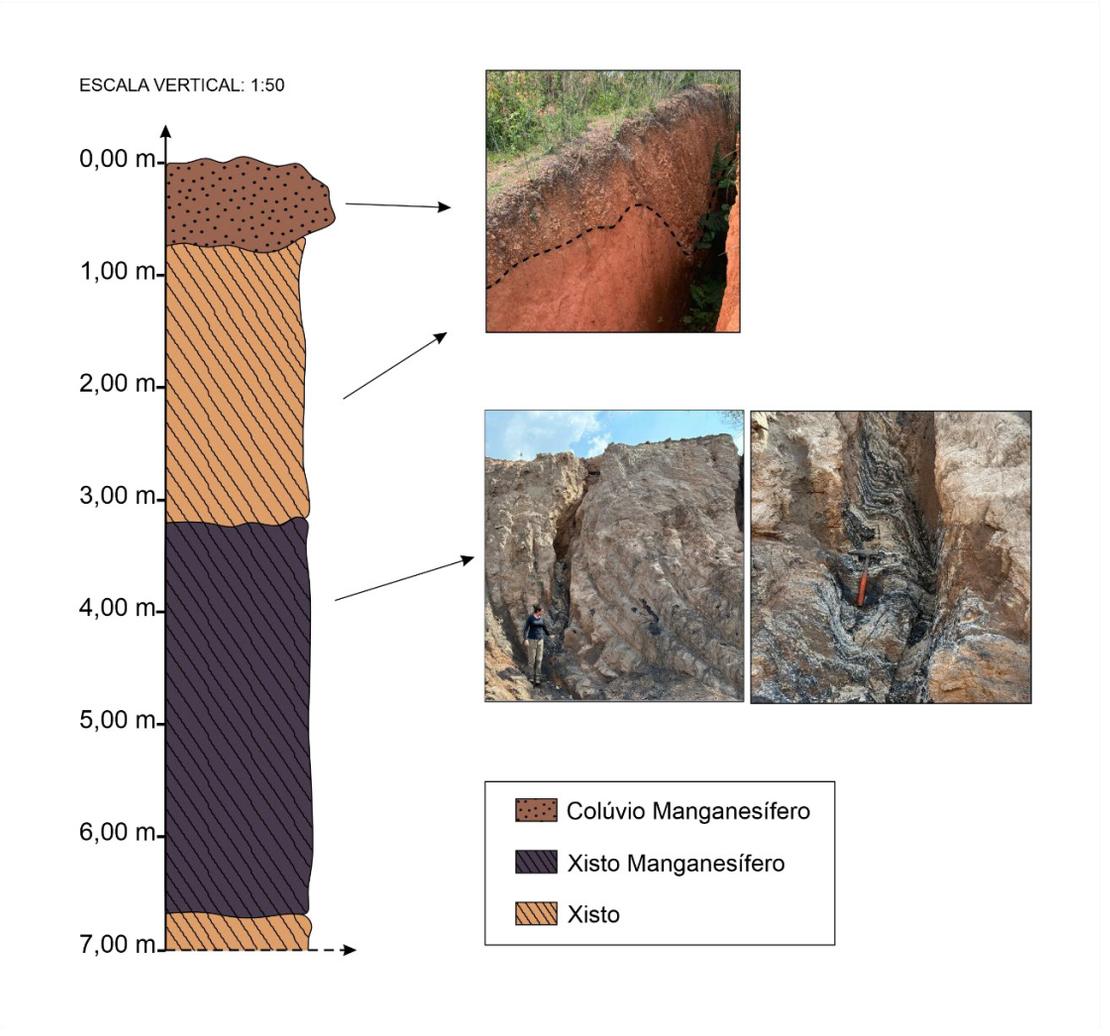


Figura 2 - Coluna estratigráfica da sequência manganesífera. Escala: Pessoa de 163 cm.

Petrografia

Foram confeccionadas dez lâminas polidas, sendo três do colúvio manganesífero e sete do xisto manganesífero. No entanto, devido textura pulverulenta de parte das amostras e a presença do mineral Todorokita, que solta fibras durante polimento, compromete a qualidade das lâminas, criando buracos e riscando a superfície já polida, somente cinco lâminas foram efetivamente descritas.

Ao microscópio petrográfico de luz refletida, foi possível identificar nas amostras de colúvio manganesífero (Figura 3), os minerais criptomelano [$K(Mn_4+7Mn3+)O_{16}$], caraterizados por agregados de cristais de coloração cinza médio, com aspecto maciço; e todorokita, [(Na,Ca,K,Ba,Sr) 1-x (Mn,Mg,Al)$_6O_{12}$·3-4H2O], com hábito fibroso e rugoso. Além de quartzo (SiO_2) e caulinita [$Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$]. A excessão é a amostra 1354 que é composta exclusivamente de criptomelano, formando massas coloidais, que lembram textura de calcedônia.

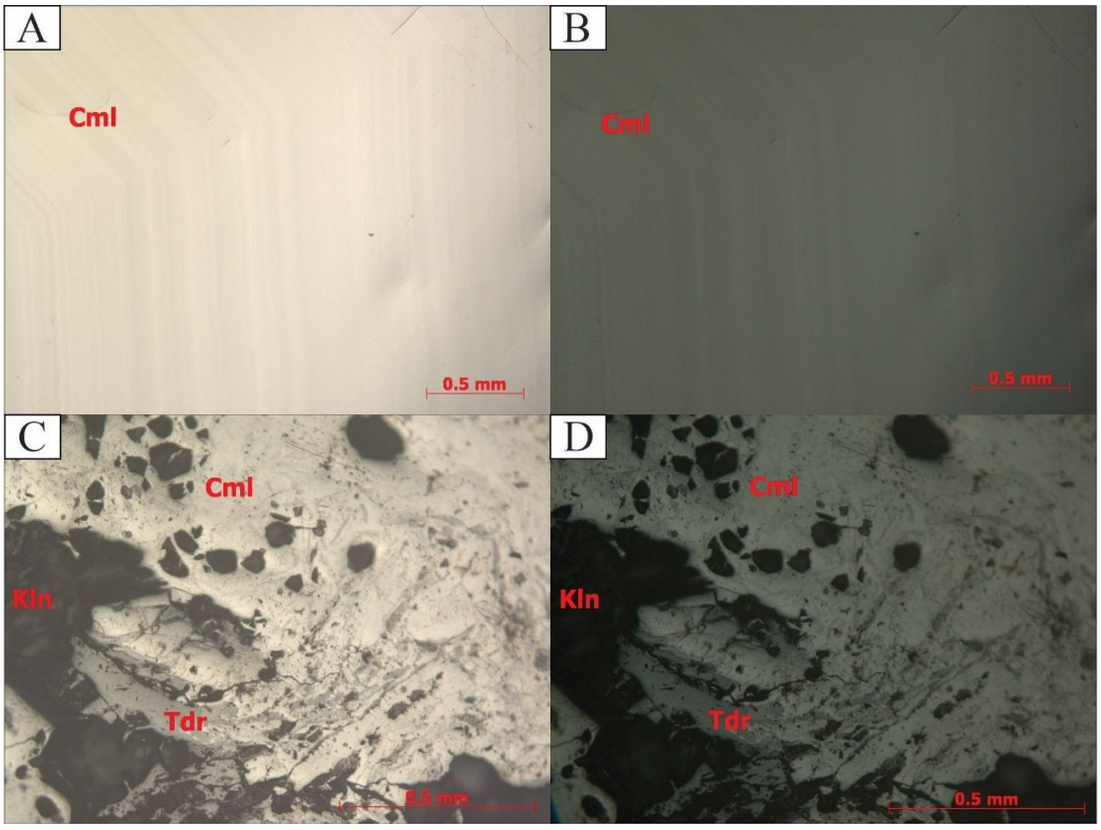


Figura 3 – A,B - criptomelano como um agregado de cristais muito pequenos formando uma massa; C, D - camada mineralizada: Abundância de Criptomelano com Todorokita ocorrendo como fibras e Caulinita (massa escura).

No xisto manganesífero (Figura 4), a associação geológica é semelhante, com presença de criptomelano, todorokita, quartzo e caulinita. O criptomelano forma cristais microcristalinos que compõem uma massa com vários hábitos. A nicóis descruzados, apresenta cor de reflexão branco acinzentado e sob nicóis cruzados, exibe anisotropia em tom de cinza. Já a todorokita é um mineral de manganês de hábito fibroso ou micáceo, que em nicóis descruzados apresenta cor de reflexão cinza médio e pleocroísmo em tons de cinza e forte anisotropia em tom de cinza.

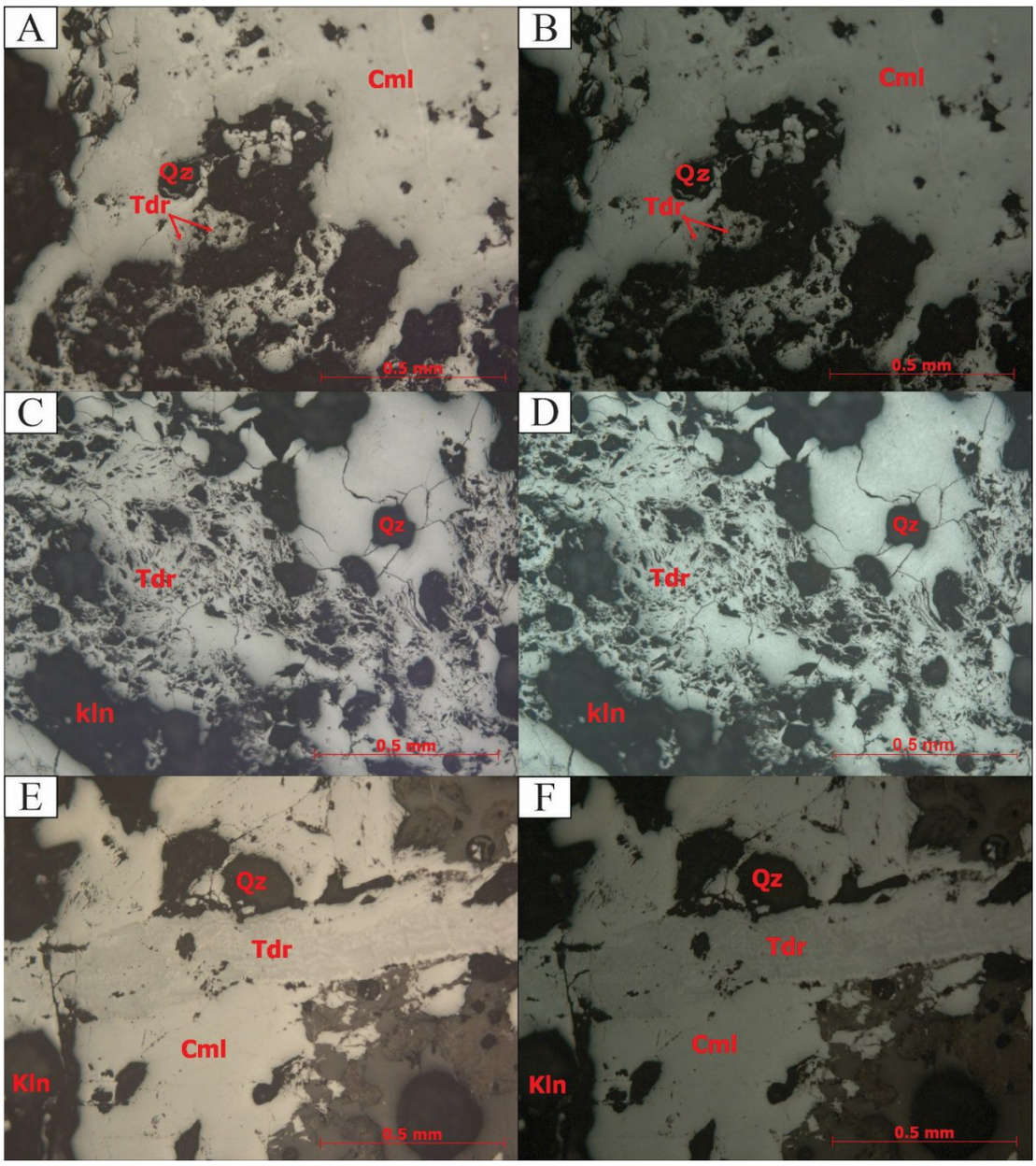


Figura 4 – A, B - Criptomelano, em agregados de cristais pequenos com aspecto maciço; fibras de todorokita e quartzo (massa escura). C, D - Fibras de Todorokita formando pequenas manchas dispersas e em tom de cinza, massa escura de caulinita e quartzo; E, F - Criptomelano (tom de bege) com Todorokita (mancha em tom de cinza) e Caulinita e Quartzo (em tom de preto).

Difração de Raios-x

Foram realizadas análises de DRX para caracterizar os minerais de manganês tanto do colúvio quanto do xisto manganesífero. No colúvio manganesífero (Figura 5) foram identificados óxidos e hidróxidos de manganês e silicatos, como criptomelano, todorokita, akhtenskita, orientita, ferrierita, kurnakovita, bernesita, asbolano, coombsita, quartzo, caulinita.

No xisto manganesífero (Figura 5) ocorre a presença de caulinita, quartzo, orientita, criptomelano, todorokita, kurnakovita, ferrierita, hollandita, litiforita, akhtenskita, diásporo, nacrita, ankerita e zavaritskita. A presença de litioforita, que contém o elemento lítio - Li na sua estrutura, indica zonas oxidadas de depósitos hidrotermais, e a zavaritskita (BiOF), que contém bismuto na estrutura química, indica produto de bismutinita, a partir da alteração hidrotermal de depósitos de greisen.

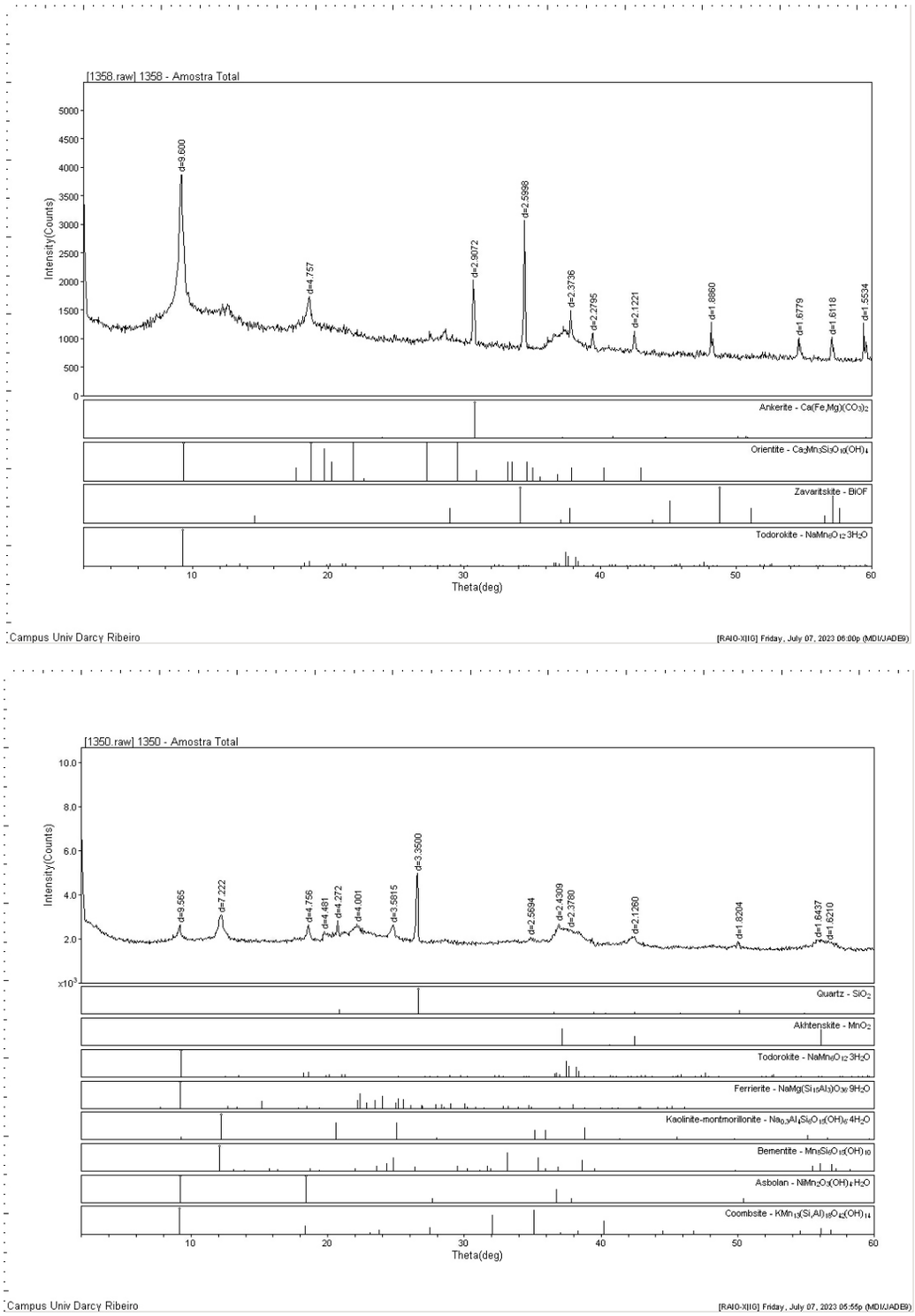


Figura 5 - Difratômetros representativos de raios-x de amostras do colúvio e xisto manganesífero

DISCUSSÕES

As camadas do depósito são da base para o topo formada de xisto não manganesífero, xisto manganesífero e colúvio manganesífero. O xisto não manganesífero ocorre bastante intemperizado, compreende uma rocha de coloração amarelo esbranquiçado, composto de quartzo e muscovita em sua composição principal. O xisto manganesífero, corpo de minério, é uma rocha xistosa, que ocorre na forma de lentes do tipo pulverulento e maciço, de cor preta a cinza azulado e escuro, com brilho terroso submetálico. Apresenta em sua mineralogia caulinita, quartzo, orientita, criptomelano, todorokita, kurnakovita, ferrierita, hollandita, litioforita, akhtenskita, diásporo, orientita, nacrita, ankerita e zavaritskita. O Colúvio manganesífero, camada superior da sequência, é a rocha mais exposta aos agentes de intemperismo. Apresenta um pacote rochoso com minerais de hábitos psolítico e botrioidal, com coloração amarelo alaranjado, contendo porções de minério de manganês de cor cinza azulado e/ou cinza escuro e brilho terroso submetálico, formado de criptomelano, todorokita, akhtenskita, orientita, ferrierita, kurnakovita, bernesita, asbolano, coombsita, quartzo e caulinita.

A presença de litioforita, $(Al,Li)MnO_2(OH)_2$, que contém o elemento lítio - Li na sua estrutura, indica um ambiente próximo de zonas oxidadas de depósitos hidrotermais, proveniente de deposito sedimentar de manganês. Além disso, foi identificado zavaritskita (BiOF), que contém bismuto e flúor na estrutura química, que é comumente formado da bismutinita, em um ambiente hidrotermal formador de greisen. É importante destacar que a presença desse mineral, indica que provavelmente o minério de manganês de Moema é enriquecido em ETR e metais radioativos, associações comuns em ambientes de greisenização. Embora, este trabalho não tenha estudado as rochas do embasamento, Salgado (2020) caracterizou o metagranito Buritirama, que indicou ser um granito anorogênico (A2), com afinidade metaluminosa e ferroniana, que pode ter havido fluidos ricos em F, que carregaram ETR e metais radioativos e enriqueceram o minério do Depósito Moema.

CONCLUSÕES

O Depósito Moema é uma continuidade a noroeste da Serra de Buritirama. Portanto está relacionado a Formação Buritirama (Salgado *et al*. 2023, Sotirakis, 2018; Vasquez & Rosa-Costa 2008), porção sudeste do Cráton Amazônico, em um limite permeado de discussão sobre se está inserido no Domínio Bacajá ou Carajás. Desperta grande interesse econômico, porque é considerado um mineral estratégico para o governo federal, utilizado principalmente na fabricação de pilhas e baterias, além de outros usos na indústria de metalurgia. Compreende um clássico depósito de manganês, formado por óxidos e hidróxidos de manganês e silicatos. Portanto, sugerem um ambiente geológico de formação do depósito Moema, similar em parte aquele interpretado, para a Formação Buritirama, que seria deposição sedimentar, seguida de enriquecimento por processos hidrotermais e supergênico.

Em termos de política pública e segurança nacional, indicamos que é necessária uma caracterização geoquímica do minério para verificar se o depósito de Moema, ou até mesmo de Buritirama, não contém como subprodutos os ETR e metais radioativos, minerais estratégicos para transição energética brasileira e mundial.

AGRADECIMENTOS

Pesquisa financiada FAPESPA E-2024/2285715 e CNPQ 408396/2023.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Salgado, S. S. Geologia da Serra de Buritirama e gênese de suas mineralizações manganesíferas. 2020. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 141p. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/33980.

Salgado, S. S.; Caxito, F. A.; Novais, B. C. Síntese da geologia da Formação Buritirama e suas mineralizações manganesíferas: limite norte do Domínio 41

Carajás, Pará. In: David, M. E. V.; Chaves, C. L.; Neto, J. M. M.; Gorayeb, P. S. S. (org.). Contribuições à Geologia da Amazônia. Belém, PA: Sociedade Brasileira de Geologia Núcleo Norte, 2023. p. 173-186. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/368576225_Sintese_da_geologia_da_Formacao_Buritirama_e_suas_mineralizacoes_manganesiferas_limite_norte_do_Dominio_Carajas_Para.

Sotirakis, D. L. Análise estrutural das rochas metassedimentares da formação buritirama, da mina de buritirama, Marabá – PARÁ. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá, 2018. Disponível em: http://repositorio.unifesspa.edu.br/handle/123456789/1188

Vasquez, M. L., Rosa-Costa, L. T. Geologia e recursos minerais do Estado do Pará: Sistema de Informações Geográficas – SIG; texto explicativo dos mapas geológico e tectônico e de recursos minerais do estado do pará. escala 1:1.000.000. Belém: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2008. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/10443.

ANÁLISE ESTRUTURAL E METAMÓRFICA DO COMPLEXO CAUARANE: EMBASAMENTO PARADERIVADO DO CINTURÃO RIO URUBU

Antonio Charles da Silva Oliveira[1,2]; Brenda de Andrade Feitosa[1,3]; Túlio Amós de Araújo Mendes[1]; Bruna Yumi Iimori Macedo[1,3]; Bruno Silva de Souza[1,3]; Rielva Solimairy Campelo do Nascimento[4]; Vinícius Tieppo Meira[2]; Carlos Eduardo Ganade[1,2]

[1]Serviço Geológico do Brasil – SGB; [2]Universidade de Campinas - UNICAMP; [3]Universidade Rural do Rio de Janeiro – UFRJ; [4] Universidade Federal do Amazonas - UFAM

charles.oliveira@sgb.gov.br; brenda.feitosa@sgb.gov.br; tulio.mendes@sgb.gov.br; bruna.macedo@sgb.gov.br; bruno.souza@sgb.gov.br; rielva@ufam.edu.br; vtmeira@unicamp.br; carlos.ganade@sgb.gov.br

RESUMO

A proposta da Orogenia Akawai apresenta um modelo evolutivo geotectônico para porção central do Escudo das Guianas, rompendo com o tradicional modelo geocronológico do Cráton Amazônico. Nesse arcabouço, os cinturões Rio Urubu, Orocaima e Cauarane–Coeroeni são definidos a partir de sua origem geodinâmica. O Cauarane–Coeroeni constitui a feição central do modelo, sustentada pela integração de dados de proveniência sedimentar, história metamórfica de paleobacias orogênicas e uma base geológica regional atualizada. Os avanços dessa proposta para geologia da região são notáveis, sobretudo quanto ao alinhamento entre os cinturões Akawai e as unidades e estruturas regionais. Ainda assim, metamorfismo e geologia estrutural permanecem pouco explorados, reflexo da escala regional da cartografia e da escassez de estudos detalhados nesses temas. Neste trabalho, apresentamos a caracterização metamórfica e estrutural de três segmentos descontínuos do Complexo Cauarane, aflorantes no Cinturão Rio Urubu. Nosso objetivo é estabelecer as relações entre as sucessões metavulcanossedimentares de alto grau dessas áreas e os gnaisses charnockíticos e granitoides do cinturão, de modo a reconstruir a história metamórfica e estrutural da região centro-leste de Roraima. Os resultados indicam que as áreas estudadas preservam feições metamórficas de alto grau, com sucessões migmatíticas na transição anfibolito–granulito e condições de granulito, posteriormente sobrepostas por zonas miloníticas de temperatura intermediária a alta, responsáveis por retrogressões associadas à deformação dinâmica. Em conjunto, esses registros sustentam a existência de um gradiente metamórfico de alta temperatura e baixa pressão (30–40 ºC/km), do tipo Buchan, para o Complexo Cauarane, sob baixa atividade de H_2O e compatível com o magmatismo sincinemático dos charnockitos da Serra da Prata. Com base em dados geocronológicos prévios, propomos uma trajetória metamórfica polifásica, marcada por eventos de HT–UHT (1,95–1,93 Ga), contemporâneos ao magmatismo sincinemático do Cinturão Rio Urubu, seguidos por retrabalhamento intracontinental associado à Orogenia K'Mudku (1,49–1,14 Ga). Esse processo rotacionou e deslocou os cinturões Akawai, controlando a compartimentação tectônica da região. Assim, o Complexo Cauarane registra um retrabalhamento

crustal paleoproterozoico (D1), vinculado à formação do Cinturão Rio Urubu, posteriormente sobreposto por um sistema orogênico intracontinental mesoproterozoico de longa duração (D2).

PALAVRAS-CHAVE: Complexo Cauarane, História estrutural-metamórfica, Embasamento do Cinturão Rio Urubu, Retrabalhamento Crustal Intracontinental.

INTRODUÇÃO

Avanços em geologia, geofísica e métodos analíticos têm levado diversos autores a revisarem modelos aplicados ao Cráton Amazônico (CA), destacando inconsistências entre os limites das tradicionais províncias geocronológicas e as unidades e estruturas regionais, p.ex. Juliani *et al*., (2014). Transendo devolta o debate sobre a contraposição entre modelos geocronológicos, que agrupam rochas por suas idades, e modelos geotectônicos, que buscam compreender a evolução crustal a partir da origem geodinâmica.

Um exemplo recente é o modelo geotectônico da orogênese Akawai (Fraga *et al*., 2024), na porção central do Escudo das Guianas (EG), que rompe com os modelos tradicionais do CA, ao define os cinturões Rio Urubu (CRU, 1,96 – 1,92 Ga), Orocaima (CO, 1,99 – 1,96 Ga) e Cauarane–Coeroeni (CCC, 2,05 – 2,03 Ga), integrando datações aplicadas à proveniência sedimentar e à história metamórfica de paleobacias orogênicas com a base geológica regional atualizada. Esta proposta mostra avanços notáveis, sobretudo quanto a aspectos fundamentais, como o alinhamento entre seus cinturões e as unidades e estruturas regionais. No entanto, temas como metamorfismo e geologia estrutural permanecem pouco desenvolvidos, muito em razão a escala regional da base geológica.

Neste contexto, apresentamos um estudo de caracterização metamórfica e estrutural de três áreas descontínuos do Complexo Cauarane (CC), que afloram no CRU. O objetivo principal é estabelecer as relações entre as sucessões metavulcanossedimentares em cada área estudada e, ainda, destas com os gnaisses charnockíticos e granitoides do Rio Urubu, de modo a propor uma história metamórfica e estrutural para esta região na porção centro-leste de Roraima.

1. Os resultados obtidos têm potencial para preencher lacunas significativas em modelos geológicos recentes, além de fornecer um vínculo geológico sólido para modelos futuros.

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo foram realizados levantamentos geológicos e estruturais em campo, com coleta de amostras orientadas de rochas representativas, seguindo o procedimento clássico de mapeamento geológico-estrutural descrito por Medeiros e Rosa-Costa (2020),

As secções delgadas utilizadas foram confeccionadas e descritas na Superintendência do SGB em Manaus. As análises microtectônicas basearam-se em (Trouw *et al*., 2009) e a caracterização metamórfica em (Bucher e Grapes, 2011)

Para integrar os dados estruturais e metamórficos em múltiplas escalas, utilizou-se ambiente SIG, no qual informações de campo (medidas estruturais, litotipos e assembleias minerais) foram combinadas a dados geológicos e geofísicos disponíveis no portal GEOSGB (www.geosgb.sgb.gov.br). Essa integração permitiu a elaboração de um mapa estrutural–metamórfico da área de estudo. Os dados geofísicos, tratados conforme (Betts *et al*., 2019), possibilitaram estender observações locais (escala 1:50.000) ao nível regional (1:500.000) e ao embasamento profundo. Para isso, anomalias magnéticas foram processadas por redução ao polo e filtragem passa-banda gaussiana, separando componentes regionais e residuais, segundo metodologia de Oliveira e Almeida (2021).

RESULTADOS

Na região da Serra da Lua, porção centro-leste de Roraima (Figura 1A), foram reconhecidos litotipos de alto grau orto- e paraderivados imersos nos gnaisses charnockitos e granitoides do CRU.

Os litotipos paraderivados têm protólitos semipeliticos e diabásios, caracterizando sucessões metavulcanosse-dimentares correlacionadas ao CC. Apesar de dispostos em exposições descontinuas, se concentram em três áreas principais, duas ao longo do Rio Tacutu, fronteira Brasil e Guiana, e uma terceira na região da nascente do Igarapé Cachorro (Figura 1B). Em campo, é evidente a variação de grau metamórfico e de facies estrutural entre essas áreas, apesar de aparentemente seus litotipos ter protólitos comuns.

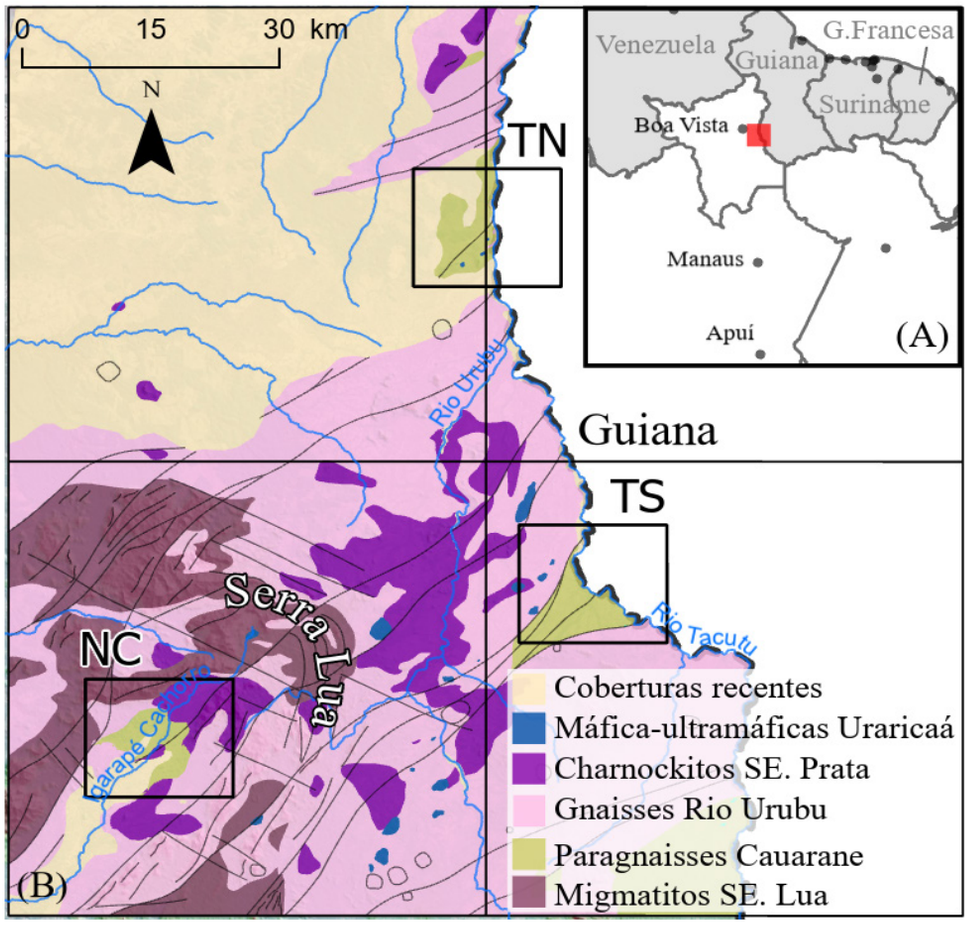


Figura 1 – Mapas de localização (A) e geológico preliminar (B) do Projeto Serra da Lua, destacando áreas de exposição do Complexo Cauarane – Tacutu Sul (TS), Norte (TN) e Nascente Cachorro (NC).

Tacutu Sul (TS)

Nesta área, predominam sillimanita-biotita gnaisses migmatíticos com lentes e enclaves de anfibolitos e rochas calciossilicáticas. Essas rochas mostram bandamentos polidobrados, com dobras abertas a fechadas, de amplitudes métricas e eixos (E_1) com caimento elevado para SE e NW, padrão que evidencia redobramento em sinclinais--anticlinais métricos a decamétricos de eixos (E_2) com caimento para NE (Figura 2AB). Essa trama defini redobramento não-coaxial entre padrão de interferência ortogonal e obliquo, que é sobreposta por zonas de cisalhamento de foliação milonítica (S_{n+2}), de direção N40-60E com mergulhos altos para SE, gerando na trama pretérita (S_{n+1}) dobras de arrastro sinistral (Figura 2C).

Em seção delgada (Figura 3A), os paragnaisses migmatiticos mostram bandamento composicional milimétrico (S_{n+1}) alternando níveis félsicos — ricos em quartzo, ortoclásio e plagioclásio, com textura granoblástica e, localmente, xenomórfica — e níveis máficos, com biotita, sillimanita prismática, associadas muscovita reliquiar, e granada subedrais. Também ocorrem, faixas (S_{n+2}) definidas por biotita finos e fibrolita neoformadas, cristais de silimanita prismática cortados por essas estruturas mostram reabsorvida com quartzo, deformado com extinção ondulante e subgrãos e feldspatos com exsoluções, que indicam recristalização dinâmica associada ao cisalhamento em regime dúctil.

Tacutu Norte (TN)

Nesse segmento há ampla e continua exposição de anfibolitos migmatíticos milonitizados e com faixas de gnaisses micáceos, ao longo de trecho do Rio Tacutu. A trama observada é caracterizada por foliações NE–SW, que internamente reservam dobras intrafoliais e localmente trama migmatitica parcialmente preservada (Figura 2F). No entorno do rio, os afloramentos são escassos, com espesso horizonte laterítico na área, mas as poucas exposições mostram diatexitos heterogêneos com leucogranitos anatéticos e estruturas de fluxo complexas e forte componente vertical, sugerindo uma trama migmatitica com alta-taxa de fusão na interfase de migração do melt.

Retornando ao perfil ao longo do rio, a trama principal é milonítica (Sn+2) com direção entre N35°E e N60°E e associada lineações de estiramento (180/60) que indicam cinemática sinistral (Figura 2D), localmente, em bandas de baixo-*strain*, preservam bandamento migmatitico, que mostram dobras apertadas de eixo (E_1) com caimento suave para SW-NE (Figura 2E).

Essa trama de afloramento, projeta-se de maneira fractal na trama regional, suportado por dados geofísicos e de sensoriamento remoto, feições de primeira ordem NE--SW, zonas de cisalhamento regionais, balizam o flanco norte-noroeste da megaestrutura dobrada da serra da lua, que trucado por esse sistema de lineamento NE-SW.

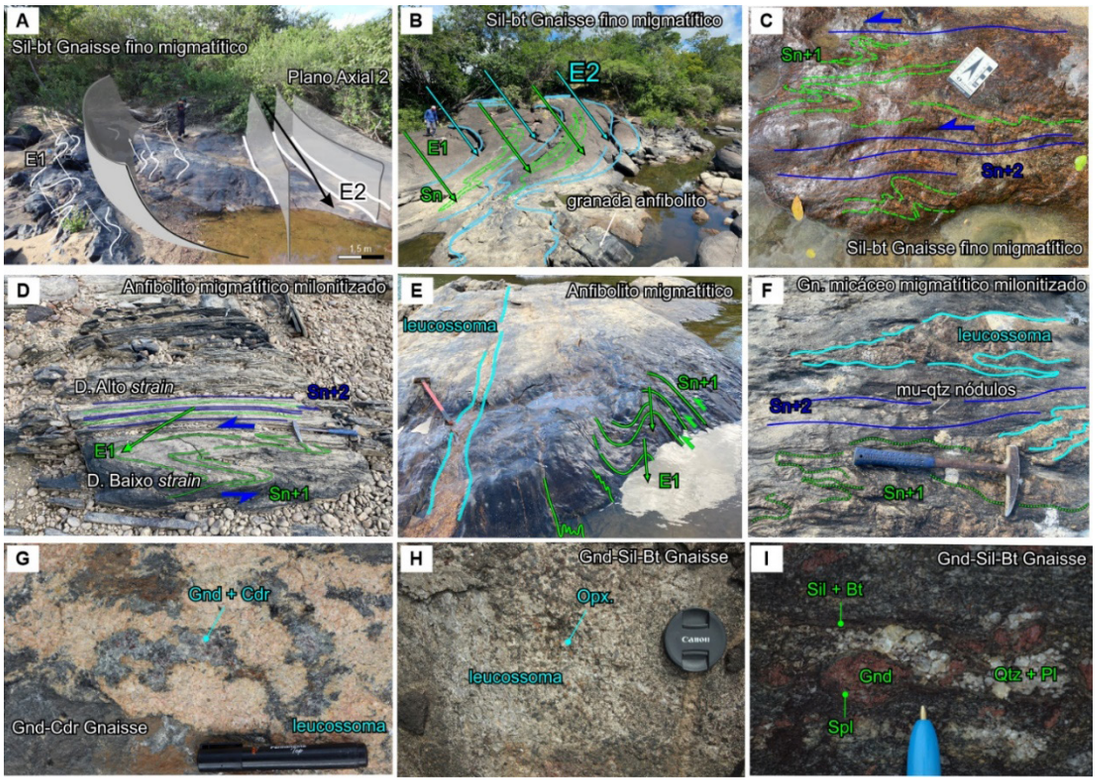


Figura 2 – Aspectos estruturais e metamórficos nas exposições das áreas TN (A, B, C); TS (D, E, F) e NC (G, H, I). Os gnaisses micaceos, apesar de sua exposição limitada, em lâmina petrografica revela uma história incapaz de ser registrada nos anfibolitos ou ortognaisses tão bem exposto da área.

Trata-se de uma albita - muscovita – biotita gnaisse porfiroblastico. Os grandes crustais de muscovita têm corona albita e quartzo, também ocorrem inclusões muito finas de silimanita e feldspato alcalino. A matriz é granolepdoblastica, com foliação tipo-S/C bem marcada, definida por biotita e muscovita e bandas descontinuas de albita + quartzo. Os cristais de quartzo e feldspato mostram feições cristalográficas típicas de milonito de temperatura baixa-intermediaria (Figura 3B), com quartzos em *ribbons* recristalizados e *bulging* e albita com fraturado preenchida por neoformada biotita fina.

Nascente Cachorro (NC)

Predominam metatexitos e diatexitos paraderivados com resíduo kinzigitico grosso e leucossoma granítico com peritético de granada – cordierita ± ortopiroxenio (Figura 2G, H), essas rochas também mostram lentes de (retro)granulitos máficos. No entorno, ocorrem charnockitoides com feições de fluxo anatético a migmatíticos, sugerindo um regime sincinemático, aparentemente com relações genéticas com esses migmatitos.

A estruturação migmatítica é progressiva, marcada por dobras isoclinais a fechadas (D1), com eixos subverticais orientados para S70°W, acompanhadas por zonas de cisalhamento subparalelas aos planos axiais. Um segundo evento (D2) desenvolve zonas de cisalhamento de alta temperatura, também com fusão parcial associada – *melt* 2, orientadas segundo o sistema NE–SW.

Ao microscópio, os risiduos metamórficos – kinzigitos, alternância entre domínios escuros, com porfiroblastos de granada e cordierita corroídos, contornados e rotacionados por foliação definida por biotita e fibrolita; e domínios claros compostos por feldspatos e quartzo granoblásticos. ocorrem inclusões de hercinita, ilmenita, e quartzo em cristais de cordierita e granada, indicando condições de alta temperatura e baixo conteúdo de H_2O (Figura 3C).

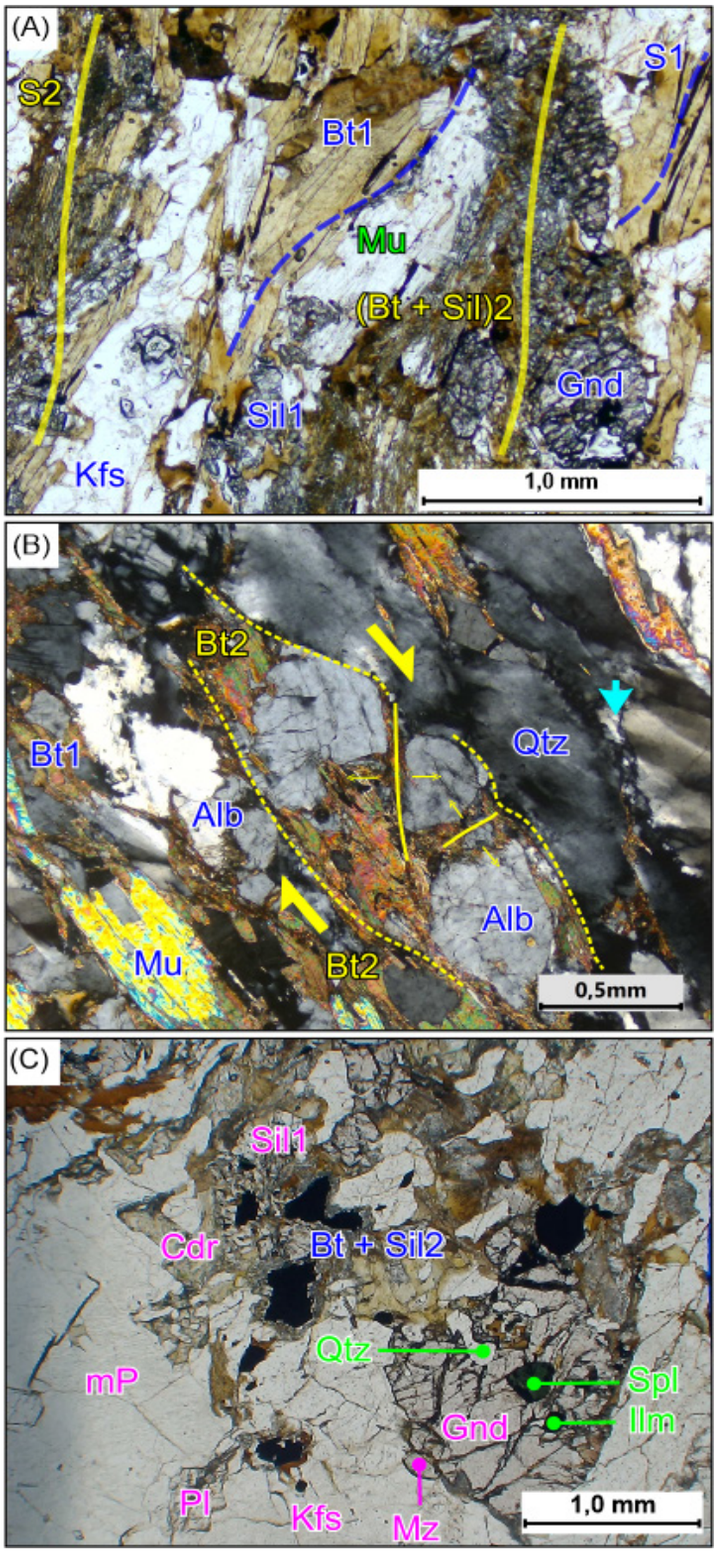


Figura 3 – Aspectos texturais em secção delgada de litotipos das áreas TN (A); TS (B) e NC (C).

DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Gradiente Metamórfico do Complexo Cauarane

As áreas TS, TN e NC representam porções do CC desmembradas do CCC e preservadas no interior do CRU como fragmentos de embasamento. Cada segmento registra trajetórias estruturais e metamórficas distintas; no entanto, quando integrados, suas assembleias mineralógicas e trajetórias P–T indicam um campo metamórfico do tipo Buchan, caracterizado por gradiente baixo P/alto T. Esse regime atinge condições UHT na área NC, suportadas pela assembleia diagnóstica Grt + Crd + Spl ± Opx (Harley, 1998)garnet, aluminous orthopyroxene, cordierite, sillimanite, spinel and quartz in pelites and quartzites. Experimentally constrained and calculated FMAS and KFMASH petrogenetic grids involving these phases and additional osumilite and melt indicate that sapphirine + quartz is stable only at >1040°C in reduced rocks, that osumilite is restricted to >900°C for pressures greater than 6 kbar and has an ultimate stability limit of 9 kbar in FMAS, and that the orthopyroxene + sillimanite + quartz assemblage is restricted to pressures greater than 8 kbar in KFMASH. These criteria, coupled with the grids isoplethed for the Mg/(Mg+Fe, típica de baixa atividade de H2O e compatível com os corpos charnockíticos sincinemáticos que afloram na região. enquanto, na TS é registrada a transição anfibolito alto–granulito, marcada pela decomposição progressiva da muscovita e geração de sillimanita + granada; e na TN, migmatitos e leucossomas anatéticos pós-pico foram posteriormente milonitizados, refletindo retrabalhamento em condições mais baixas, possivelmente relacionado ao evento de exumação.

Implicações na Evolução do Cinturão Rio Urubu

O CC representa parte preservada do embasamento do CRU, dessa forma história estrutural e metamórfica fornecem evidência direta das condições da sua origem e evolução.

O registro de condições UHT no CC, é compatível com o terceiro evento metamórfico descrito por Fraga *et al*. (2024), entre 1,95 e 1,93 Ga, marcado por retrabalhamento crustal e magmatismo sincinemático, exemplificado pelos charnockitos da Serra da Prata, remetendo a origem do CRU, num contexto de tectônico intercontinental com alto gradiente geotérmico (~ 30–40 ºC/km). A sobreposição de zonas de cisalhamento NE–SW sugere reativações prolongadas, correlacionáveis à Faixa de Cisalhamento intracontinental atribuída à Orogenia K'Mudku (1,49–1,14 Ga; Santos *et al*., 2006), exercem importante papel na compartimentação nessa porção do CG, rotacionando e deslocando cinturões Akawai, localmente obliterando trama originais E-W e WNW--ESSE e justapondo porções de niveis crustais distintos (Oliveira *et al*., 2023).

Esse arranjo indica que as rochas do Cauarane registram a memória de um sistema tectonometamórfico de longa duração, controlado por sucessivas fases de anatexia, deformação e exumação.

Dessa forma, o Cauarane funciona como registro fiel da evolução do embasamento do CRU, permitindo interpretar tanto as condições de alto gradiente térmico originais quanto os efeitos posteriores de deformação, migmatização e exumação. Uma hipótese alternativa, ainda pouco caracterizada, seria um evento tectonotermal entre 1,91 e 1,86 Ga (Velasquez, 2015), possivelmente relacionado à reativação parcial do embasamento do cinturão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Betts, P., Armit, R., Tiddy, C., Armistead, S., e Ailleres, L. (2019). Tectonic analysis of regional potential field data. ASEG Extended Abstracts, 2019(1), 1–5. https://doi.org/10.1080/22020586.2019.12073022

Bucher, K., e Grapes, R. (2011). Petrogenesis of Metamorphic Rocks (8th ed.). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-540-74169-5

Fraga, L. M. B., Cordani, U., Maria Dreher, A., Sato, K., Joaquim Reis, N., Nadeau, S., De Roever, E., Kroonenberg, S., e Camara Maurer, V. (2024). Early Orosirian belts of the central Guiana Shield, northern Amazonian Craton: U-Pb geochronology and tectonic implications. Precambrian Research, 407, 107362. https://doi.org/10.1016/j.precamres.2024.107362

Harley, S. L. (1998). On the occurrence and characterization of ultrahigh-temperature crustal metamorphism. Geological Society Special Publication, 138, 81–107. https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1996.138.01.06

Medeiros, V. C. de, e Rosa-Costa, L. T. da. (2020). Guia de procedimentos técnicos: volume 1 - cartografia geológica (Vol. 1). CPRM. http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/21749

Oliveira, A. C. da S., e Almeida, M. E. (2021). The role of intracratonic crustal reworking in the tectonic compartmentalization of the Juruena Terrane, SW Amazonas Craton: the Roosevelt-Guariba Transpressive Belt. Journal of the Geological Survey of Brazil, 4(August), 123–145. https://doi.org/https://doi.org/10.29396/jgsb.2021.v4.n2.3

Oliveira, A. C. da S., Mendes, T. A. A., Almeida, M. E., e Lopes, P. R. S. (2023). Sistema de Zonas de Cisalhamento Jauaperi e Itã-Barauana: efeitos do Orógeno Intracontinental K'Mudku na SLIP Uatumã. In Sociedade Brasileira de Geológia (Ed.), 17o Simpósio de Geológia da Amazônia.

Santos, J. O. S., Faria, M. S., Riker, S. R., Souza, M. M., Hartmann, L. A., Almeida, M. E., Mcnaughton, N. J., e Fletcher, I. R. (2006). A faixa colisional K'Mudku (idade grenvilliana) no norte do Cráton Amazonas: reflexo intracontinental do Orógeno Súnsas na margem ocidental do cráton. IX Simpósio de Geológia Da Amazônia, 160–163.

Trouw, R. A. J., Passchier, C. W., e Wiersma, D. J. (2009). Atlas of Mylonites- and related microstructures. Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-03608-8.

Velazquez, C. A. T. (2015). Análise das petrotramas das rochas Charnockiticas da Serra da Prata, Mucajaí / RR. 197f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2015.

QUÍMICA MINERAL E TERMOBAROMETRIA DE GNAISSES CHARNOCKÍTICOS DA PORÇÃO LESTE DE RORAIMA

Bruna Yumi Iimori Macêdo[1, 2]; Rielva Solimairy Campelo do Nascimento[3]; Antonio Charles da Silva Oliveira[2]; Bruno Silva de Souza[1, 2]; Túlio Amós de Araújo Mendes[2]; Michele Zorzetti Pitarello[2]; Brenda de Andrade Feitosa[1, 2]; Leonardo Aguiar[2]

[1]Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ;
[2] Serviço Geológico do Brasil - SGB;
[3]Universidade Federal do Amazonas - UFAM

yumi_iimori@hotmail.com; rielva@ufam.edu.br; charles.oliveira@sgb.gov.br; brunossouza.geo@gmail.com; tulio.mendes@sgb.gov.br; michele.pitarello@sgb.gov.br; brenddandrad@gmail.com; leonardo.aguiar@sgb.gov.br

RESUMO

Os charnockitos são rochas graníticas anidras, geralmente associadas a terrenos de alto grau e de difícil distinção com granulitos. Em Roraima, os charnockitos eo-orosirianos são agrupados na Suíte Serra da Prata (SSP). Nas folhas Serra da Lua (NA-20-X-D-VI) e Serra do Murupu (NA-21-V-C-IV) foram cartografados metacharnockitos, gnaisses e migmatitos metatexíticos. Composicionalmente variam de quartzo ferrodioritos, quartzo jotunitos, enderbitos, charnoenderbitos, quartzo mangeritos e charnockitos comumente associados a enclaves máficos exibindo *mingling*. Este trabalho, por meio da caracterização mineraloquímica de fases como piroxênios, plagioclásio, biotita e anfibólio, propõe condições termobarométricas de geração dos gnaisses e anfibolitos, aflorantes da região do médio curso do Rio Urubu, correlacionados a SSP. No gnaisse, foram identificados andesina ($An_{40,5–42,5}$;), Mg-biotita, diopsídio e enstatita. O geotermômetro de Ti em biotita indicou temperaturas entre 771 e 773° C. No anfibolito, foram identificados andesina ($An_{44,5–51,9}$), magnésio-hastingsita e enstatita. O termômetro plagioclásio-anfibólio indicou temperaturas de 790,8-798,03° C, concordantes com as encontradas no gnaisse, e o barômetro de Al em anfibólio, pressões baixas (3,05-3,58 kbar). Os aspectos texturais dos minerais utilizados nos cálculos geotermobarométricos indicam que estes foram gerados e/ou reequilibrados durante um evento metamórfico de alta temperatura e baixa pressão a que foram submetidas essas rochas, podendo estar relacionado ao evento de 1,88 Ga ou de 1,49-1,15 Ga.

PALAVRAS-CHAVE: Cráton Amazonas; Cinturão Rio Urubu; Suíte Serra da Prata; Orosiriano.

INTRODUÇÃO

Rochas charnockíticas são caracterizadas pela presença de ortopiroxênio ígneo e pela associação a terrenos de alto grau, constituindo registros de processos térmicos e químicos da crosta profunda. Nesse sentido, uma das principais dificuldades associadas ao estudo dos charnockitos é a sua distinção em relação aos granulitos, que possuem ortopiroxênio gerados por desidratação metamórfica.

No estado de Roraima, historicamente as rochas charnockíticas foram interpretadas como granulitos e englobadas no Complexo Kanuku (Berrangé, 1977). No final da década de 1990, nos projetos de mapeamento regionais realizados pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB), estas rochas foram consideradas ígneas e agrupadas na Suíte Serra da Prata (SSP). Fraga *et al.* (2024) define o intervalo de 1,94-1,91 Ga para o magmatismo charnockítico do Cinturão Rio Urubu.

Em mapeamento de detalhe realizado recentemente pelo SBG na porção leste de Roraima (Folhas Serra da Lua - NA-20-X-D-VI e Serra do Murupu -NA-21-V-C-IV), observou-se exposições de rochas charnockíticas em extensos lajedos e morrotes, exibindo variado grau de deformação. Composicionalmente são quartzo ferrodioritos, quartzo jotunitos, enderbitos, charnoenderbitos, quartzo mangeritos e charnockitos, que por vezes exibem feições primárias como *mingling* com enclaves básicos, além de dobras e zonas de cisalhamento geradas em alto grau metamórfico. Predominam metacharnockitos, mas são observados gnaisses e migmatitos metatexíticos.

Este trabalho tem como objetivo a caracterização mineraloquímica e discussões termobarométricas de gnaisses charnockíticos e anfibolitos, aflorantes na região do médio curso do Rio Urubu, correlacionados a Suíte Serra da Prata.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados mineraloquímicos aqui apresentados foram obtidos em duas amostras da porção centro leste do estado de Roraima, em biotita gnaisse quartzo jotunítico (BSS-R-011A) e biotita-ortopiroxênio-clinopiroxênio anfibolito (BY-R-008B). Foram analisados plagioclásio, clinopiroxênio, ortopiroxênio, biotita e anfibólio no Laboratório de Microssonda Eletrônica do Departamento de Geologia da Universidade Estadual Paulista (Unesp), em microssonda eletrônica JXA-8230 *superprobe* da marca JEOL. Utilizou-se a planilha Excel MagMin_PT de Gunduz e Asan (2023) para a classificação mineral e cálculos geotermobarométricos.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Aspectos de campo

Em um afloramento no leito do Rio Urubu, foram observadas dobras isoclinais recumbentes e redobradas em dobras abertas a suaves (Fig. 1a) em gnaisse charnoenderbítico com enclaves máficos de bt-opx-cpx anfibolito (Fig. 1b). O anfibolito ocorre com contatos interdigitados, evidenciando a contemporaneidade magmática, e com orientação concordante com a foliação do gnaisse. Cerca de 1 km ao sul, aflora um bt gnaisse quartzo jotunítico com foliação penetrativa, e em ampla escala, dobrada em dobras abertas, com flancos de direções 060° e 250° Az e mergulhos de baixo ângulo.

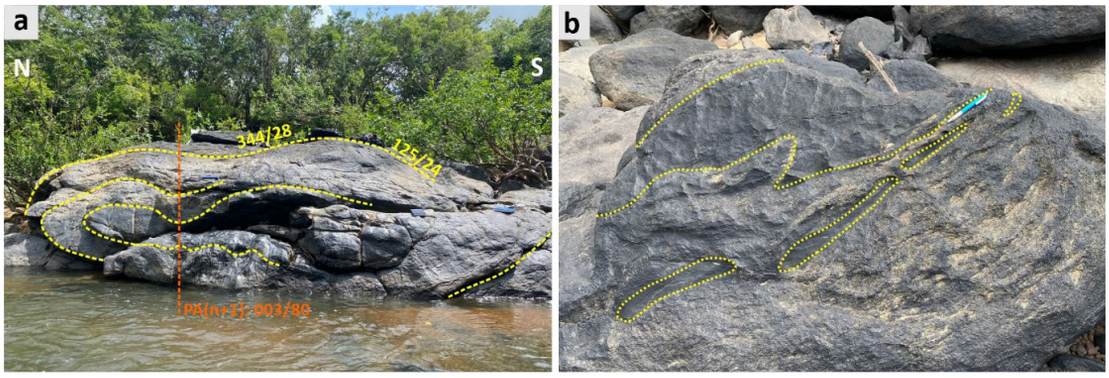


Figura 1 – Fotografias da estação BY-008 exibindo (a) a dobra isoclinal recumbente redobrada em dobras abertas a suaves; e (b) enclaves máficos alongados, provavelmente boudinados, e uma porção máfica na porção superior, com contatos interdigitados com a encaixante

Química mineral

Biotita gnaisse quartzo jotunítico

O bt gnaisse quartzo jotunítico apresenta textura reliquiar inequigranular fina a média e uma foliação descontínua, definida pela orientação de agregados máficos. É composto por plagioclásio (~55%), ortoclásio (~10%), quartzo (~10%), clinopiroxênio (~9%), ortopiroxênio (~6%), biotita (~5%), opacos (~3%), apatita (~1%) e anfibólio (<1%).

Nesta rocha foram analisados plagioclásio, biotita, clinopiroxênio e ortopiroxênios. Composicionalmente o plagioclásio é do tipo andesina ($An_{40,5–42,5}$; Fig. 3a), em geral xenoblásticos com bordas corroídas e forte extinção ondulante (Pl_1), mas também ocorrem cristais subidioblásticos com maclas bem definidas e com extinção ondulante moderada (Pl_2) (Fig. 2a e b). Apesar da pequena diferença composicional, os teores mais altos de anortita foram observados no Pl_1. Petrograficamente, identificou-se pelo menos duas gerações de biotita: (Bt_1) cristais subidioblásticos a xenoblásticos curvados e com extinção ondulante; (Bt_2) cristais subidioblásticos pouco deformados a indeformados. A biotita analisada é a Bt_2, de coloração avermelhada, apresentando inclusão parcial de apatita e corona irregular de clinopiroxênio (Fig. 2b). Consiste em Mg-biotita (Fig. 3b) com alto teor de TiO_2 (5,20-5,26 wt%) e de X_{Mg} (≅0,55). O ortopiroxênio é enstatita (Fig. 3c), com X_{Mg} (=Mg/(Fe+Mg)) de 0,53-0,54, e baixo teor de Al_2O_3, de 0,77% a 0,79%. É subidioblástico de hábito tabular alongado, com bordas irregulares, muito fraturado (Fig. 2a). O clinopiroxênio apresenta duas texturas: (Cpx_1) cristais subidioblásticos de bordas irregulares, com inclusões de opacos e finas lamelas de exsolução de ortopiroxênio orientadas segundo a clivagem, exibindo aspecto “sujo” (Fig. 2a); e (Cpx_2) cristal xenoblástico associado a biotita como corona incompleta e em contatos curvos com opacos (Fig. 2b). Composicionalmente não há distinções significativas entre as variedades texturais, plotando no campo do diopsídio (Fig. 3c). Apresentam altos valores de X_{Mg} de 0,67-0,70, e baixo teor de Al_2O_3, entre 1,3% e 1,6%.

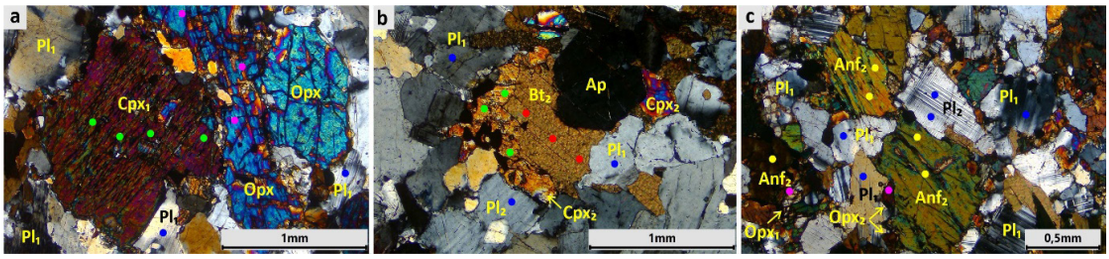


Figura 2 – Fotomicrografias dos minerais e spots analisados, (a) e (b) são do gnaisse e (c), do anfibolito. (a) Clinopiroxênio (Cpx_1) e ortopiroxênio (Opx) subidioblásticos, e plagioclásio (Pl_1) com extinção ondulante e migração do limite no grão; (b) Biotita (Bt_2) com manto incompleto de clinopiroxênio (Cpx_2) e inclusão parcial de apatita (Ap); (c) Anfibólios (Anf_2) xenoblásticos, orientados, com ortopiroxênio tanto no núcleo (Opx_1), quanto nas bordas do mineral (Opx_2).

Biotita-ortopiroxênio-clinopiroxênio anfibolito

O bt-opx-cpx anfibolito apresenta textura nematogranoblástica fina, com foliação contínua, definida pela orientação de cristais de anfibólio. É composto por plagioclásio (~47%), anfibólio (~33%), ortopiroxênio (~7%), clinopiroxênio (~5%), biotita (~5%), opacos (~3%) e apatita (<1%).

No anfibolito, foram analisados plagioclásio, anfibólio e ortopiroxênio. O plagioclásio é xenoblástico com forte extinção ondulante, por vezes subgrãos, e maclas polissintéticas difusas (Pl_1; Fig. 2c); e xenoblásticos a subidioblásticos com maclas polissintéticas pouco deformadas e rara extinção ondulante (Pl_2; Fig. 2c). Os teores de anortita variaram entre $An_{44,5–51,9}$, predominando o tipo andesina, com apenas um cristal de composição labradorita (Fig. 3a). Semelhante ao gnaisse, os teores mais elevados de anortita estão no Pl_1. Apenas ortopiroxênios foram analisados, com duas variações texturais: (Opx_1) cristal xenoblástico, de aspecto sujo, como núcleo relicto incluso em anfibólio (Fig. 2c); e (Opx_2) cristal granular que ocorre nas bordas de anfibólio (Fig. 2c). As duas variedades texturais corresponderam a enstatita (Fig. 3c), com X_{Mg} de 0,65, e baixo teor de Al_2O_3 (0,81-0,99%). O anfibólio ocorre como inclusões arredondadas em ambos piroxênios (Anf_1), e como cristais xenoblásticos orientados (Anf_2; Fig. 2c). Foi analisado apenas o Anf_2 correspondendo a um anfibólio do tipo cálcico, classificado como magnésio-hastingsita ($Al^{VI} < Fe^{3+}$; Fig. 3d).

Termobarometria

Para o gnaisse, utilizou-se o termômetro de Ti em biotita de Henry *et al.* (2005), que resultou em temperaturas de 771-773°C. Tendo em vista que a geração analisada corresponde a Bt_2, interpretada como mineral metamórfico, tal temperatura registra a cristalização do mineral durante o metamorfismo de alto grau.

No anfibolito, utilizou-se o termômetro B de plagioclásio-anfibólio, de Holland e Blundy (1994), e o barômetro de Al em anfibólio de Anderson e Smith (1995), resultando em temperaturas de 790,8-798,03°C e pressões de 3,05-3,58 kbar. Considerando a existência das diferentes gerações minerais, é interpretado que o Anf_2, Pl_2 e Opx_2 representam minerais metamórficos, enquanto os demais correspondem a fases ígneas deformadas. Portanto, uma vez que se utilizou pares de Anf_2 e Pl_1 para a geotermobarometria, as condições obtidas registram um metamorfismo prógrado em fácies granulito sob baixas pressões. Este metamorfismo de alto grau é corroborado pela presença de ortopiroxênio metamórfico no anfibolito e de clinopiroxênio metamórfico no gnaisse.

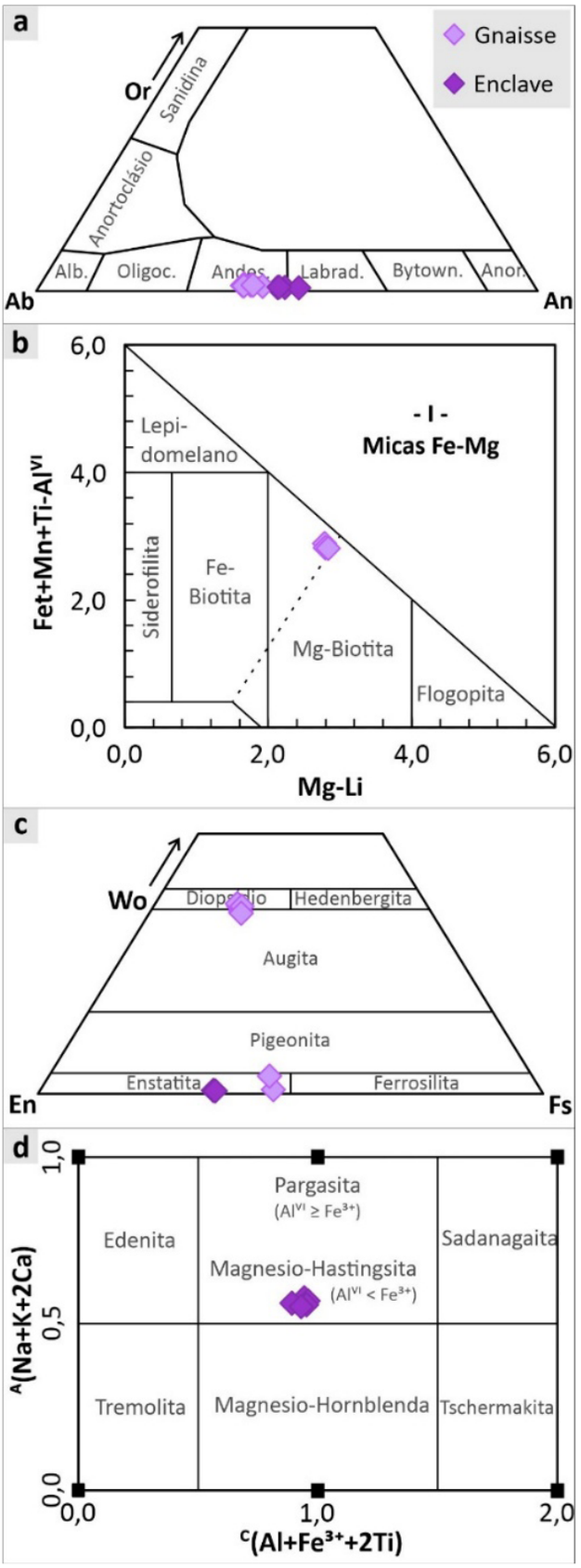


Figura 3 – (a) Diagrama ternário de classificação de feldspatos Or-Ab-An; (b) Diagrama de classificação de micas (quadrante das micas ferro-magnesianas) de Tischendorf *et al*. (1997); (c) Diagrama ternário para classificação de piroxênios Wo-En-Fs de Morimoto *et al*. (1988); (d) Diagrama de classificação de anfibólios cálcicos de Hawthorne *et al*. (2012).

CONCLUSÕES

O bt gnaisse quartzo jotunítico apresenta, em sua mineralogia, andesina, diopsídio, enstatita e Mg-biotita. Já o bt-opx-cpx anfibolito apresenta andesina, labradorita, enstatita e magnésio-hastingsita como parte de sua assembleia mineral principal. A partir dos cálculos geotermobarométricos e da petrografia, interpreta-se que essas rochas registram um metamorfismo de alto grau e baixa pressão. De modo que, no gnaisse, ocorre a cristalização de biotita metamórfica em cerca de 770°C, seguida da quebra do mineral para a formação de clinopiroxênio; e no anfibolito, a química de anfibólios e plagioclásios foi reequilibrada em condições aproximadas de 795°C e 3 kbar, e provavelmente em uma maior temperatura ocorreu a geração de orto- e clinopiroxênio metamórficos. Porém, as pressões obtidas foram inferiores às esperadas. O metamorfismo aqui identificado pode estar relacionado ao evento de cerca de 1,88 Ga, relacionado a processos colisionais (Santos *et al.*, 2009; Velasquez, 2015) ou ao evento K'Mudku de 1,49-1,15 Ga (Santos *et al.*, 2009).

Assim, considerando a faixa de ocorrência da SSP, são necessários mais dados de forma a ampliar os litotipos estudados para o melhor entendimento da evolução metamórfica da unidade.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Dr. Daniel Françoso de Godoy, Assistente de Suporte Acadêmico do Laboratório de Microssonda Eletrônica da Unesp, pelas análises de química mineral aqui utilizadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anderson, J. L., e Smith, D. R. (1995). The effects of temperature and f_{O2} on the Al-in-hornblende barometer. *American mineralogist*, *80*(5-6), 549-559.

Berrangé, J. P. (1977). Kanuku Complex. *In*: Berrangé, J. P. **The Geology of southern Guyana, South America**. Londres, Cap. 3. p. 8-26. (Overseas Mem. Inst. Geol. Sci. No. 4.).

Fraga, L. M. B. (2002). A associação anortosito-mangerito-granito rapakivi (AMG) do Cinturão Guiana Central, Roraima, e suas encaixantes paleoproterozoicas: evolução estrutural, geocronologia e petrologia (Tese de Doutorado). Universidade Federal do Pará, Belém, 351 p.

Fraga, L. M., Cordani, U., Dreher, A. M., Sato, K., Reis, N. J., Nadeau, S., De Roever, E., Kroonenber, S., e Maurer, V. C. (2024). Early Orosirian belts of the central Guiana Shield, northern Amazonian Craton: U-Pb geochronology and tectonic implications. *Precambrian Research*, *407*, 107362.

Gündüz, M., e Asan, K. (2023). MagMin_PT: An Excel-based mineral classification and geothermobarometry program for magmatic rocks. *Mineralogical Magazine*, 87(1), 1-9.

Hawthorne, F. C., Oberti, R., Harlow, G. E., Maresch, W. V., Martin, R. F., Schumacher, J. C., e Welch, M. D. (2012). Nomenclature of the amphibole supergroup. *American Mineralogist*, 97(11-12), 2031-2048.

Henry, D. J., Guidotti, C. V., e Thomson, J. A. (2005). The Ti-saturation surface for low-to-medium pressure metapelitic biotites: Implications for geothermometry and Ti-substitution mechanisms. *American Mineralogist*, 90(2-3), 316-328.

Holland, T., e Blundy, J. (1994). Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 116, 433-447.

Lindsley, D. H., e Andersen, D. J. (1983). A two-pyroxene thermometer. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, *88*(S02), A887-A906.

Morimoto, N., Fabries, J., Ferguson, A. K., Ginzburg, I. V., Ross, M., Seifert, F. A., Zussman, J., Aoki, K., e Gottardi, G. (1988). Nomenclature of pyroxenes. *Mineralogical Magazine*, 52(367), 535-550.

Santos, J. O. S., McNaughton, N. J., e Faria, M. S. G. (2009). Ortognaisse Mucajaí: uma complexa história evolutiva desvendada através de datações U-Pb em titanita e zircão. *Simpósio de Geologia da Amazônia*, *11*.

Tischendorf, G., Gottesmann, B., Förster, H. J., e Trumbull, R. B. (1997). On Li-bearing micas: estimating Li from electron microprobe analyses and an improved diagram for graphical representation. *Mineralogical Magazine*, 61(409), 809-834.

Velasquez, C. A. T. (2015). Análise das petrotramas das rochas charnockíticas da Serra da Prata, Mucajaí/RR (Dissertação de Mestrado) Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 202 p.

STRAIN EM WIBORGITO DO COMPLEXO MUCAJAÍ, RR

Anna Caroline Andrade Pinto[1], Larissa dos Santos Nascimento[1]; Carlos Alejandro Salazar[2]; Marta Edith Velásquez David[2] S, Pamela Pavanetto[2]

[1]Programa de pós-graduação em Geociências – Universidade Federal do Amazonas-UFAM; [2]Docente do programa de Pós-Graduação em Geociências, UFAM

annacandrade1504@gmail.com; larissasnascimento.lsn@gmail.com; csalazar@ufam.edu.br; edith@ufam.edu.br; pamela.pavanetto@ufam.edu.br

RESUMO

O sienogranito do complexo ígneo Mucajaí com textura inequigranular grossa, possui fenocristais de K-feldspato com borda de plagioclásio que cristalizaram com geometria ovoide, alinhados e com orientação preferencial de forma. Durante a cristalização, este granito registrou deformação interna plástica no seu limite SE e estruturação planar entendida como foliação de fluxo magmático. Este strain se desenvolveu na rocha na transição de estado submagmático para sólido, em alta temperatura, em regime transcorrente tensivo com cinemática dextral dominante. Interpreta-se que este strain foi registrado, temporalmente próximo à colocação do plúton, produto de fluxo magmático controlado por cisalhamento não coaxial, com vetor de estiramento orientado SW-NE. A estruturação planar resultante desta deformação plástica, possui atitude principal NS com alto mergulho para W. Este regime de cisalhamento influenciou localmente a ascensão (convecção) do magma e se manteve ativo até depois da total cristalização, gerando deformação de estado sólido discreta.

PALAVRAS-CHAVE: Wiborgito com fenocristais ovoides de K-feldspato, foliação de fluxo magmático, strain de regime transtensivo.

INTRODUÇÃO

O Complexo Ígneo AMG (anortosito, mangerito e granito rapakivi) Mucajaí agrupa diversos plútons que cristalizaram no intervalo entre 1525 à 1542 Ma, e afloram no centro do estado de Roraima (Heinonen *et al.,* 2012). Esta pesquisa aborda a evidências de deformação observadas no limite SE no sienogranito rapakivi (wiborgito) desse complexo. Para Fraga (2002) o granito rapakivi tem assinatura geoquímica de contexto tectônico anorogênico e sua colocação, não exibe evidências de controle estrutural. Para Santos *et al.* (2006) a faixa de cisalhamento K´Mudku se registrou na porção central de Roraima o (domínio Cinturão Guiana Central lito-estrutural) onde está inserida a suíte intrusiva Mucajaí (Reis *et al;* 2003), desenvolveu feições miloníticas nas rochas da região. A área a estudada se localiza no limite SE do sienogranito, ao sul da vila Rouxino (Figura 1). Esta pesquisa envolve análise geométrica e cinemática em 11 afloramentos, assim como petrográfica em amostra de mão e em lâmina; visando elaborar um modelo estrutural descritivo.

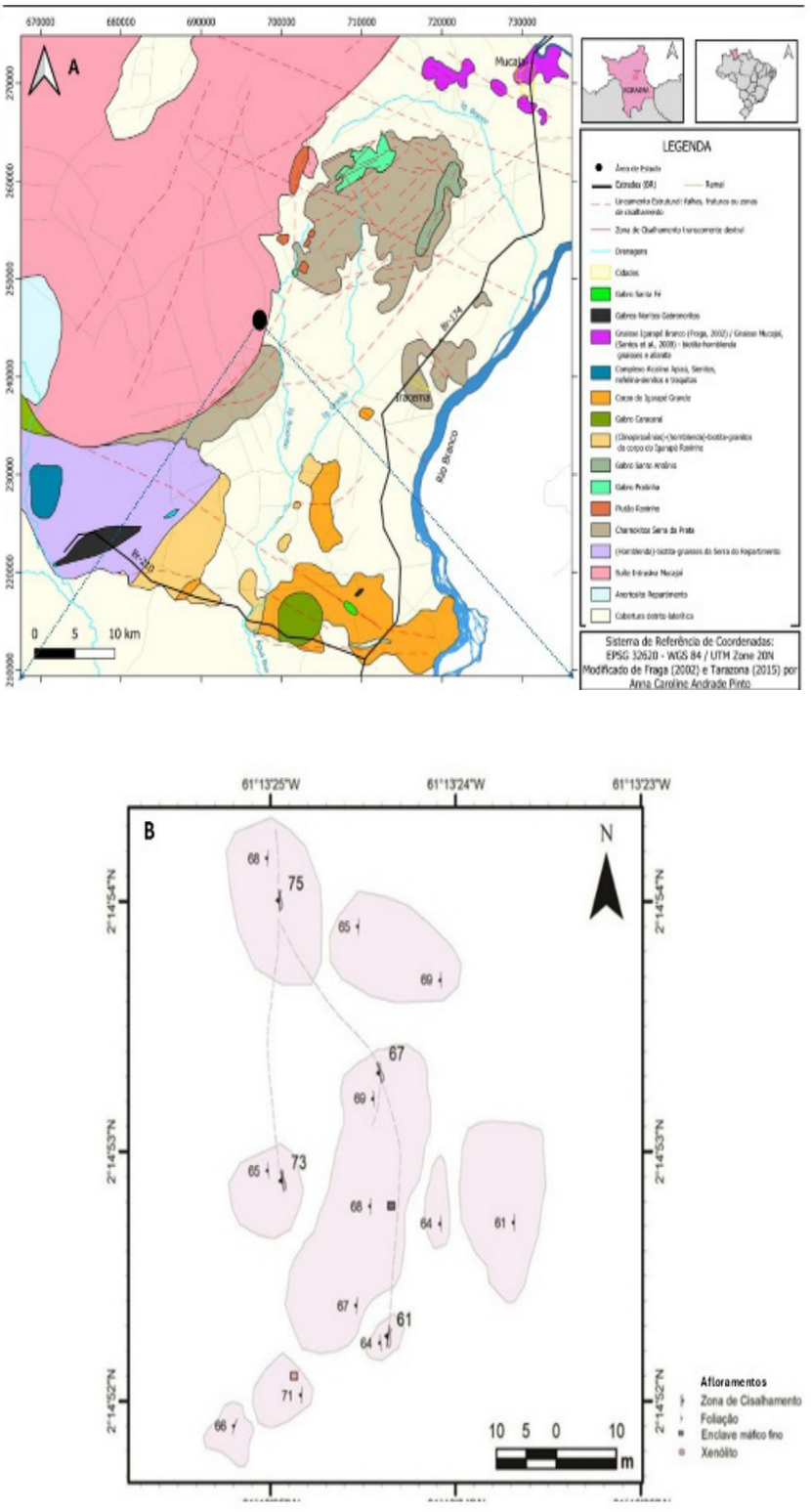


Figura 1. A) Localização da área de estudo, (adaptado de Fraga, 2002).
B) Mapa local de afloramentos e amostragem.

RESULTADOS E DISCUSSÔES

Em afloramento a rocha estuada é de cor cinza clara, exibe textura grossa inequigranular, com fenocristais isolados de K-feldspato com geometria ovoide, com eixos maiores alinhados variando de 1 a 3,5 cm e eixo menor de 0,5 a 1,5 cm (Figura 2A). Alguns destes fenocristais possuem zoneamento composicional e fina borda branca de plagioclásio. Eles contêm abundantes inclusões de biotita e de anfibólio. A classificação modal da rocha dominante corresponde a sienogranito com 27% quartzo, 38% K-feldspato, 11% de plagioclásio, e 24 % (hornblenda, biotita, magnetita, hematita, apatita, zircão e epidoto). Os cristais de K-feldspato estão dispersos em matriz de textura média constituída de cristais subhedrais a anhedrais de K-feldspato. Também contém cristais subedrais tabulares de plagioclásio, e agregados de anfibólio, de biotita, e de quartzo anhedral intersticial. Os cristais de K-feldspato exibem alinhamento do eixo maior. Agregados de minerais máficos alinhados, contribuem para marcar a estrutura planar pervasiva na rocha (Figuras 2A, B). No afloramento ocorre xenólito de paragnaisse de 15 cm por 30 cm, cor cinza claro, contendo quartzo e K-feldspato, de textura média. Possui foliação interna coerente com a orientação da foliação do granito. ocorre também enclave máfico de textura fina, elípitico de 10 cm por 4 cm, contendo antecristais ovoides de K-feldspato.

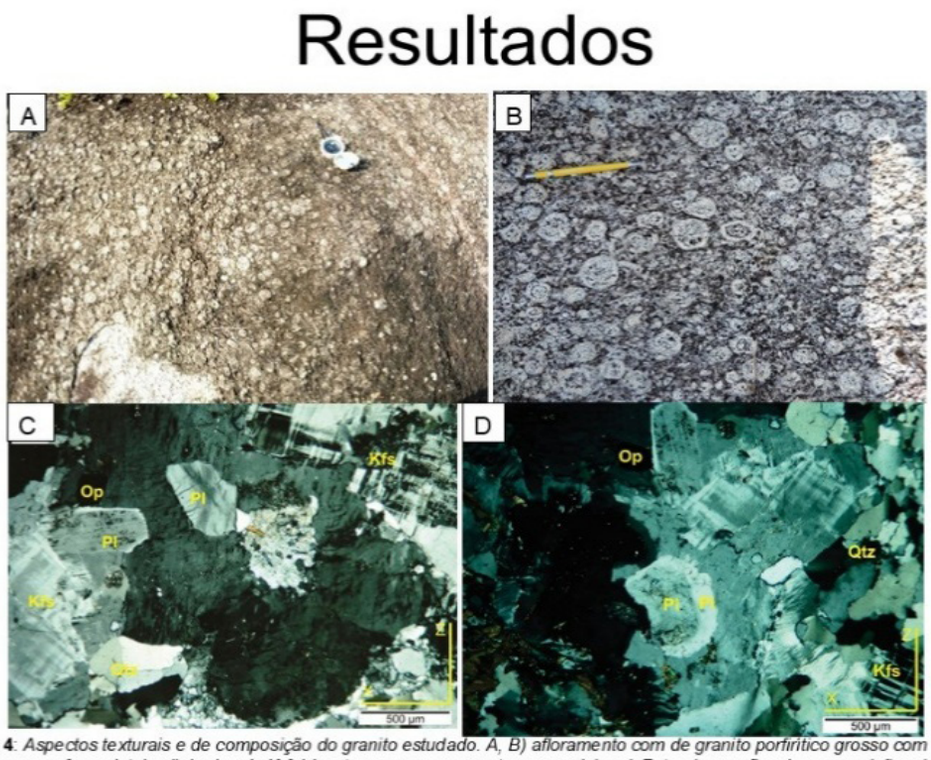


Figura 4: *Aspectos texturais e de composição do granito estudado. A, B) afloramento com de granito porfirítico grosso com destaque para fenocristais alinhados de K-feldspato e seu zoneamento composicional. Fotomicrografias da composição mineral dominante do granito: C) plagioclásio (Pl) anhedral com limites lobados, com inclusão de cristal de plagioclásio subhedral de magnetita (Op) e de mirmekita. Quatzo (Qtz) intersticial. D). K-feldspato (Kfs) com macla em tartan, rims de albita e limites ameboides, hornblenda (Hb) anhedral*

Figura 2. Texturas do sienogranito. *A, B) granito grosso com fenocristais ovoides alinhados de K-feldspato com zoneamento composicional. C) plagioclásio (Pl) anhedral com limites lobados, com inclusão de cristal de plagioclásio subhedral de magnetita (Op) e de mirmekita. Quatzo (Qtz) intersticial. D). K-feldspato (Kfs) com macla em tartan, rims de albita e limites ameboides, hornblenda (Hb) anhedral*

No processo de cristalização do plúton estudado algumas texturais são representativas desse processo primário, dentre as observadas se incluem: I) zoneamento composicional em cristais de feldspato resultado de substituição iônica dentro de uma solução sólida, quando influenciada por variação na velocidade de resfriamento. A mudanças de pressão, do conteúdo e composição, assim como da migração do fundido dentro do sistema magmático (Vernon, 1986; Vigneresse & Tikoff, 1999; Paterson *et al.* 2005; Vernon & Paterson, 2008).

Núcleo de cristais de plagioclásio com geminação polissintética, exibem alteração para sericita, essa alteração está ausente na borda do cristal, provavelmente relacionada a fracionamento (Figuras 3ª-F). II) **Crescimento em equilíbrio** entre cristais são indicadas por cristais de diferentes espécies minerais e da mesma fase mineral, que se desenvolvem com tamanhos próximos, isto induz redução de facetas nos cristais junções tríplices, e limites com baixa curvatura (Vernon 2004; Holnes *et al*., 2018). No granito estudado limites retos a levemente curvos, e terminações em junções tríplices são observadas entre cristais de hornblenda - plagioclásio, e entre cristais de plagioclásio. III) **Relações de inclusão** entre cristais da mesma ou diferente espécie mineral, são indicadoras de ordem de cristalização, ou de diferentes velocidades de crescimento de minerais (Vernon, 2004; Holnes *et al.,* 2018; Paterson *et al.,* 2018). Cristais subhedrais de hornblenda e de plagioclásio estão inclusos em fenocristais de plagioclásio com geminação polissintética (Figuras 3ª-F). Cristais finos euhedrais de plagioclásio aparecem inclusos em fenocristais de K-feldspato cujos limites exibem incipiente textura mirmekita (Figura 3A). Inclusões minerais podem resultar de maior velocidade de crescimento das espécies minerais hospedeiras (fenocristais) por relação ao mineral incluso, assim este último desenvolverá hábito euhedral a subhedral (Vernon 2004, Vernon & Paterson 2008). IV) **Fenocristais ovoides de K-feldspato** manteados se desenvolvem mais rápido e/ou antes que sua borda de plagioclásio (Vernon, 2004; Vernon & Paterson, 2008; Jonhson *et al,* 2006a,).

No Caso estudado esses fenocristais, apresentam borda de plagioclásio, exibem leve extinção ondulante, forma circular no limite externo, e o cristal de plagioclásio de borda se adapta à forma do limite interno do cristal de K-feldspato (Figuras 3E, F). O cristal de plagioclásio de borda, exibe variação de espessura, essa variação pode ter sido induzida por interação com outros cristais. Para Jonhson *et al*; (2006b), Vernon, (2004), Paterson *et al;* (2005), e Vernon (2016) fenocristais de K-feldspato em granitos, crescem antes do desenvolvimento da matriz em temperaturas *subsolidus* (Figura 3F).

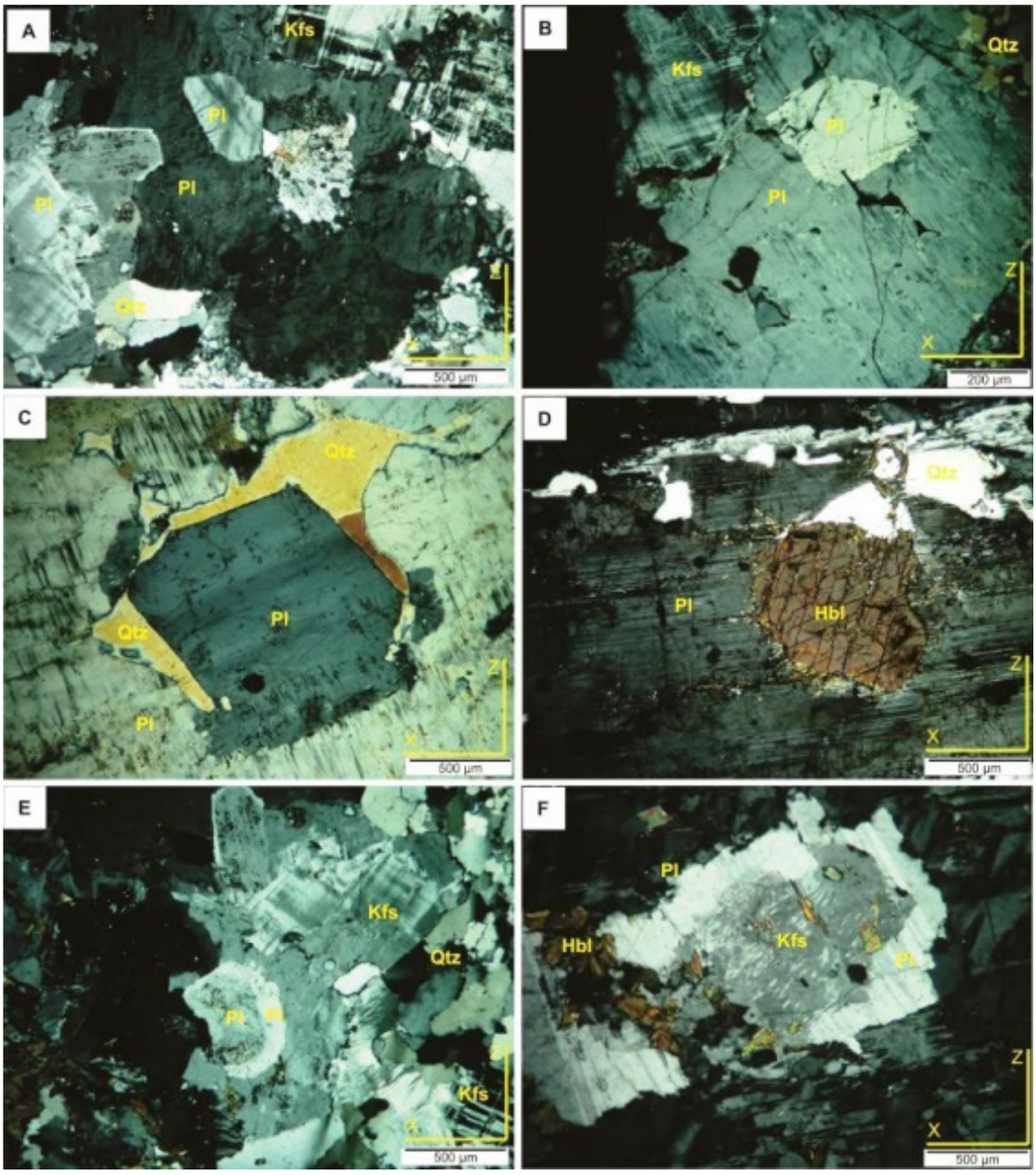


Figura 3. Microtexturas ígneas. *A, B) inclusão de cristal subhedral de plagioclásio (Pl) em fenocristal de plagioclásio em contato com K-feldspato geração de mirmekita (GR9). C) antecristal de Plagioclásio euedral incluso em K-feldspato, quartzo intersticial tardio. D) Inclusão de hornblenda (Hbl) em feldspato com intercrescimento granofirico de quartzo. E) cristal de plagioclásio com borda de albita parcialmente desenvolvida (GR9). F) cristal de K-feldspato (Kfs) com pertitas em chama e borda de plagioclásio (Pl) com geminação mecânica, fenocristal seccionado por cisalhamento plástico e intercrescimento da matriz, sugestivo de fluxo magmático com crescimento simultâneo de cristais de hornblenda, plagioclásio e biotita.*

V) Rotação e alinhamento de cristais. Em granitos, algumas texturas se relacionam com fluxo magmático, e registro de interações entre fase fundida e cristais (Vigneresse & Tikoff 1999). Para Vernon (2016) Borda de plagioclásio em megacristais de K-feldspato pode ser explicado por despressurização junto com a mistura em câmara de magma ácido que recebe pulso magmático mais básico. Cristais de K-feldspato são marcadores ativos de fluxo magmático, se alinham segundo o cisalhamento (figura 6F), similares evidências são reportadas por (Vigneresse & Tikoff 1999; Vernon & Paterson,

2008, Jonhson *et al*., 2006b). Evidências de fluxo magmático na textura da rocha, incluem: Alinhamento de fenocristais de K-feldspato. Fenocristais de K-feldspato ovoides com eixos alinhados formando ângulo agudo por relação cisalha lineação de estiramento (Figura 3F). Cristal de K-feldspato com borda de plagioclásio desenvolveu geminação mecânica, associada a migração de limite e fratura intracristalina. Crescimento de cristais finos de hornblenda e biotita ao interior de fraturas. A geminação mecânica e a fratura intracristalina, são paralelas, e perfazem ângulo próximo de 90◦ com a lineação de estiramento (Figura 3F). Quartzo anhedral ocorre: intersticial na matriz, marcando limites de inclusões em fenocristais (Figuras 3C, D). Ocupando fraturas internas em fenocristais de K-feldspato.

Estruturas

O granito possui foliação bem definida pelo alinhamento de fenocristais ovoides isolados de K-feldspato. Essa foliação também é bem-marcada pelo alinhamento de cristais de plagioclásio e pelos minerais máficos que compõem a matriz de textura média. Ocorre xenólito de com dimensões de 15 cm x 30 cm, de composição granítica, bandado, com geometria elíptica e limites semicurvos a angulosos, alinhado com os fenocristais do granito. Devido à textura grosso inequigranular da rocha, a foliação se propaga sinuosa o que explica a variação na de sua orientação de 165°/ 57° a 186°/78° (figuras 4). A lineação mineral possui valores de baixo *mergulho* variando entre 40º e 55º, caindo principalmente para 226°, e subordinadamente para 340°. A rotação dos megacristais ovoides de K-feldspato mostra-se dextral, sugerindo condições de regime transpressivo para o fluxo magmático sob o qual se gerou essa textura.

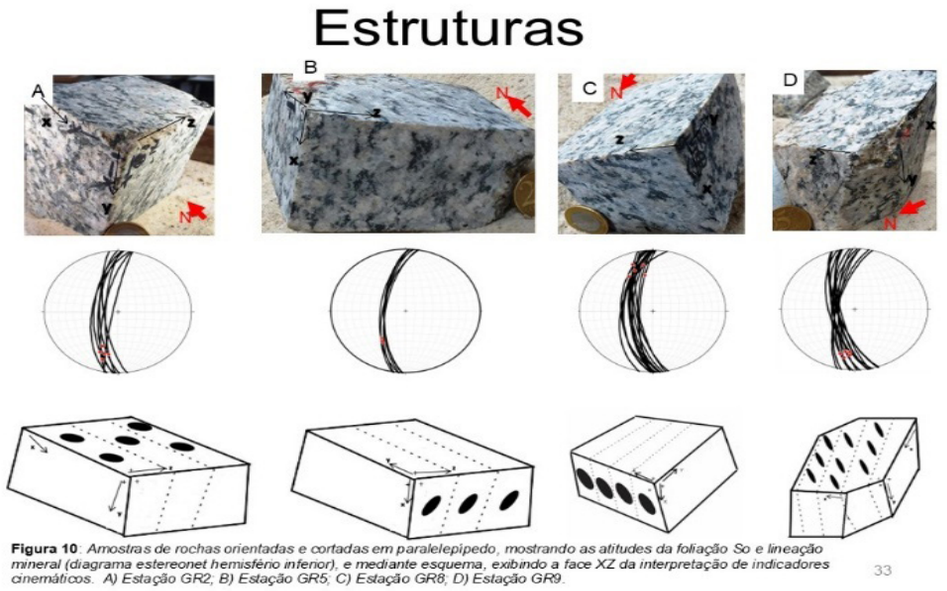


Figura 4. Análise geométrica e cinemática da foliação So e lineação mineral (pontos em vermelho).

Cristais de plagioclásio possuem: i) geminação mecânica e extinção ondulante. Ii) migração de limites (GBM) entre cristais da mesma fase mineral. Iii) orientação preferencial de forma definida por cristais de prismáticos com limites retos entre sí (figuras 5A, B). Cristais de K-feldspato mostram: i) exsolução pertitíca em chama paralela ao eixo

maior dos cristais. Ii) migração de limites com cristais de plagioclásio (figuras 5 A, b). iii) extinção ondulante, e geminação em tartan. (figuras 5C, D). Trata-se de mecanismos de strain registrados por deformação plástica de feldspatos, em condições de alta temperatura (Passchier & Trouw, 2005). Em agregados de cristais de plagioclásio e de hornblenda se observa: i) estiramento *subparalel* ao deslizamento planar intracristalino. Ii) limites semicurvos a retos entre fases minerais. Iii) orientação preferencial de forma marcada pelo eixo maior dos agregados. Iv) Intercrescimento de plagioclásio em megacristais de K-feldspato e hornblenda intersticial (figuras 5E, F). O quartzo aparece intersticial, sem evidências de extinção ondulante e de estriamento.

Outra estrutura observada em afloramento, consiste em zona de cisalhamento (ZC). Esta ZC apresenta continuidade sinuosa, ocorre na forma de faixas estreitas, variando de 1 até 4cm de largura e mostra deformação variável, mais intensa no centro. A atitude desta estrutura foi medida em 4 afloramentos, ela varia de 165º/64ºa 186º/78º. Destaca-se o paralelismo das atitudes da foliação S_0 e da zona de cisalhamento. Em lâmina o cisalhamento ocorre na forma de faixas com continuidade sinuosa, espessura média entre 400 µm e 2 mm, as vezes intracristalinas. No interior das faixas de deformação, os cristais foram estirados. Apresentam extinção ondulante acentuada, redução de tamanho de alguns cristais de feldspatos e de hornblenda, e estiramento de biotita.

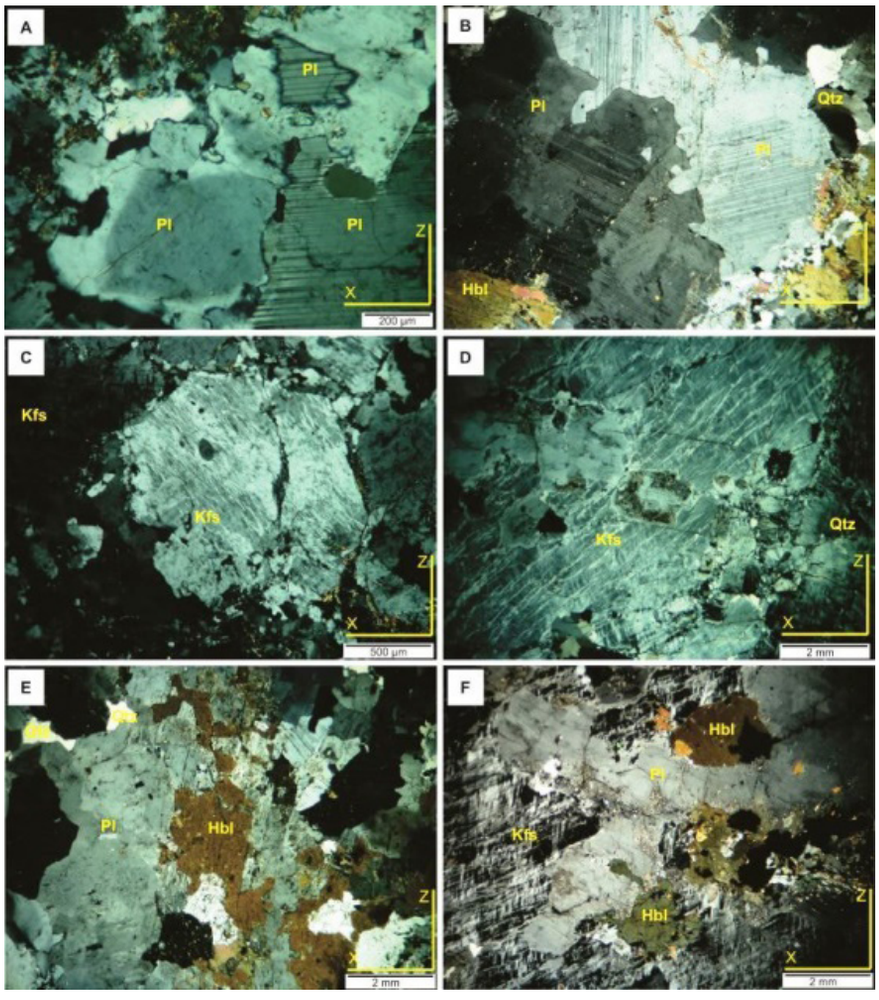


Figura 5. Mecanismos de strain plástica. A, B migração de limites entre cristais e feldspatos com orientação preferencial de forma. C, D) pertitas, E, F) intercrescimento cristalino de fases minerais distintas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

i) O sienogranito no afloramento estudado apresenta duas deformações bem características, uma plástica submagmática (ainda preservada) e uma plástica de estado solido dominante:

ii) A deformação plástica está relacionada ao registro da foliação S_0 marcada pela orientação preferencial de fenocristais ovoides de K-feldspato e de minerais máficos da matriz, assim como pela ocorrência de limites em cúspide em hornblenda e feldspatos. Desenvolvem-se nessa fase, cristais de feldspato manteados alinhados. Durante essa deformação ocorreu também o alinhamento cristalino e a orientação preferencial de cristais de diferentes fases minerais (K-feldspato, hornblenda, plagioclásio).

A deformação plástica, desenvolvida em estado sólido, foi produto de cisalhamento não coaxial, com strain caracterizado pelo deslizamento planar, migração de limite de cristais (GBM), formação de pertita em chama em K-feldspato; geminação mecânica em plagioclásio. Pertitas e geminação mecânica se observam paralelas ao desenvolvimento de fraturas intracristalinas, que por sua vez são normais ao eixo X do cisalhamento.

O registro desses mecanismos de strain se interpretam como relacionados à cristalização do granito rapakivi, e ainda continuaram se desenvolvendo durante o estado solido. Similares evidencias são reportadas por Paterson *et al*. (1998); Vernon & Paterson, (2008); Paterson *et al*. (2018), Holness *et al*. (2018). Considerando a história da deformação do granito estudado (Heinonen *et al* 2012), sugere-se que esse strain tenha sido gerado antes da instalação da faixa de cisalhamento K'Mudku (Santos *et al*., 2008). Este estudo conclui que a foliação So foi gerada por fluxo magmático.

Esta pesquisa teve fomento da FAPEAM (Projeto Posgrad 2024-2025), Programa de redução de assimetrias da Pós-Graduação CAPES, PRAPG. Edital 014/2203. Programa de Pós-Graduação em Geociências da UFAM

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bouchez J.L, Delas C, Gleizes G, Nédélec A, Cuney M. 1992. Submagmatic microfractures in granites. Geology, vol. 20 (1): 35-38.

Bouchez, J.L., Gleizes, G., Djouadi, M.T., Rochette, P. 1990. Microstructure and magnetic susceptibility applied to emplacement kinematics of granites: the example of the Foix pluton (French Pyrenees). Tectonophysics, vol. 184: 157 - 171.

Fraga, L.M.; 2002. A Associação Anortosito – Mangerito – Granito Rapakivi (AMG) do Cinturão Guiana Central e suas Encaixantes Paleoproterozóicas: Evolução Estrutural, Geocronologia e Petrologia. 353p. Tese (Doutorado em Geociências), Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil.

Heinonen Ap., Fraga Lm., Ramô Ot., Mantari I., Andersen T. 2012. Petrogenesis of the igneous Mucajaí AMG complex, northern Amazonian craton — Geochemical, U–Pb geochronological, and Nd–Hf–O isotopic constraints. Lithos. Vol. 151: 17–34p.

Holness, M. B., Clemens, J. D., & Vernon, R. H. 2018. How deceptive are microstructures in granitic rocks? Answers from integrated physical theory, phase equilibrium, and direct observations. Contributions to Mineralogy and Petrology, vol. 173(8), 62.

Fraga, L.M.B., Dall'agnol, R., Costa, J.B.S., Macambira, M.J.B., 2009a. The Mesoproterozoic Mucajaí anorthosite–mangerite–rapakivi granite complex, Amazonian craton, Brazil. The Canadian Mineralogist, vol. 47: 1469–1492.

Fraga Lm., Macambira Mjb., Dall'agnol R., Sena Costa. 2009b. 1.94–1.93 Ga charnockitic magmatism from the central part of the Guyana Shield, Roraima, Brazil: Single-zircon evaporation data and tectonic implications JB. Journal of South American Earth Sciences, Vol. 27: 247–257.

JOHNSON, B.R., GLAZNER, A.F., Coleman, D.S., 2006a. Significance of K-feldspar megacryst size and distribution the Tuolumne Intrusive Suite, California. Geological Society of America, Abstracts with Programs 38, 93.

JOHNSON, B.R., GLAZNER, A.F., COLEMAN, D.S., 2006b. Potassium feldspar megacrysts in granites: passive markers of magma dynamics or products of textural coarsening? EOS Transactions of the American Geophysical Union, vol. 87 (52): V51B–1670.

Passchier, C.W, Trowu, R.Aj,. 2005. Microtectonics. Springer, 366p.

Paterson, S.R.; Vernon, R.H.; Tobisch, O. T. 1989. A review of criteria for the identification of magmatic and tectonic foliations in granitoids. J. Struct. Geol., vol. 11: 349-363.

Paterson, S.R., Vernon, R.H., Zák, J., 2005. Mechanical instabilities and accumulations of K-feldspar megacrysts in granitic magma, Tuolumne Batholith, California, USA. In: Köhn, D. (Ed.), General Contributions 2005. Journal of the Virtual Explorer, Electronic Edition 18, Paper 1: 1441-8142.

Paterson, S. R., Ardill, K., Vernon, R., Žák, J. 2018. A review of mesoscopic magmatic structures and their potential for evaluating the hypersolidus evolution of intrusive complexes. Journal of Structural Geology, vol. 123: 134–147

Reis, et. al.; 2003. Geologia do Estado de Roraima, Brasil. Géologie de la France, n° 2-3-4, 2003 - geology of France and surrounding areas, n° 2: 3-4.

Santos, J.O.S., Hartmann, L.A., Faria, M.S.G., Riker, S.R., Souza, M.M., Almeida, M.E., Mcnaughton, N.J. 2006. A compartimentação do Cráton Amazonas em províncias: avanços ocorridos no período 2000-2006. In: SBG-NO, IX Simp. Geol. Amaz., Belém, CD-ROM

Santos, J.O.S., Hartmann, L.A., Faria, M.S.G.D.E, Riker, S.Rl.; Souza, M.M. De; Santos, J.O.S., Rizzotto, G.J., Potter, P.E., Mcnaughton, N.J., Matos, R.S., Hartmann, L.A., Chemalejr.F, & Quadros, M.E.S. 2008. Age and autochthonous evolution of the Sunsás Orogen in West Amazon Craton based on mapping and U–Pb geochronology. Precambrian Research, Vol. 165: 120-152.

Vernon RH. 1986.) K-feldspar megacrysts in granites; phenocrysts, not porphyroblasts. Earth Science Review, vol. 23(1):1–63

Vernon, R.H. 2004. A Practical Guide to Rock Microstructure. Cambridge Univesity Press. 650.

Vernon Rh, Paterson SR. 2008. How late are K-feldspar megacrysts in granites? Lithos, Vol. 104(1–4):327–336

VERNON R. Rapakivi granite problems: plagioclase mantles and ovoid megacrysts. Australian Journal of Earth Sciences, 2016 vol. 63, No. 6, 675–700 doi.org/10.1080/08120099.2016.1241953.

Vigneresse, J. L., Tikoff B. 1999. Strain partitioning during partial melting and crystallizing felsic magmas, Tectonophysics, vol. 312(2–4): 117–132,

CARACTERIZAÇÃO DOS MIGMATITOS DO CINTURÃO RIO URUBU, RORAIMA CENTRAL: ANÁLISE DE CAMPO E MICROESTRUTURAL

Juliana Araújo do Nascimento[1]; Mayara Fraeda Barbosa Teixeira[1]; Pamela Pavanetto[1]; Tiago Felipe Arruda Maia[1]; Ivaldo Rodrigues Da Trindade[1]; Victor Cassiano Barbosa1; Rielva Solimairy Campelo do Nascimento[1]; Antônio Charles da Silva Oliveira[2]

[1]Universidade Federal do Amazonas; [2]Serviço Geológico do Brasil

(julianaaraujodonascimento95@gmail.com; mayarafraeda@ufam.edu.br; pamela.pvananetto@ufam.edu.br; tiagotmaia@ufam.edu.br; ivaldo@ufam.edu.br; victor.cassiano@ufam.edu.br; rielva@ufam.edu.br; charles.oliveira@sgb.gov.br)

RESUMO

Este trabalho apresenta a caracterização de metatexitos e diatexitos aflorantes ao longo da BR-432 (Cantá–Vila Novo Paraíso/RR), no Cinturão Rio Urubu. A pesquisa foi conduzida por meio de estudos de campo, análises petrográficas e microestruturais, com o objetivo de compreender os processos de anatexia e deformação que afetaram essas rochas. Foram identificadas estruturas como dobras sin- e pré-anatéticas, leucossomas boudinados, enclaves do tipo *schollen* e bandas C', associadas à atuação de zonas de cisalhamento NE–SW e até E-W. Os dados indicam a ocorrência de pelo menos dois estágios de migmatização (pré- e sin-cisalhamento) sob fácies anfibolito superior a granulito. As evidências estruturais e texturais permitem associar o evento deformacional principal à Orogenia K'Mudku, com possíveis reativações posteriores. Apesar dos avanços, o estudo ainda requer análises químico-mineralógicas e geotermobarométricas para refinar a evolução tectono-metamórfica da região.

PALAVRAS-CHAVE: Cinturão Rio Urubu; Migmatitos; Metatexitos; Diatexitos; Deformação.

INTRODUÇÃO

O Cinturão Rio Urubu (CRU), junto aos cinturões Cauarane-Coeroeni (CC) e Orocaima (CO), constitui uma importante feição geotectônica do Escudo das Guianas, no Cráton Amazônico (Fraga *et al*., 2024). O CRU, com orientação NE–SW, estende-se do norte do Brasil ao sul da Guiana, e é composto por ortognaisses, metagranitoides, granulitos, gnaisses charnockíticos e migmatitos, com idades entre 1,96 e 1,92 Ga (Fraga *et al.,* 2024).

Segundo Fraga & Cordani (2019), e Fraga *et al*., (2024) a evolução dos domínios orosirianos do Escudo está ligada à Orogenia Akawai, com granitóides e gnaisses (2,04–2,03 Ga) associados à formação de arcos magmáticos, e as rochas supracrustais do CC

refletindo o fechamento de oceanos estreitos por volta de 2,02 Ga na fase colisional. O CO representa o magmatismo pós-colisional, enquanto o CRU se desenvolveu em ambiente transpressional também pós-colisional, ambos marcando a fase final do Ciclo Transamazônico (Fraga & Cordani, 2019).

Neste contexto, este trabalho visa caracterizar as rochas migmatíticas do CRU ao longo da BR-432 (Cantá–Vila Novo Paraíso/RR) (Fig. 1) por meio de análises de campo, petrográficas e microestruturais, buscando aprofundar o entendimento dos processos de anatexia e das condições tectono-metamórficas associadas ao cinturão.

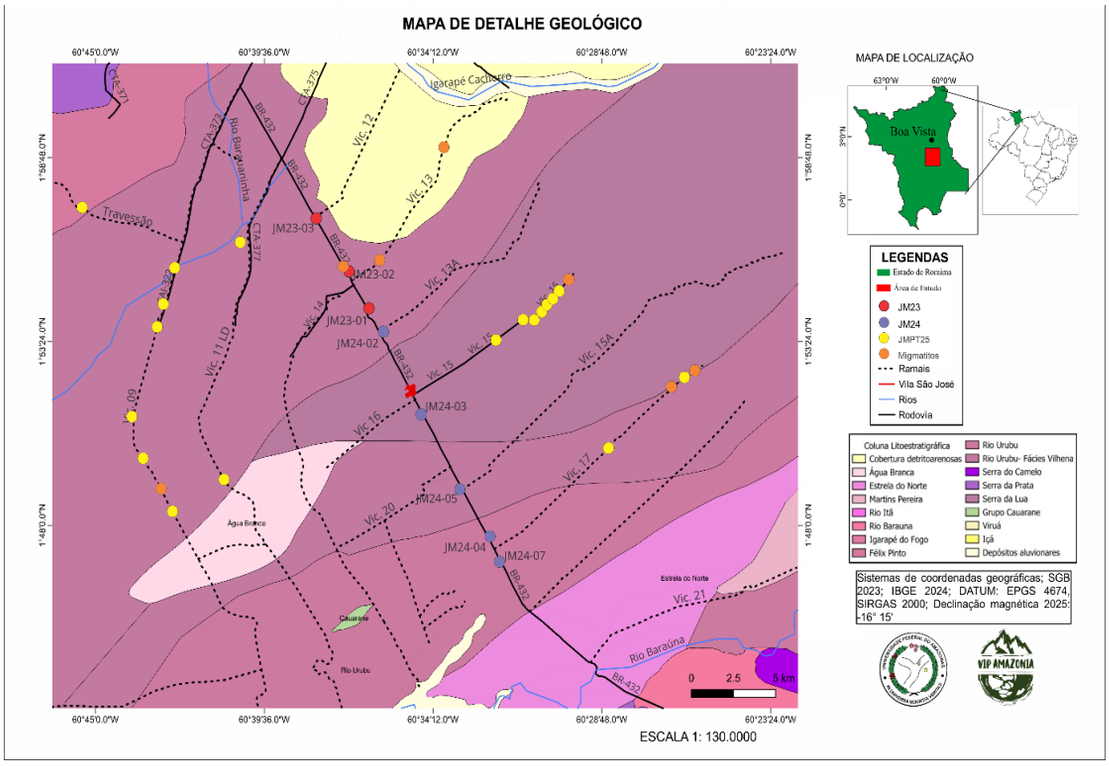


Figura 1 - Mapa geológico simplificado da área de estudo, com destaque para os afloramentos analisados. As estrelas pretas indicam a localização dos migmatitos amostrado.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido em quatro etapas principais: **(i) Levantamento Bibliográfico**, com pesquisa detalhada sobre a geologia do Domínio Guiana Central e, em especial, do Cinturão Rio Urubu, utilizando artigos, teses, dissertações e relatórios técnicos; **(ii) Mapeamento Geológico**, realizado em três etapas de campo ao longo da BR-432 (Fig.1), com descrição geomorfológica, litológica e estrutural, identificação de contatos entre unidades, caracterização da migmatização, além da coleta sistemática de 43 amostras em diferentes afloramentos; **(iii) Petrografia**, a partir da confecção de mais de 50 lâminas delgadas, das quais 17 foram até o momento descritas com foco na caracterização de microestruturas; e **(iv) Integração dos Dados,** com interpretação conjunta conjunta dos dados de campo e microscopia.

RESULTADOS

Geologia Local

A área de estudo é formada por gnaisses migmatíticos afetados por zonas de cisalhamento. Foram identificadas cinco principais fácies: Gnaisse tonalitico metatexitico, Augen gnaisse granodioritico metatexitico, Gnaisse granodioritico metatexitico, Gnaisse sienogranitico metatexitico a diatexitico, Gnaisse monzogranitico metatexitico. Essas rochas variam de cinza a rosado, possuem granulação média a grossa e foliação bem desenvolvida, com porfiroclastos de plagioclásio e K-feldspato (2 a 8 cm), e textura augen bem característica da fácies Augen gnaisse granodioritico. São comuns xenólitos de tonalito, bolsões pegmatíticos, veios leucograníticos e estruturas de cisalhamento S-C, associadas a zonas dúcteis NE-SW, e localmente E-W. As dobras observadas incluem estruturas sin- e pré-anatéticas, com veios de leucossoma cortando ou acompanhando os bandamentos, e melanossomas nas bordas. Os diatexitos milonitizados apresentam estruturas nebuliticas, enclaves arredondados e schollen.

Aspectos macroestruturais

Gnaisse tonalítico metatexitico

Aflora em lajedos *in situ* com feições típicas de metatexito estromático (Fig. 2a), marcadas por bandamento entre resíduo tonalítico mesocrático e leucossomas graníticos, estruturando uma foliação penetrativa. O residuo apresenta granulação média a grossa, com plagioclásio, quartzo, K-feldspato e biotita; feldspatos também ocorrem como porfiroclastos. O leucossoma é quartzo-feldspático, com piroxênios e anfibólios peritéticos, disposto em veios, bolsões e lentes centimétricas, geralmente dobradas sin--anateticas. Blocos angulosos de mesossoma são cortados por uma rede de leucossomas discordantes (agmatitos) (Fig. 2b). Veios de quartzo milimétricos a centimétricos cortam ou acompanham a foliação. O melanossoma, composto por biotita e anfibólio, bordeja os leucossomas. Estruturas dobradas, schollen e boudinagem são comuns.

Augen gnaisse granodioritico metatexitico

Metatexito com bandamento parcialmente obliterado pelo cisalhamento, caracterizado por grandes porfiroclastos (3–6 cm) de plagioclásio e K-feldspato em textura augen, representando cerca de 30% do volume, imersos em matriz quartzo-feldspática fina, que corresponde a aproximadamente 70% da rocha. A foliação milonítica é marcada por níveis máficos ricos em biotita. Leucossomas finos com biotita peritética e bordas melanocráticas são comuns, além de diques leucocráticos centimétricos de múltiplas gerações (Fig. 2c). Diques e enclaves de anfibolito com contatos variados também ocorrem, sugerindo interação entre protólitos em estágio magmático, anterior ao metamorfismo.

Gnaisse granodioritico metatexitico

Metatexito estromático com bandamento entre leucossomas graníticos e resíduo granodiorítico a monzogranítico, de granulação fina a média. Textura granoblástica predominante, com porfiroclastos de plagioclásio (1–2 cm), por vezes boudinados (Fig. 2d). Dobras ptigmáticas, bandas S-C/C' (Fig. 2e), veios, porfiroclastos sigmoides e vergências estruturais variadas são frequentes. Leucossomas dobrados ocorrem em veios/dique milimétricos a centimétricos, ricos em biotita e anfibólio, com bordas melanocráticas marcadas (Fig. 2f). Enclaves máficos, organizados em *schollen*, são comuns. Veios de quartzo ocorrem em duas gerações: pré- e sin-cisalhamento, com quartzo em textura *ribbon*.

Gnaisse sienogranitico diatexitico

Rocha rosada, de granulação média e textura predominantemente granular, com foliação milonítica bem desenvolvida (132°/82° NE), marcada por níveis máficos e bandas de quartzo e feldspato deformadas. Mineralogia dominada por K-feldspato, quartzo, plagioclásio e biotita. Xenólitos de gnaisse tonalítico e enclaves máficos parcialmente digeridos indicam fusão significativa (fácies diatexítica). Estrutura nebulítica com leucossoma e melanossoma pouco definidos (Fig. 2g). Bolsões pegmatíticos, veios graníticos e bandas C' ocorrem junto a dobras assimétricas, crenulações, *boudins*, *schollen*, *schlieren* e porfiroclastos sigmoidais de K-feldspato (Fig. 2h). Em zonas de alta deformação, há fitas dobradas de quartzo e feldspato, compatíveis com deformação sin-migmatítica.

Gnaisse monzogranitico metatexitico

Metatexito estromático com dobras sinformes e antiformes definidas por veios de leucossoma granítico, ricos em biotita e anfibólio peritéticos. O leucossoma aparece em bandas contínuas e veios milimétricos a centimétricos, com dobramento sin-anatético. Essas bandas podem estar falhadas por cisalhamento tardio (Fig. 2i). Diques leucocráticos (Fig. 2i). O melanossoma bordejante varia em espessura e textura (Fig. 2i). O resíduo monzogranítico a granodiorítico tem granulação fina a média, com ~10% de minerais máficos e textura granoblástica. A foliação (N178/65°) é fortemente deformada e marcada por zonas de cisalhamento penetrativas.

Caracterização microscópica

Em escala microscópica, os gnaisses metatexíticos dos domínios de baixo strain exibem texturas granoblásticas e lepidoblásticas, com foliação bem desenvolvida. Nos domínios de alto strain, destacam-se feições de deformação como ribbons de quartzo, rotação de grãos, migração de limites de grão, mesopertitas, antipertitas e hornblenda fish. O resíduo apresenta textura granoblástica orientada e feições de fusão in situ. As evidências indicam milonitização em zonas de cisalhamento NE–SW sob condições

de baixa (250°–500 °C) a alta temperatura (500°–700 °C), conforme Passchier e Trouw (2005), com protólitos ígneos sin-cinemáticos. A presença de anfibólio e titanita peritéticos sugere migmatização com influxo de água, atingindo temperaturas de 650°–700 °C.

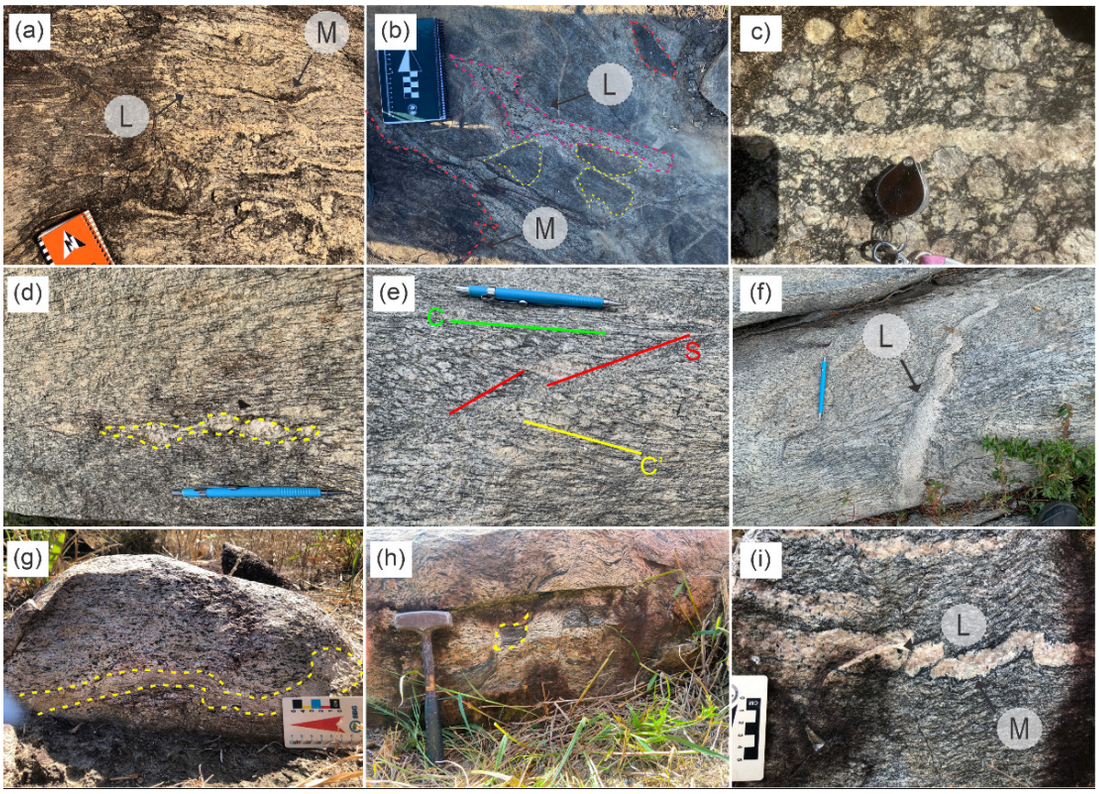


Figura 2 - Aspectos macroscópicos dos gnaisses migmatíticos do CRU. (a) Bandamento estromático em gnaisse tonalítico metatexítico; (b) Estrutura agmatítica com blocos angulosos de mesossoma; (c) Augen gnaisse com porfiroclastos de feldspato e diques leucocrático; **(d)** Gnaisse granodiorítico com porfiroclastos boudinados; **(e)** Bandas S-C/C' em zona de cisalhamento; **(f)** Diques dobrados de leucossoma com bordas melanocráticas e minerais periteticos; **(g)** Estrutura nebulítica no gnaisse sienogranitico diatexítico; **(h)** Schollen marcados em amarelo e schlieren marcados de branco; **(i)** Gnaisse monzogranítico com leucossoma dobrado e falhado formando diques leucocráticos.

DISCUSSÕES

Os ortognaisses metatexíticos e diatexíticos da porção central do Cinturão Rio Urubu registram múltiplos episódios de fusão parcial e deformação dúctil, associados a zonas de cisalhamento com orientação predominante NE–SW, e subordinadamente E–W. A migmatização ocorreu, ao menos, em dois estágios distintos: (1) um estágio pré-cisalhamento, marcado por estrutura estromática bem desenvolvida e leucossomas cortados pela zona de cisalhamento principal e por veios de quartzo tardios; e (2) um estágio sin-cisalhamento, caracterizado por migmatitos com baixa taxa de fusão parcial, ausência de bandamento definido, leucossomas dobrados ou boudinados, com bordas melanocráticas, indicando deformação sin-anatética (Sawyer, 2008). Domínios milonitizados com bandas C', porfiroclastos sigmoidais e ribbons de quartzo evidenciam um segundo evento deformacional. As estruturas e microtexturas analisadas sugerem ao menos dois episódios metamórficos de alto grau, relacionados à recristalização anatéti-

ca sob fácies anfibolito alto a granulito. Essa interpretação contrasta parcialmente com Fraga (2024), que descreve para o CRU, uma fase D2 de metamorfismo, em condições mais baixas (400–450 °C), associada ao Episódio K'Mudku. No entanto, os dados discutidos neste trabalho sugerem que o K'Mudku pode ter se desenvolvido sob temperaturas mais elevadas do que as assumidas, o que abre espaço para uma reavaliação das condições metamórficas desse evento.

CONCLUSÕES

A partir das análises de campo, petrográficas e microestruturais realizadas, foi possível identificar e caracterizar diferentes fácies migmatíticas associadas ao Cinturão Rio Urubu, distinguindo metatexitos e diatexitos com base em suas estruturas, texturas e mineralogia. Essa caracterização permitiu reconhecer evidências claras de anatexia e múltiplos episódios de deformação dúctil.

Os dados obtidos sugerem que a migmatização ocorreu em, pelo menos, dois estágios (pré- e sin-cisalhamento), e que as condições metamórficas atingiram, em parte, fácies granulito. Também foi possível associar as principais estruturas observadas à Orogenia K'Mudku, reforçando o papel desse evento na reativação das zonas de cisalhamento NE–SW da região. Embora os resultados sejam preliminares, o trabalho contribui significativamente para o conhecimento dos processos de anatexia e deformação no setor central do Escudo das Guianas.

As informações reunidas até o momento fornecem uma base sólida para estudos mais aprofundados, que incluirão análises químico-mineralógicas e geotermobarométricas, atualmente em andamento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à UFAM, FAPEAM, Instituto Serrapilheira e ao projeto VIP Amazônia pelo apoio institucional e financeiro, bem como ao Departamento de Geociências da UFAM pelo suporte acadêmico e técnico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Fraga, L. M.; Cordani, U. G.; Barbosa, M. S. C.; *et al*. Cinturões Orosirianos Inferiores do Escudo das Guianas Central, norte do Cráton Amazônico: geocronologia U-Pb e implicações tectônicas. *Precambrian Research*, v. 407, p. 107362, 2024.

Fraga, L. M. B.; Cordani, U. G. Early Orosirian tectonic evolution of the Central Guiana Shield: insights from new U-Pb SHRIMP data. 2019.

PASSCHIER, C. W.; TROUW, R. A. J. *Microtectonics*. 2. ed. Berlin: Springer, 2005.

SAWYER, E. W. *Atlas of Migmatites*. Special Publications of The Canadian Mineralogist, v. 9, 386 p., 2008.

IDADE DAS CROSTAS LATERÍTICAS NO CENTRO-NORTE DA AMAZÔNIA

Márcio Fernando dos Santos Albuquerque[1]; Adriana Maria Coimbra Horbe[1]; Cécile Gutheron[2], Pedro Val[3], Rosella Pinna-Jamme[4]

[1]Universidade de Brasília-UnB; [2]Grenoble Alpes University; [3]Queens College; [4]Université Paris-Saclay

malbuquerquegeo@gmail.com; ahorbe@unb.br; cecile.gautheron@univ-grenoble-alpes.fr; pval@qc.cuny.edu; *rosella.pinna@universite-paris-saclay.fr*

RESUMO

Nos últimos 100 milhões de anos, a intensa lateritização resultou no desenvolvimento de crostas lateríticas Fe, Fe-Al e bauxíticas por toda a Amazônia. Visando sintetizar a evolução da lateritização e reconhecer os episódios de bauxitização da região Centro-Norte da Amazônia, foram selecionados 144 fragmentos de hematita e goethita de crostas lateríticas Fe e Fe-Al para datação por (U-Th)/He. Os resultados obtidos revelaram que o início da formação de crostas lateríticas Fe a Fe-Al da região Centro-Norte da Amazônia ocorreu em 40 Ma, com marcantes períodos de formação entre 11 e 10 Ma e entre 5 e 4 Ma. A formação de bauxita, registrada pela datação de goethitas, ocorreu entre 25 e 15 Ma. Expandindo essa interpretação para o restante da Amazônia, dois episódios principais de bauxitização foram identificados: (i) entre 30 e 15 Ma e (ii) após 15 Ma, mais pronunciados entre 3 e 4 milhões de anos. Essas idades de crostas lateríticas sugerem que a lateritização persistiu do Eoceno ao Plioceno, e indica clima predominantemente úmido e bem drenado, propício à formação de goethita (bauxita), sobreposto por pulsos de ferruginização mais secos associados a flutuações climáticas globais.

PALAVRAS-CHAVE: Lateritização, goethita, hematita, bauxitização.

INTRODUÇÃO

A área de estudo está localizada entre as cidades de Manaus, Itacoatiara, Presidente Figueiredo e Porto Trombetas, nos estados do Amazonas e Pará. A região abrange rochas ígneas e metamórficas do Complexo Jauaperi, Grupo Iricoumé e das suítes intrusivas Água Branca e Mapuera (1,89-1,80 Ga), além de *stocks* graníticos e sucessões vulcano-sedimentares (Reis *et al.*, 2006; Vasques *et al.*, 2008). Estas rochas estão recobertas por arenitos feldspáticos, conglomerados e pelitos mesoproterozóicos da Formação Prosperança, e por sequências sedimentares do Grupo Trombetas (Ordoviciano-Devoniano) e das Formações Alter do chão e Novo remanso (Paleógeno- Neógeno; Cunha *et al*., 2007; Soares *et al.,* 2015).

Os perfis lateríticos desenvolvidos sobre rochas recobrem a área de estudo e consistem tipicamente de saprólito, horizonte mosqueado, crosta laterítica (Fe, Fe-Al e bauxita) e latossolo (Costa, 1991; Boulangé & Carvalho, 1997; Peixoto & Horbe, 2008; dentre outros). Portanto, neste trabalho foram estudados cinco perfis lateríticos, com o objetivo de sintetizar a evolução da lateritização na região centro-norte da Amazônia por meio de idades (U-Th)/He obtidas em goethita e hematita das crostas Fe, Fe-Al e bauxíticas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Oito amostras de cinco perfis lateríticos foram selecionados para datação por (U-Th)/He na Universidade Paris-Saclay, França. Destas amostras, 144 fragmentos de hematita e goethita (> 300µm de diâmetro) foram limpos em ultrassom com água tri-destilada e álcool, secos ao ar livre e colocados em tubos de Nb. Para determinar o teor de He, cada cápsula foi desgaseificada em linha de extração de He acoplada a um espectrômetro de massa quadrupolo (Pfeiffer Prisma Quadrupole). ^{4}He, ^{238}U e ^{232}Th foram medidos por espectrometria de massa por diluição isotópica (ThermoFisher Element XR ICP-MS).

RESULTADOS

As crostas lateríticas estudadas se desenvolveram sobre as vulcânicas do Grupo Iricoumé (crostas Fe-Al e Fe PT, PG e PI e pisólitos soltos PD e PB), sobre as rochas sedimentares das formações Prosperança (crosta Fe-Al PP), Nhamundá (bauxita BB) e Alter do Chão (crosta Fe IT e bauxita BC). Nas crostas Fe e Fe-Al há predomínio de hematita, goethita e caulinita, com gibbsita e quartzo subordinados. Os pisólitos e fragmentos de hematita são comumente envolvidos por córtexes goethíticos e, por vezes, de hematita e caulinita. Nas bauxitas, há predomínio de gibbsita e presença de goethita rica em Al.

Os fragmentos de hematita das crostas lateríticas apresentam idades (U-Th)/He entre 43,6±4,4 Ma e 4,5±4,4 Ma, enquanto nos córtexes (crostas PG, IT e BC) e pisólitos (bauxita BB) de goethita varia entre 24,9±1,7 Ma e 15,2±1,1 Ma. É importante ressaltar que na bauxita BB, os fragmentos de goethita (22,5 a 16,8 Ma) são mais antigos que os de hematita (14,3 a 8,7 Ma). Por outro lado, nos pisólitos soltos (PB e PD) a idade varia entre 9,5±0,9 Ma e 3,3±0,3 Ma (Figura 1A e 1B).

DISCUSSÕES

Os dados de (U-Th)/He indicaram que os episódios de lateritização na região Centro-Norte da Amazônia se estendeu de 43,6 ± 4,4 Ma a 3,3 ± 0,3 Ma, com pulsos significativos em 20 Ma, 10 Ma e 5 Ma (Figura 1). Assim como na região de Carajás, a lateritização permaneceu constante do Eoceno ao Plioceno, não sendo possível individualizar mais de uma fase bem definida de lateritização, como relatado por Albuquerque *et al*. (2020) e Gautheron *et al.* (2022) no Sudoeste e Centro-Norte da Amazônia, respectivamente (Figura 1A e 1B). Essas idades (U-Th)/He estão alinhadas com aquelas obtidas por (U-Th)/He e Ar-Ar em crostas lateríticas ao longo dos trópicos de Câncer e Capricórnio, e ratificam que a lateritização é um processo longo e constante que estabelece pulsos causados por variações climáticas (Figura 1C). Fragmentos de hematita e goethita revelaram detalhes dos principais pulsos de formação de crostas lateríticas ferruginosas, bauxitização e desmantelamento de crostas lateríticas (Figura 1). Hematita dos pisólitos e fragmentos são mais antigos que os córtexes de goethita, como observado nas amostras PG, BC e IT.

Entretanto, na amostra BB, os pisólitos de goethita são mais antigos que os de hematita. Este padrão reflete dois processos principais: i) Formação de bauxita a partir de intensa lixiviação de uma crosta laterítica ferruginosa mais antiga, levando ao desenvolvimento de múltiplos córtexes de goethita em pisolitos de hematita e plasma de gibbsita; ii) Os pisólitos de goethita mais antigos que os de hematita sugerem múltiplos processos ferruginização sobreposta. Neste caso, a formação de hematita está relacionada à desidratação da goethita.

A formação de hematita como pisólitos, fragmentos e componentes estruturais das crostas lateríticas, incluindo aquelas relatadas por Gautheron *et al.* (2022) próximo à área de estudo, iniciou-se por volta de 44-40 Ma (Eoceno Superior; Figura 1A). A formação de crosta laterítica ferruginosa continuou por meio de múltiplos pulsos de lateritização entre 25 e 17 Ma. No entanto, com base nas frequências de Kernel, os pulsos mais significativos ocorreram entre 11-10 Ma e 5-4 Ma (Mioceno inferior ao Mioceno superior).

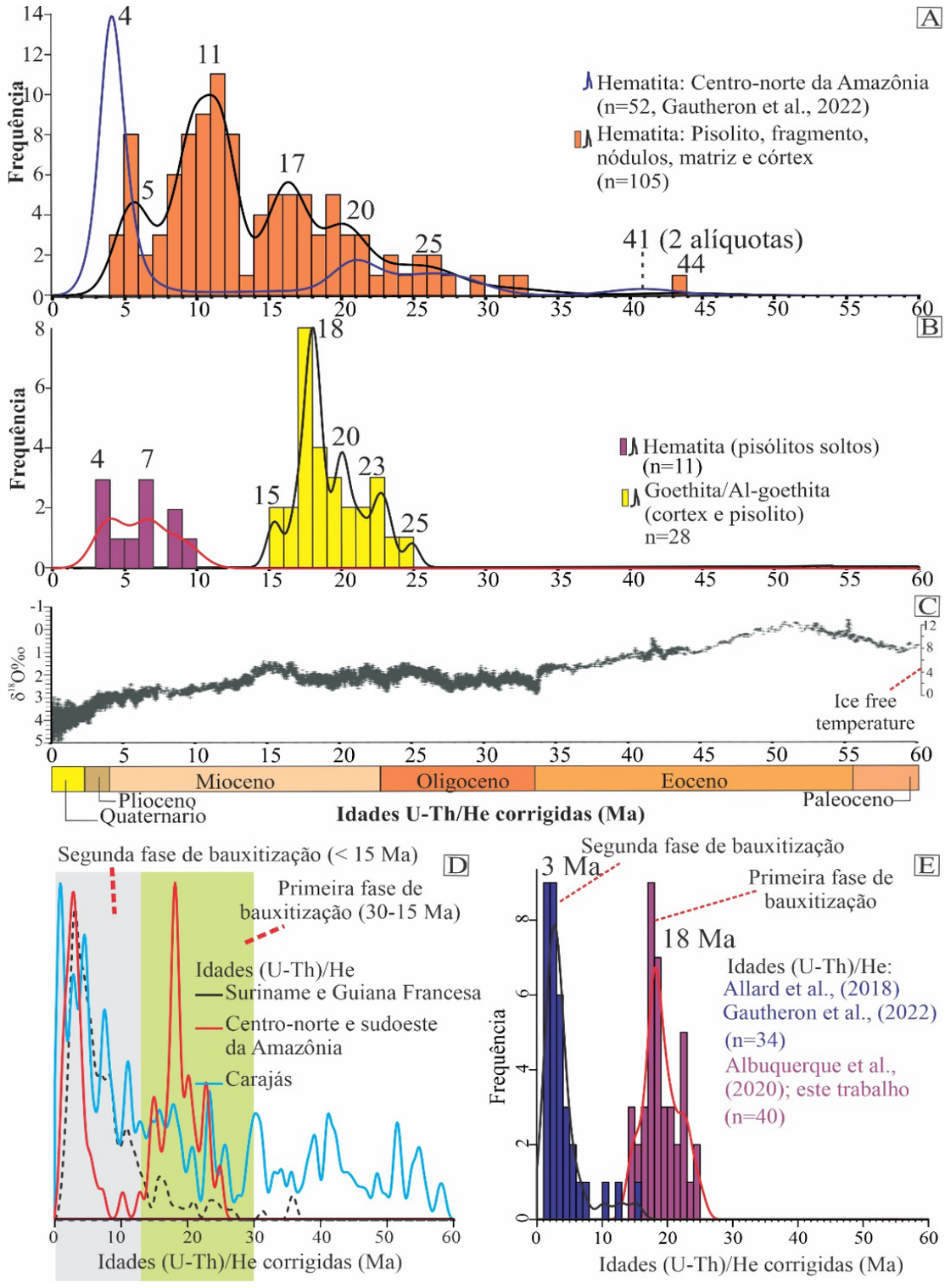


Figura 1: A e B-Idades (U-Th)/He obtidas em goethita e hematita de crostas lateríticas e pisólitos soltos da região Centro-Norte da Amazônia. C- Temperatura global Dados de temperatura e δ18O de Zachos *et al.* (2008). D e E- Fases de bauxitização da região Amazônica e da área de estudo, respectivamente. Carajás- Monteiro *et al.*, (2018), Suriname e Guiana France- Heller *et al.*, (2022) e Ansart *et al.*, (2022), Sudoeste da Amazonia- Albuquerque *et al.*, (2020) e Centro-Norte da Amazônia- Allard *et al.*, (2018) e Gautheron *et al.*, (2022).

Esses episódios de formação de crosta laterítica ferruginosa do Eoceno Superior ao Mioceno Superior, indicam períodos prolongados de atmosfera mais seca e intensa exposição subaérea. Essa interpretação é consistente com as condições atmosféricas mais secas, declínios de temperatura e resfriamento global desde Eoceno Superior ao Quaternário (Zachos *et al*., 2008). No entanto, a formação de goethita entre 24,9 ± 1,7 Ma e 15,2 ± 1,1 Ma (Oligoceno-Mioceno, Figura 1B) sugere alternância com períodos mais úmido, hidratação de hematita e formação de pisólitos e córtexes de goethita. Esse intervalo de atmosfera úmida, reconhecido em fragmentos de goethita, corresponde ao Miocene and Middle Miocene Climatic Optimum (Methner *et al*., 2020), e são correlatos aos extensos sistemas de terras úmidas na Amazônia Ocidental, incluindo o sistema PEBA (Hoorn *et al*., 2022), do Oligoceno Superior ao Mioceno Superior (>23-11 Ma).

A alternância entre climas seco e úmido é mais evidente nos córtexes concêntricos de goethita que circundam os pisólitos. Portanto, idades de goethita (U-Th)/He de crostas lateríticas ferruginosas, Fe-Al e bauxitícas, fornecem informações valiosas sobre a cronologia dos episódios de bauxitização.

Idades (U-Th)/He da região Centro-Norte Amazônia, Carajás, Suriname e Guiana Francesa revelaram dois episódios principais de bauxitização amazônica entre 30 e 15 Ma e após 15 Ma (Figure 1D). Na área de estudo e no sudoeste da Amazônia, um importante episódio de bauxitização foi identificado entre 25 e 15 Ma, com pulso principal em 18 Ma (Figura 1E). No entanto, em outras partes da região Centro-Norte da Amazônia, no Suriname e na Guiana Francesa, a segunda fase de bauxitização regional é mais recente (<15 Ma), com pulso predominante em 3 Ma (Allard *et al*., 2018; Gautheron *et al*., 2022; Heller *et al*., 2022; Ansart *et al*., 2022, Ansart *et al*., 2025).

As idades (U-Th)/He inferiores a 10 Ma, bem registradas nos pisólitos do perfil de Pitinga, indicam desmantelamento da crosta laterítica Fe a Fe-Al entre 10 e 3 Ma. Essas idades estão intimamente relacionadas à segunda fase de bauxitização regional (<15 Ma), impulsionada pela degradação e desmantelamento de crostas lateríticas Fe, Fe-Al e bauxíticas durante períodos mais úmidos. Por fim, o desmantelamento das crostas lateríticas contribuiu para a formação de latossolos amazônicos amarelados. Esta interpretação é apoiada pelos estudos de Horbe & Costa (2005), que estabelecem ligação direta entre a degradação da crostas lateríticas e o desenvolvimento do latossolo.

CONCLUSÕES

A lateritização na área de estudo se estendeu de ~44 Ma a 3 Ma. É caracterizada por três pulsos principais: O menos intenso ocorreu entre ~40 a 17 Ma, e os principais entre 11-10 Ma e 5-4 Ma. Idades de goethita (U-Th)/He das bauxitas e crostas lateríticas Fe a Fe-Al revelaram duas fases de bauxitização amazônica em 30-15 Ma e <15 Ma. Na região Centro-Norte da Amazônia, a primeira fase de bauxitização amazônica é reconhecida entre 25 e 15 Ma, exigindo cerca de 10 Ma para formar depósitos de bauxita amplamente distribuídos na área de estudo. Por outro lado, a segunda fase de bauxitização (<15 Ma), com o pulso principal em 3 Ma, está correlacionada com depósitos de bauxita do Suriname e da Guiana Francesa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albuquerque, M.F.S., Horbe, A.M.C., Danisik, M., 2020. Episodic weathering in Southwestern Amazonia based on (U–Th)/He dating of Fe and Mn lateritic duricrust. Chem. Geol. 553, 119792.

Allard, T., Gautheron, C., Riffel, S.B., Balan, E., Soares, B.F., Pinna-Jamme, R., Derycke, A., Morin, G., Bueno, G.T., Nascimento, N., 2018. Combined dating of goethites and kaolinites from ferruginous duricrusts. Deciphering the late Neogene erosion history of Central Amazonia. Chem. Geol. 479, 136–150.

Ansart, A., Guinoiseau, D., Quantin, C., Calmels, D., Gautheron, C., Agrinier, P., Bouchez, J., Fekiacova, Z., Pinna-Jamme, R., Demri, D., Balan, E., Heller, B., Bollaert, Q., Ataytür, ¨O., Allard, T., 2025. Lateritic Cenozoic paleoenvironmental and paleoclimatic conditions in the Central Amazon basin, Brazil, inferred from mineralogy, geochemistry and geochronology. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 662, 112674.

Ansart, C., Quantin, C., Calmels, D., Allard, T., Roig, J.Y., Coueffe, R., Heller, B., Pinna- Jamme, R., Nouet, J., Reguer, S., Vantelon, D., Gautheron, C., 2022. (U-Th)/He Geochronology Constraints on Lateritic Duricrust Formation on the Guiana Shield. Frontiers in Science. 10, 888993.

Boulangé, B., Carvalho, A., 1997. The bauxite of Porto de Trombetas. In: Carvalho, A., Boulangé, B., Melfi, A.J., Lucas, Y. (Eds.), Brazilian Bauxites. USP/FAPESP/ ORSTOM, São Paulo, pp. 107–133.

Costa, M.L., 1991. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. Revista Brasileira de Geociências 21, 146–160.

Cunha, P.R.C., Melo, J.H.G., Silva, O.B., 2007. Bacia do Amazonas. Boletim de Geociˆencias da Petrobras 15 (2), 227–251.

Gautheron, C., Sawakuchi, A.O., Albuquerque, M.F.S., Cabriolu, C., Parra, M., Ribas, C. C., Pupim, F.N., Schwartz, S., Kern, A.K., G´omez, S., Almeida, R.P., Horbe, A.M.C., Haurine, F., Miska, S., Nouet, J., Findling, N., Riffel, S.B., Pinna Jamme, R., 2022. Cenozoic weathering of fluvial terraces and emergence of biogeographic boundaries in Central Amazonia. Global Planet. Change 212, 103815.

Heller, B.M., Bressan-Riffel, S., Allard, T., Morin, G., Roig, J.-Y., Coueffe, R., Derycke, A., Ansart, C., Pinna Jamme, R., Gautheron, C., 2022. Reading the climate signals hidden in bauxite. Geochim. Cosmochim. Acta 323, 40–73.

Hoorn, C., Kukla, T., Bogota-Angel, G., Soelen, E.V., Gonz´alez-Arango, C., Wesselingh, F. P., Vonhof, H., Val, P., Morcote-Rios, G., Roddaz, M., Dantas, E.L., Santos, R.V., Damste, J.S., Kim, J., Morley, R.J., 2022. Cyclic sediment deposition by orbital forcing in the Miocene wetland of western Amazonia? New insights from a multidisciplinary approach. Global Planet. Change 210, 103717.

Horbe, A.M.C., Costa, M.L., 2005. Lateritic crust and related soils in eastern Brazilian Amazonia. Geoderma 126, 225–239.

Methner, K., Campani, M., Fiebig, J., Loffler, N., Kempf, O., Mulch, A., 2020. Middle Miocene long-term continental temperature change in and out of pace with marine climate records. Sci. Rep. 10 (1), 7989.

Monteiro, H.S., Vasconcelos, P.M., Farley, K.A., Lopes, C.A.M., 2018. Age and evolution of diachronous erosion surfaces in the Amazon: Combining (U-Th)/He and cosmogenic 3He records. Geochim. Cosmochim. Acta 229, 162–183.

Peixoto, S.F., Horbe, A.M.C., 2008. Bauxitas do nordeste do Amazonas. Brazilian J. Geol. 38, 406–422.

Reis N.J., Almeida M.E., Riker S.L., Ferreira A.L. 2006. Geologia e recursos minerais do Estado do Amazonas. MME/CPRM/CIAMA, Programa de Geologia do Brasil (mapas geológicos estaduais, escala 1:1.000.000), Manaus, 125p.

Soares, E.A., Dino, R., Soares, D.P., Antonioli, L., Silva, M.A.L., 2015. New sedimentological and palynological data from surface Miocene strata in the Central Amazonas Basin area. Brazilian Journal of Geology 45 (3), 337–357.

Vasquez, M.L., Rosa-Costa, L.T., Silva, C.M.G., Klein, E.L. 2008. Compartimentação tectônica. In: Vasquez, M.L., Rosa-Costa, L.T. (orgs.) Geologia e Recursos Minerais do Estado do Par´a: Sistema de Informações Geográficas —SIG: texto explicativo dos mapas Geológico e Téctônico e de Recursos Minerais do Estado do Pará 1:1.000.000. Belém, Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais, p. 39–112.

Zachos, J.C., Dickens, G.R., Zeebe, R.E., 2008. An early Cenozoic perspective on greenhouse warming and carbon-cycle dynamics. Nature 451, 279–283.

PETROGRAFIA DAS ROCHAS VULCÂNICAS MESOPROTEROZOICAS DO SUDESTE DO AMAZONAS, PROVÍNCIA RONDONIA-JURUENA

Victor Cassiano Barbosa[1]; Mayara Fraeda Barbosa Teixeira[1]; Antônio Charles Da Silva Oliveira[3]; Sirlan Silva Do Carmo[1]

[1]Universidade Federal do Amazonas - UFAM;
[2]Serviço Geológico do Brasil – SGB; Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP

victor.cassiano@ufam.edu.br; mayarafraeda@ufam.edu.br; charles.oliveira@sgb.gov.br; sirlancarmo@gmail.com

RESUMO

O Cráton Amazônico registra importantes eventos vulcano-plutônicos paleoproterozoicos e mesoproterozoicos. Na Província Rondônia–Juruena (PRJ), situada no sudoeste do cráton, destacam-se o Grupo Serra do Gavião (1,53–1,52 Ga) e os granitos rapakivi da Suíte Serra da Providência. Ao longo do rio Roosevelt (Manicoré, AM), afloram sucessões de rochas vulcânicas ácidas efusivas e rochas máficas subvulcânicas, cuja caracterização ainda é restrita. Este trabalho apresenta descrições petrográficas detalhadas de dez amostras fornecidas pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB). Foram identificadas duas principais litofácies: (i) Álcali-Feldspato Riolito/Riolito, compostos essencialmente por K-feldspato, quartzo, plagioclásio, biotita e fluorita; e (ii) Diabásio, de matriz fina a milonítica, formado por plagioclásio, piroxênios, olivina e clorita metamórfica. Os resultados evidenciam que o diabásio foi afetado por zonas de cisalhamento sob condições metamórficas de fácies xisto-verde.

PALAVRAS-CHAVE: mesoproterozoico; Província Rondônia-Juruena; vulcano-plutonismo.

INTRODUÇÃO

O Éon proterozoico é marcado por intensa atividade granítica e vulcânica intraplaca, resultando na formação de platôs vulcânicos, enxames de diques e grandes intrusões máfico-ultramáficas estratificadas, que em conjunto formam as Grandes Províncias Ígneas (LIPs). Em contexto geodinâmico, o magmatismo intraplaca tem sido associado a perturbações térmicas no manto superior, com *underplating* máfico de caráter semelhante a plumas mantélicas, ou como resultado de extensão crustal, descompressão e ascensão mantélica (Aitken *et al.,* 2013; Pirajno e Santosh, 2015).

O Cráton Amazônico (CA) é o maior cráton da Plataforma Sul-Americana (Almeida e Hasui, 1984), sendo delimitado ao norte pelo Escudo das Guianas e ao sul pelo Escudo Brasil-Central (Tassinari e Macambira, 1999; Santos *et al.*, 2000). Extensas porções do CA foram afetadas por eventos vulcano-plutônicos intraplaca que se desen-

volveram principalmente no paleoproterozoico, e com manifestações locais no mesoproterozoico. A Província Rondônia–Juruena (PRJ) ocupa a porção sudoeste do Cráton Amazônico e é compartimentada em três domínios paleoproterozoicos a mesoproterozoicos: Juruena (leste), Jamari (oeste) e Alto Jaru (sul) (Scandolara, 2006).

A região sudeste do Amazonas insere-se no contexto geológico da Província Rondônia–Juruena (PRJ). Nessa região ocorrem rochas vulcânicas efusivas e piroclásticas, de composição variando entre básica e ácida, as quais compõem o Grupo Serra do Gavião (1,53–1,52 Ga; Oliveira e Lira, 2019). Essas rochas estão associadas a granitos rapakivi que tem sido interpretado como da Suíte Serra da Providência (~1,52 Ga-1,60 Ga; Costa *et al*., 2016)

O objetivo deste trabalho foi descrever detalhadamente a petrografia das litologias vulcânicas expostas ao longo do rio Roosevelt (Fig.1) no município de Manicoré, no Amazonas, visando contribuir para o conhecimento geológico dessa região.

MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente, foi realizado mapeamento geológico sistemático pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB) para a elaboração da Folha Rio Roosevelt, na porção sudeste do Amazonas, em escala 1:250.000. Posteriormente, as amostras foram catalogadas e disponibilizadas pela SGB, Superintendência Regional de Manaus (SUREG-MA). No total, foram disponibilizadas 23 amostras de mão com as lâminas petrográficas equivalentes. Nesse trabalho estão apresentadas as descrições de 10 amostras. A petrografia foi realizada em microscópio petrográfico com luz polarizada e por luz transmitida, no laboratório de microscopia do Departamento de Geociências-UFAM. Para a descrição das texturas e estruturas, adotou-se como referência o trabalho de Freitas e Juliani (2018), entre outros. A classificação petrográfica foi feita com base nos critérios estabelecidos por Streckeisen (1976) e Le Maitre (2002) para as rochas vulcânicas. Além disso, foi confeccionado um mapa geológico no software QGIS 3.30, no qual estão representadas as amostras coletadas.

RESULTADOS

Ao longo do rio Roosevelt afloram rochas vulcânicas e graníticas, além de rochas sedimentares. Esse trabalho apresenta dados preliminares das rochas vulcânicas aflorantes ao longo do rio.

As rochas vulcânicas afloram principalmente na forma de lajedo nas margens do rio Roosevelt, no trecho de 35 km a 45 km. Foram estabelecidas as seguintes litofácies, vulcânicas efusivas: (i) Álcali-Feldspato Riolito e Riolito; e rochas subvulcânicas de composição diabásica: (ii) Diabásio, além das litofácies vulcanoclásticas que não foram descritas até o momento.

Álcali-Feldspato Riolito (AFR) e Riolito

Essas fácies apresentam texturas muito similares e por isso serão descritas em conjunto. Macroscopicamente são rochas de coloração avermelhada e textura porfirítica em matriz afanítica (Fig. 2A). Microscopicamente, a matriz é essencialmente quartzo-feldspática e está recristalizada (Fig. 2B). No AFR a matriz corresponde a aproximadamente 70% rocha, e o conteúdo de fenocristais é de 30%, já no Riolito a matriz corresponde a 75% da rocha enquanto o conteúdo de fenocristais é de 25%. São compostas essencialmente por K-feldspato, quartzo e plagioclásio (em maior proporção nos riolitos). Possuem também biotita, fluorita e minerais opacos, apatita e zircão.

Os fenocristais de K-feldspato apresentam hábito predominantemente euédrico, granulação variando de média a grossa. Ocorre, ocasionalmente, maclamento do tipo xadrez, além de textura exsolutiva mesopertita. Frequentemente ocorre alteração para argilo-minerais (Fig 2B).

Os fenocristais de quartzo exibem hábito angulosos a euédricos, também com granulação média a grossa, atingindo até 6 mm de tamanho. Exibem *embayments* resultantes de corrosão magmática (Fig. 2C). Localmente exibe textura subgrão. Cristais finos de quartzo formam a matriz da rocha e apresentam extinção ondulante e subgrãos.

Os cristais de plagioclásio apresentam hábito subédrico, e granulação média. Localmente é possível observar o maclamento albita e albita-carlsbad. Frequentemente ocorre alteração para sericita.

Os cristais de biotita apresentam forma lamelar, com granulação fina a média. Por vezes, é possível observar textura radial em biotitas alterando para clorita. Os cristais de fluorita exibem coloração lilás, na qual apresentam hábito subédrico, com granulação fina a média, e até formando fenocristais.

Diabásio

Rocha meta-máfica de coloração cinza-esverdeada, matriz fina e fortemente foliada (meso a ultramilonito) (Fig 2D). É composta por plagioclásio (59%), clinopiroxênio (13%), ortopiroxênio (8%), olivina (5%). Ocorrem também clorita (8%-10%) e minerais opacos (5%). Como minerais secundários têm sericita e epidoto. A textura principal é a milonítica, caracterizada pela orientação de cristais, rotação dos cristais, cristais sigmoidais (Fig. 2E) e estruturas do tipo *pinch and swell* (Fig. 2F).

Os cristais de plagioclásio apresentam hábito majoritariamente subédrico, de granulação de fina a média, e orientados seguindo a foliação milonítica. Por vezes, é possível observar o maclamento albita e albita carlsbad. Frequentemente apresenta-se recristalizado e com extinção ondulante. Localmente ocorre como porfiroclasto com fraturamento. Pode ocorrer alteração para sericita e epidoto. Os cristais de clinopiroxênio apresentam forma sigmoidal orientada segundo a foliação milonítica (Fig. 2E). A granulação varia de fina a média, por vezes esses cristais encontram-se rotacionados. Os cristais de ortopiroxênio são sigmoidais, localmente anédricos e com granulução variando de fina a média. Ocasionalmente é possível identificar textura coronítica, onde os cristais de ortopiroxênio são bordejados pelo clinopiroxênio.

Os cristais de olivina são incolores e apresentam hábito subédrico a anédrico, com granulação variando de fina a média. Nota-se que estruturalmente está rotacionado e bastante fraturado.

Os cristais da clorita têm coloração esverdeada, com leve pleocroísmo. O hábito é lamelar, está fortemente orientado, marcando a foliação milonítica, muitas vezes em estrutura sigmoidal. Apresenta granulação fina a média. Os cristais podem atingir até 6 mm.

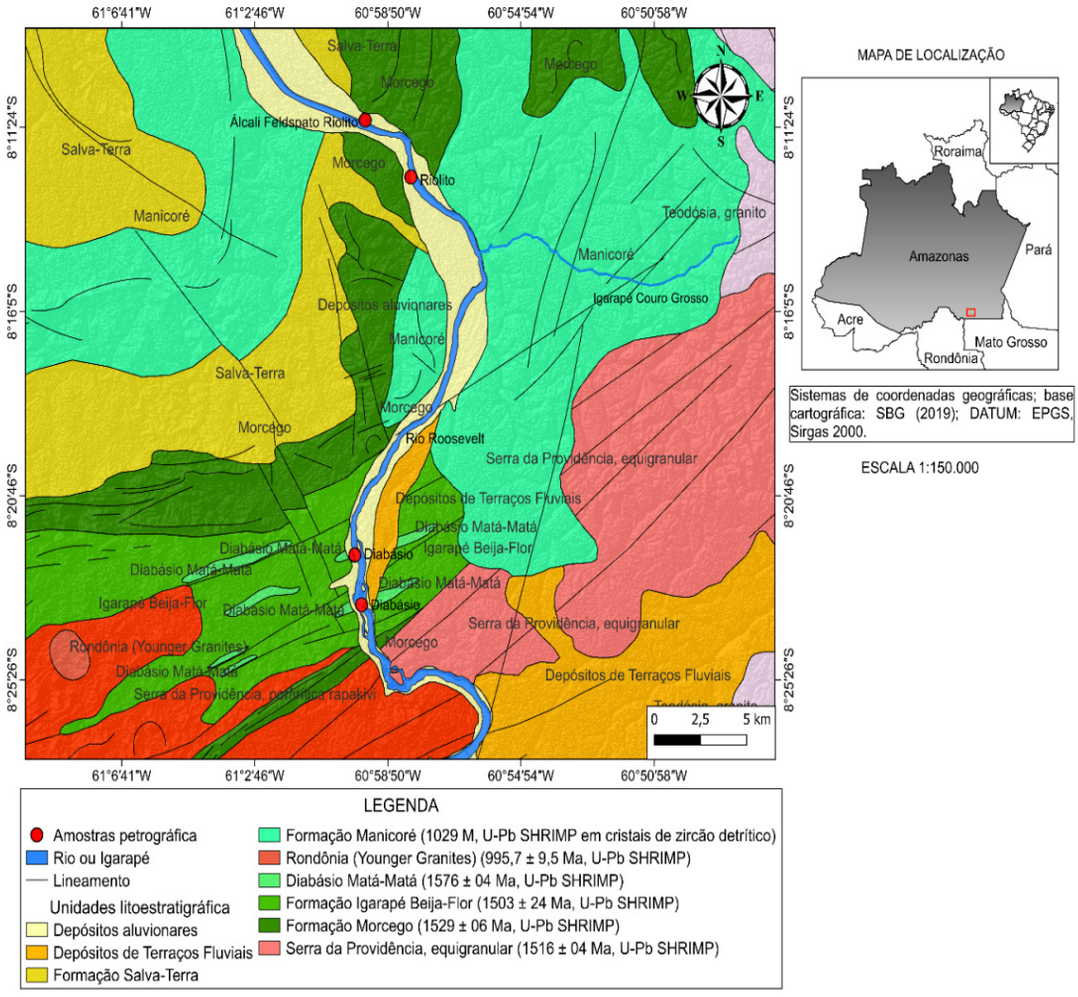


Figura 1 – Mapa geológico da área de estudo, com as respectivas amostras petrográficas coletadas durante o mapeamento da SGB (Folha Roosevelt) (Fonte: autor).

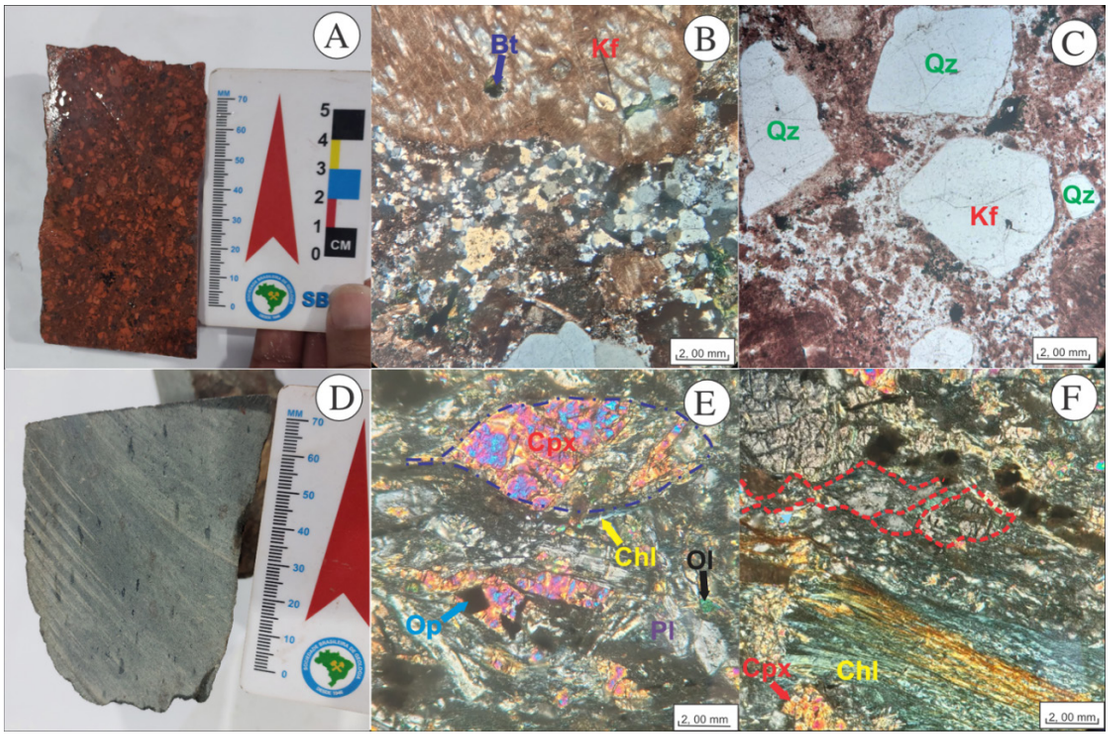


Figura 2: Fotografia de amostra de mão do Álcali-Feldspato Riolito; B) fotomicrografia da matriz quartzo-feldspática do Álcali-Feldspato Riolito recristalizada; C) fotomicrografia em luz natural dos fenocristais de quartzo e feldspato alcalino; D) fotografia de amostra de mão do diabásio com foliação milonítica; E) fotomicrografia da forma sigmoidal do cristal de clinopiroxênio; F) fotomicrografia da estrutura do tipo *pinch and swell*.

DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

A descrição petrográfica das amostras coletadas ao longo do Rio Roosevelt permitiu a classificação de Álcali Feldspato-Riolitos, Riolitos e Diabásios. Na região sudeste do Estado do Amazonas, o Serviço Geológico do Brasil (SGB) atribui as rochas vulcânicas efusivas e piroclásticas ao Grupo Serra do Gavião (1530-1503 Ma, por U-Pb em zircão) que é composto pelas Fácies Morcego e Igarapé Beija-flor, e as rochas máficas são atribuídas à Suíte Mata-Matá.

As características descritas nas rochas efusivas permitem que estas sejam interpretadas como da Fácies Morcego do Grupo Serra do Gavião. De acordo com Oliveira e Lira (2019), esta unidade é constituída principalmente por biotita micromonzogranitos rapakivi, álcali-feldspato microgranito porfirítico, andesitos e álcali-feldspato riolitos. O diabásio, por sua vez, foi correlacionado com a Suíte Mata-Matá (SMM) representada por augita-olivina diabásio, gabronoritos e leucogabros (Oliveira e Lira, 2019).

Esse vulcanismo é associado ao plutonismo tipo-A rapakivi da Suíte Serra da Providência (1,51-1,57 Ga, Leal *et al*., 1972), e forma uma associação intraplaca, interpretada como pós-colisional à orogenia Juruena.

As rochas vulcânicas efusivas apresentam recristalização principalmente na matriz, indicando algum evento termal de muito baixo grau que recristalizou principalmente o quartzo. Não foram observadas foliações ou estruturas que indicassem cisalhamento nessas rochas. Já as microestruturas e a presença da clorita descritas no diabásio permitem

interpretar que essas rochas foram afetadas por uma zona de cisalhamento dúctil, que causou metamorfismo pelo menos na fácies xisto-verde desenvolvido sob temperaturas de aproximadamente 400–550 °C e pressões de 2–8 kbar (Passchier e Trouw 2005).

Embora rochas máficas sejam mais suscetíveis às reações metamórficas, as rochas quartzo-feldspáticas são mais reativas em zonas de cisalhamento e produzem microestruturas características dessas zonas, principalmente o quartzo.

Este trabalho representa um estudo preliminar que será complementado com os dados geoquímicos dessas rochas, a fim de investigar a petrogênese desse magmatismo e avaliar o ambiente geotectônico envolvido, bem como as deformações superimpostas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Serviço Geológico do Brasil (SGB) pela disponibilização das amostras para este trabalho; ao geólogo Me. Antônio Charles da Silva Oliveira, pela orientação técnica e apoio na pesquisa; ao Instituto Serrapilheira, pelo incentivo e suporte financeiro; e ao grupo de pesquisa *Vital insight Into Precambrian Amazonia* (VIP AMAZONIA), pela colaboração no desenvolvimento do estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aitken, A.R.A., Raimondo, T. and Capitanio, F.A., (2013). The intraplate character of supercontinent tectonics. Gondwana Res. 24, 807–814, nov. 2013.

Leal, J.W.L., Silva, G.H., Santos, D. B. dos, Teixeira, W., Lima, M.I.C. de Fernandes, C.A.C., Pinto, A.C. (1972). Geologia. In: Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. Folha SC.20 Porto Velho; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra, Rio de Janeiro, 663p. (Levantamento de Recursos Naturais, 16) p.17-184, 1972.

Oliveira, A. C. S., Lira, R. R. C. Geologia e recursos minerais da Folha Rio Roosevelt – SC.20-X-B, Estado do Amazonas, escala 1:250.000. (2019). Manaus: CPRM., out. 2019.

Passchier, Cees W.; Trouw, Rudolph A. J. Microtectônica. Tradução de: Marcio Sergio M. de Mattos. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

Pirajno, F. and Santosh, M., (2015). Mantle plumes, supercontinents, intracontinental rifting and mineral systems. Precambrian Research. 259, 243–261, abr. 2015.

Santos, J.O.S., Hartmann, L.A., Gaudette, H.E., Groves, D.I., Mcnaughton, N.J., & Fletcher, I.R. A new understanding of the provinces of the Amazon Craton based on integration of field mapping and UPb and Sm-Nd geochronology. (2000).Gondwana Research, 3(4), 453-488, out. 2000.

Scandolara, J. E. Geologia e evolução do Terreno Jamari, embasamento da Faixa Sunsás/Aguapeí, centro-leste de Rondônia, sudoeste do Cráton Amazônico. (2006). 201 f. Tese (Doutorado em Geologia) — Instituto de Geociências, UNB, Brasília, 2006.

Tassinari, C. C. G.; Macambira, M. J. B. Províncias geocronológicas do Cráton Amazônico. (1999). Episodes, v. 22, n. 3, p. 174-182, set. 1999.

GUYANA GEOLOGY REVISION BASED ON THE BRAZIL-GUYANA BORDER GEOLOGICAL MAPPING PROJECT AND RECENT AGE DATING RESULTS

Serge Nadeau[1]; Rondell Willson[1]; Khemraj Babolall[1]; Carl Andrew Matthews [1]; Jimmy Reece J[1]; Lêda Maria Fraga[2]

[1]Guyana Geology and Mines Commission, Guyana;[2] Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Brazil

goldenserge@hotmail.com; rondell_wilson@ggmc.gov.gy; khemraj_baboolall@ggmc.gov.gy; carlandrew_matthew@yahoo.com; jimmy_reece@ggmc.gov.gy; leda.fraga@sgb.gov.br

SUMMARY

The geology of Guyana is being updated following a geological mapping project along the border of Guyana and Brazil by geologists of the Guyana Geology and Mines Commission (GGMC) and the Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). The update also includes more recent age dating work done in Guyana by GGMC and CPRM as well as, by research groups and mining companies. The resulting updates will be presented and include changes in the order of some of the lithostratigraphic units based on age results, correlation of rock units across the border of both countries, new names of some rock units and their locality types, as well as from petrographic studies and geochemical analyses.

KEYWORDS: Guyana, Geology, Lithostratigraphy, Geochronology, Brazil.

INTRODUCTION

The geological map of Guyana was compiled in 1987 by Walrond from geological work done between 1900 and 1987. The geological map was digitized by staff at the Guyana Geology and Mines Commission in 1999. Since 1999 mapping has been done during regional geochemical surveys to evaluate the mineral potential of large parts of Guyana, but only minor changes of the country geology resulted from that work. The lithostratigraphy of Guyana's geological units and their chronological order has remained the same since the 1980s and relied on rock petrographic and chemical similarities with other formations of the country and with other adjacent countries, and from limited and old K-Ar, Rb-Sr and U-Pb ages. The most detailed geological description of Guyana's geology is still found in the book produced by Gibbs and Barron in 1993.

In 2009, a scientific collaboration program was signed by the presidents of Guyana and Brazil, with the field mapping to be done later on. A summary presentation of the work to be done by GGMC and the CPRM along the common border of southern Guyana and Brazil was presented one week before the field mapping at the 12th Simposia de Geologia da Amazonia Geology in Boa Vista (Nadeau, 2011).

Since that time several papers and abstracts have been published on the work done by geologists of both countries (Fraga *et al*. 2017a-b, 2020 and 2024; Nadeau *et al*. 2013; Reis *et al.* 2017). The report of the fieldwork results are in the final stage of editing and to be published in 2025.

1. The correlation of the geology in southern Guyana led to a revision and update of the lithostratigraphy of the units present. Subsequently, it was realized that the lithostratigraphy of the rest of the country needed also to be updated to be consistent with the geological and geochronological information present in the surrounding countries of Brazil, Suriname and Venezuela. These changes and the latest version of the geological map will be presented during the conference.

METHODOLOGY

Field mapping was done within a 25km buffer zone on both sides of Guyana and Brazil border (Fig. 1). ARCGIS and MapInfo maps, rocks petrography and whole-rock geochemical analyses, U-Pb zircon dating SIMS and LA-ICP-MS done in Brazil and China were obtained (Fraga *et al.* 2017a-b, 2024; Nadeau *et al.* 2013).

RESULTS AND DISCUSSION

Several changes have been made to the geological unit names and chronological order and some of which are summarized here from the Brazil-Guyana border mapping project in southern Guyana, and shown in Fig.1.

3a. The ignimbrites and felsic volcanics of the Iwokrama Formation have been correlated with the Surumu volcanics of Brazil based on similar petrography, chemistry, and displaying similar age ranges between 1.98 and 1.96 Ga (Nadeau 3a. *et al,* 2013, Fraga *et al.,* 2024; See red line 3a in Fig.1). The associated granitic and subvolcanic granitoids have been redefined as part of the Karasabai Suite. Both volcanic rocks and granitic bodies are also part of the Orocaima Belt extending to Brazil, Suriname and Venezuela (Fraga *et al,* 2024).

3b. The Moco Moco paragneiss of the Kanuku Block have been correlated with the paragneiss of the Cauarane-Coeroene Belt in Brazil based on similar petrography, chemistry, metamorphic grade, and ages range as the rocks in Brazil (Fraga *et al.*, 2024). See red line 3b and rock photo in Fig.1.

Inset photo shows a paragneiss sample taken from an outcrop occurring in the middle of the Takutu River representing the international border between Guyana and Brazil.

The Moco Moco paragneiss unit is not anymore considered the oldest rock unit of Guyana as was previously interpreted (Berrangé, 1977; Gibbs and Barron, 1993) and displays on the geological map legend of Guyana.

However, the Maparri Charnockites intruding the Moco Moco paragneiss unit of the Kanuku Block are not considered anymore being part of the former Kanuku Complex, and are rather concluded to represent magmatic bodies emplaced at lower crustal P-T conditions and associated to the younger magmatic event of the Rio Urubu Belt based on their rocks petrography, chemistry and age values of 1.98 to 1.94 Ga (Nadeau *et al.,* 2013; Fraga *et al*. 2024).

3c. The paragneisses, schists and mafic rocks of the Kwitarau Group that were previously assumed to be correlated with the metasedimentary rocks of the greenstone belts of northern Guyana are now correlated with the Moco Moco paragneiss unit and schists of the Cauarane Group of the Cauarane-Coeroene Belt in Brazil. See red line 3c. in Fig.1.

3d. The volcanic rocks and associated granitoids rocks of the Kuyuwini Formation in southern Guyana were previously assumed correlated with the Iwokrama Formation north of the Takutu Graben based on similar rocks petrography and chemistry (Berrangé, 1977; Gibbs and Barron, 1993). However, the Kuyuwini Formation are now correlated with the adjacent rocks of the Iricoumé and Represa Jatupu Groups of the Uatumã SLIP occurring in Brazil, based on rocks petrography and chemistry, and dated between 1.89 Ga and 1.87 Ga (See red line 3d. in Fig.1; Fraga *et al.* 2024). However, ages dating of these rocks in Guyana is still lacking.

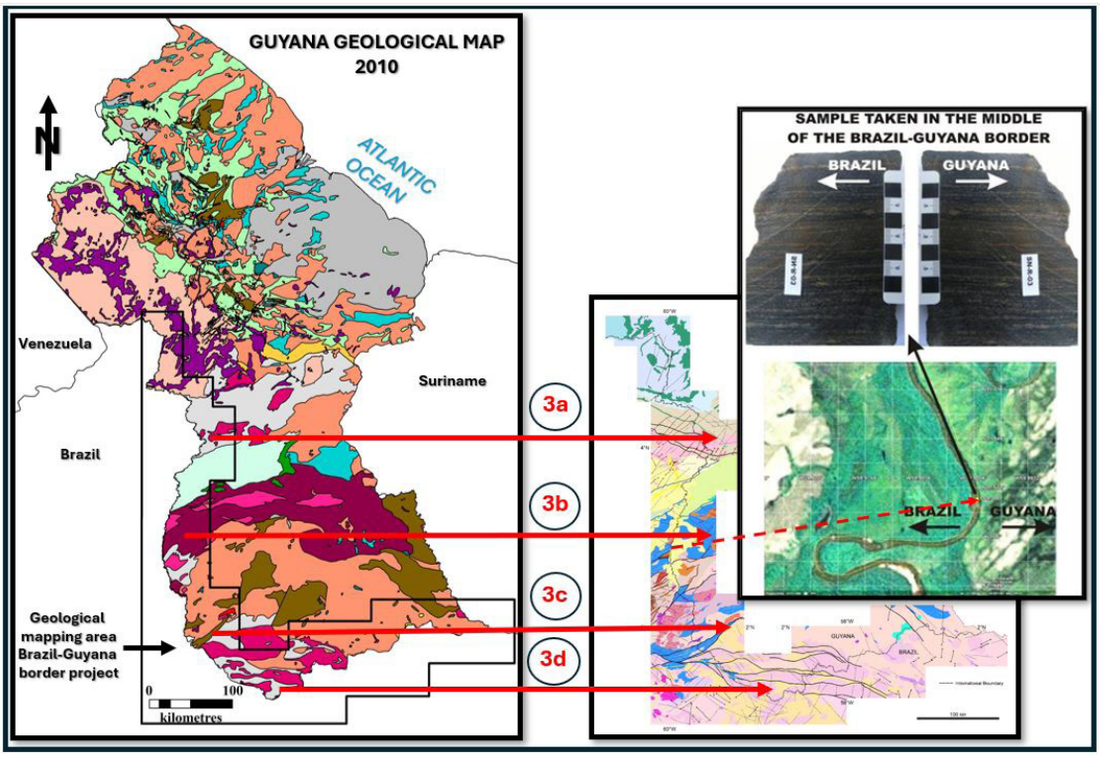


Figure 1. Geological map of Guyana 2010 on the left side compared to the geological map of the Brazil-Guyana border project area on the right side.

Additional changes were also made of other lithostratigraphic units based on rocks chemistry and their ages data which will be also presented at the conference.

CONCLUSIONS

The Guyana and Brazil border geological mapping in southern Guyana generated several significant changes to the country's geological map as well as the revision of its geological time scale and re-ordering of the lithostratigraphic units of the country.

ACKNOWLEDGEMENTS

The geologists at GGMC want to thank the geologists of the CPRM for their participation in the fieldwork, support, training, sharing their geological experiences and for their warm hospitality. The governments of Guyana and Brazil are acknowledged for their collaboration and financing to make the geological mapping project on both sides of the country's border possible. Professor U. G. Cordani is also thanked for his participation in dating some of Guyana rocks over the years. Several geologists and staff of GGMC and field helpers are also thanked for their contribution at various stages and time, but too numerous to be named here.

REFERENCES

Berrangé, J. P. (1977). The Geology of Southern Guyana, South America. Inst. Geol. Sci. Overseas Memoir, 4, 112 p.

Fraga, L. M. B., and Faraco, M. T. (2020). Geological and Mineral Resources Map of sheet NA.21-TUMUCUMAQUE, 2°Ed. Geological Survey of Brazil-CPRM, Rio de Janeiro. 1 Colored Map and Geographic Information System - GIS. Scale 1:1.000.000.

Fraga L. M. B., Cordani, U., Kroonenberg, S., Roever de E., Nadeau, S., and Maurer, V. C. (2017a). U-Pb SHRIM,P New data on the high-grade supracrustal rocks of the Cauarane-Coeroeni Belt – Insights on the tectonic Eo-Orosirian evolution of the Guiana Shield. *SBG/Núcleo Norte*, *Simposio de Geologia de Amazonia*, *15*, *Belém*, *PA*, *Anais,* 486-490.

Fraga, L. M. B., Cordani U., Reis N. J., Nadeau, S., and Maurer, V. C. (2017b). U-Pb, SH,RIMP and LA-ICPMS New Data for Different A-Type Granites of the Orocaima Igneous Belt, Central Guiana Shield, Northern Amazonian Craton. SBG/Núcleo Norte, Simposio de Geologia de Amazonia, 15, Belém, PA, Anais, 482-485.

Fraga, L. M. B., Cordani, U. G., Dreher, A. M., Sato, K., Reis, N. J., Nadeau, S., de Roever, E. W. F., Kroonenberg, S. B., and Maurer, V. C. (2024). Early Orosirian belts of the central Guiana Shield, northern Amazonian Craton: U-Pb geochronology and tectonic implications. *Precambrian Research*, *407*, 107362.

Gibbs, A. K., and Barron, C. N. (1993). The Geology of the Guiana Shield. *Oxford University Press*, *New York*, *Claredon Press*, *Oxford*, 245 p.

Nadeau, S. (2011). Regional Geochemical Surveys in Guyana by the Guyana Geology and Mines Commission. *Simposio de Geologia de Amazonia*, *12*, *Boa Vista, Roraima, Resumos Expandidos*, 4-8.

Nadeau S., Chen W., Reece J., Lachhman D., Ault R., Faraco M.T.L., Fraga L.M., Reis N.J., Betiollo L.M. (2013). Guyana: The Lost Hadean Crust of South America? *Brazilian Journal of Geology 43(4)*, 601-606.

Reis, N. J., Nadeau, S., Fraga, L. M., Betiollo, L. M., Faraco, M. T. L., Reece, J., Lachhman, D., and Ault, R. (2017). Stratigraphy of the Roraima Supergroup along the Brazil-Guyana border in the Guiana shield, Northern Amazonian Craton – results of the Brazil-Guyana Geology and Geodiversity Mapping Project. *Brazilian Journal of Geology 47(1)*: 43-57.

AS ROCHAS CHARNOCKÍTICAS DA REGIÃO DE FRONTEIRA BRASIL-GUIANA, PORÇÃO CENTRAL DO ESCUDO DAS GUIANAS: PETROGRAFIA, LITOQUÍMICA E GEOCRONOLOGIA

Lêda Maria Fraga[1]; Serge Nadeau[2]; Jaime E. Scandolara[1]; Gabrielle Barbosa da Silva[3]; Nelson Joaquim Reis[1]

[1]Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM); [2]Guyana Geology and Mines Commission (GGMC); [3]Atuando em empresa privada

leda.fraga@sgb.gov.br

RESUMO

As rochas charnockíticas da região de fronteira Brasil-Guiana estão relacionadas à Suíte Serra da Prata, no Brasil, e ao Charnockito Maparri, na Guiana. Composições charnockíticas a enderbíticas predominam e tipos com feições ígneas preservadas gradam até rochas gnáissicas. Na área fronteiriça, ocorrem ainda granitoides pertencentes às unidades Igarapé do Fogo, no Brasil, e Kusad, na Guiana, que exibem texturas indicativas da hidratação dos piroxênios, além de relictos desses minerais. Os dados químicos corroboram as observações petrográficas indicando que os granitoides fazem parte do magmatismo charnockítico. Idades U-Pb em zircão no intervalo de 1966-1957 Ma foram obtidas para as unidades na Guiana.

PALAVRAS-CHAVE: Charnockito; Petrografia; Litoquímica; Geologia da fronteira Brasil-Guiana.

INTRODUÇÃO

O Projeto Mapeamento Geológico e da Geodiversidade da Fronteira Brasil- Guiana, na escala de 1:1M, desenvolvido pelos serviços geológicos do Brasil (SGB-CPRM) e da Guiana (GGMC), resultou em avanços na compreensão das unidades charnockíticas que afloram nesta porção central do Escudo das Guianas (Fig. 1).

No Brasil, os corpos charnockíticos estão relacionados à Suíte Serra da Prata e, na Guiana, ao Charnockito Maparri (Fraga *et al*., 2025, no prelo) (Fig. 2). Os dados obtidos no projeto permitiram a caracterização desses corpos, bem como o reconhecimento de um conjunto de granitoides associados ao magmatimo charnockítico, incluídos nas unidades Granito Igarapé do Fogo, no Brasil, e Augen Gnaisse Kusad, na Guiana.

CONTEXTO GEOLÓGICO

O Cinturão Cauarane-Coeroeni (CCC), o Cinturão Ígneo Orocaima (CIO) e o Cinturão Rio Urubu (CRU) são, de acordo com Fraga *et al*. (2024), as principais feições tectônicas da parte central do Escudo das Guianas (Fig. 1). A evolução desses cinturões

está relacionada à Orogenia Akawai, estágio tardio do Ciclo Transamazônico (Fraga e Cordani, 2019; Fraga *et al*., 2024). O CCC é delineado por exposições descontínuas de rochas supracrustais da fácies anfibolito a granulito, com idade máxima de deposição em 2,03 Ga e metamorfismo principal no intervalo de 2,20-2,00 Ga. A evolução do CCC está associada a amalgamação dos terrenos Trairão-Anauá (2,4-2,3 Ga), com blocos mais antigos. O CIO marca a evolução pós-colisional da orogenia, sendo formado por vulcanitos e granitoides de colocação rasa, com idades entre 1,99 Ga e 1,96 Ga, que bordejam a norte o CCC. O CRU é composto por granitoides de colocação mais profunda e gnaisses, com idades concentradas no intervalo 1,96-1,92 Ga, que se estendem a sul do CCC e devem representar uma fase intracontinental, tardia, da Orogenia Akawai.

Na área de fronteira Brasil-Guiana, as rochas das unidades Serra da Prata, Maparri, Igarapé do Fogo e Kusad ocorrem em corpos, em geral lenticulares, ao longo do Cinturão Rio Urubu, ou intrusivos nas supracrustais do CCC (Figs. 1, 2).

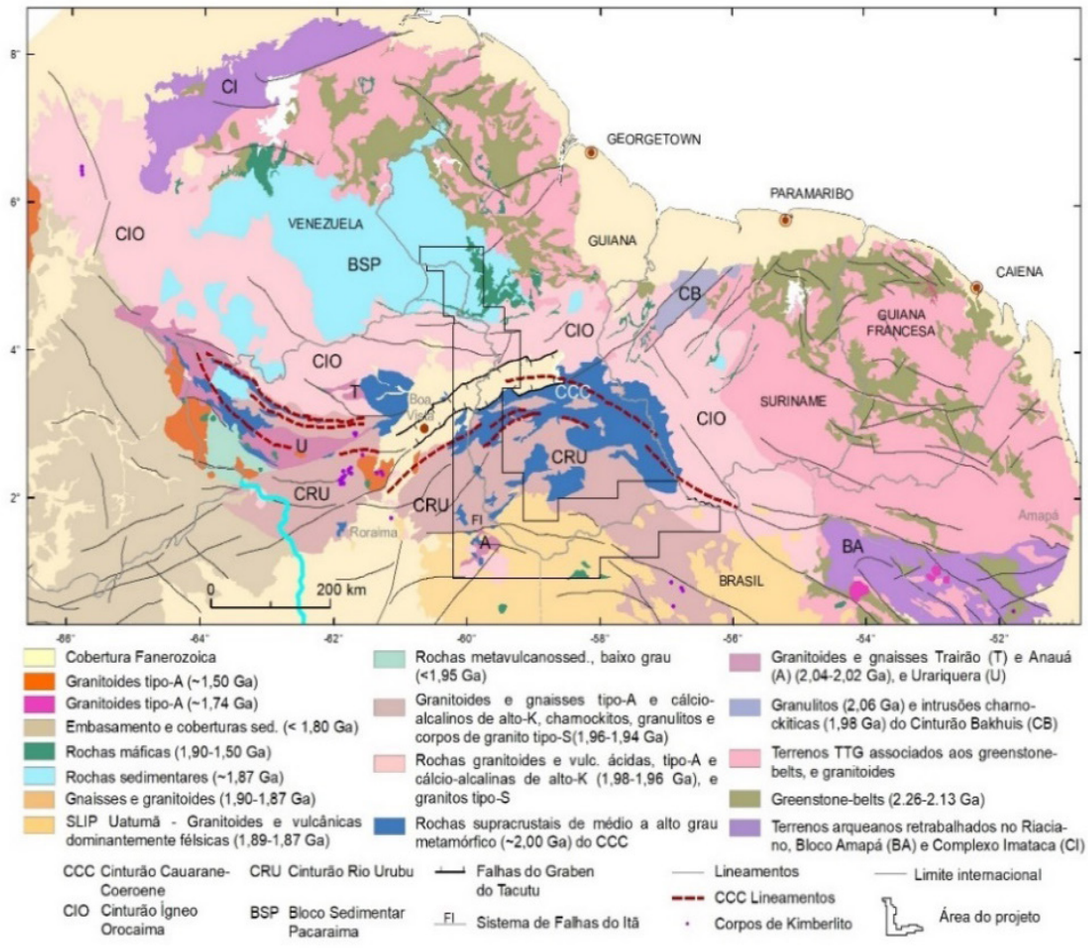


Figura 1- Mapa Geológico simplificado das porções central, nordeste e leste do Escudo das Guianas, com a localização da área do projeto Brasil-Guiana. Fraga *et al.* (2025, no prelo).

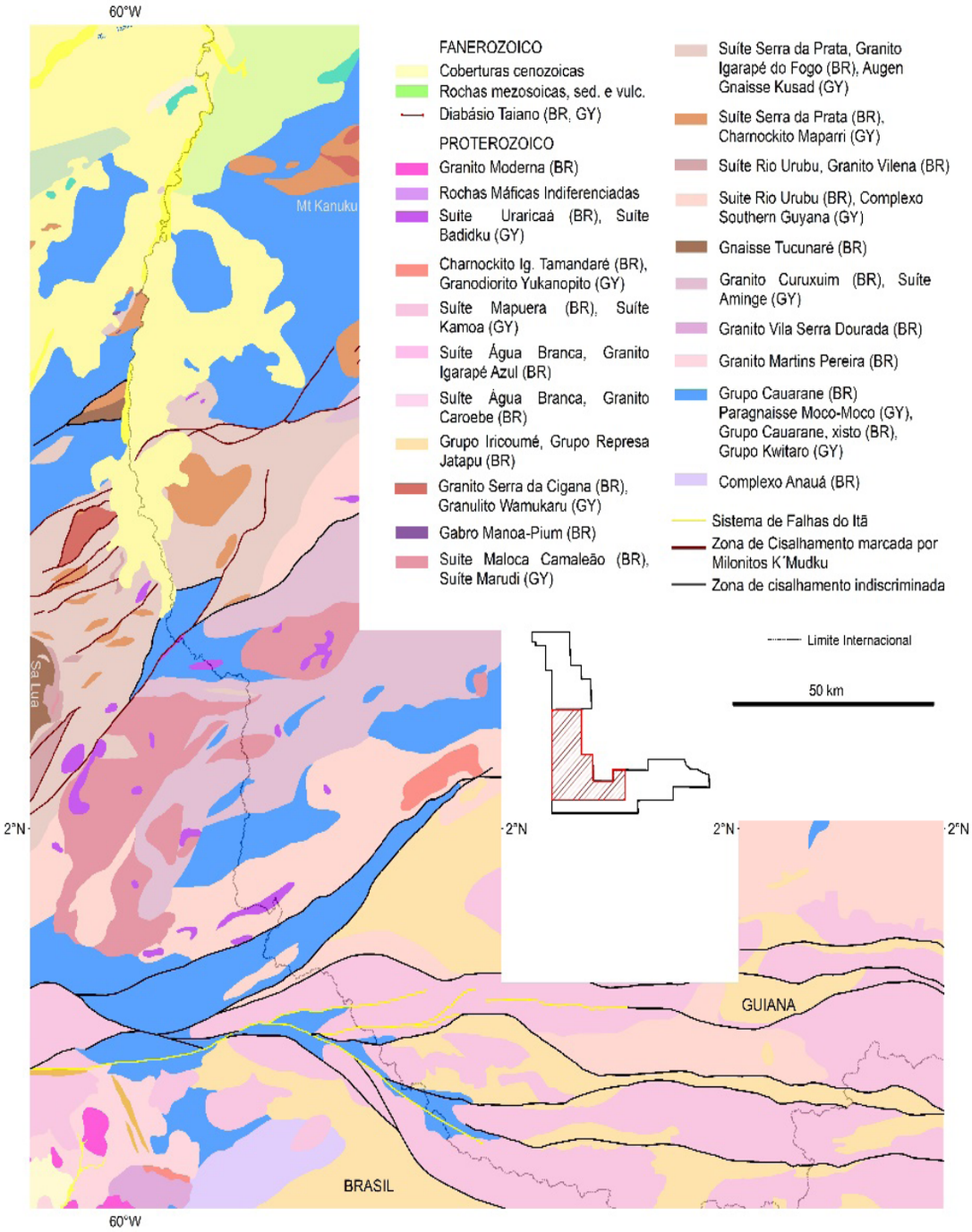


Figura 2 – Geologia da porção central da área do projeto Brasil-Guiana.

ASPECTOS MACRO E MICROSCÓPICOS

Na região de fronteira predominam rochas charnockíticas a enderbíticas, acinzentadas a amarronzadas, médias a grossas, com certa frequência porfiríticas. Texturas hipidiomórfica ou alotriomórfica granular estão preservadas nas rochas menos deformados e gradam a tramas granoblástica ou lepidoblástica nos tipos gnáissicos. O plagioclásio é geralmente, antipertítico e o feldspato alcalino micro-pertítico. A hornblenda verde-oliva a verde-azulada, a biotita marrom-avermelhada e os piroxênios são os minerais máficos essen-ciais, com ortopiroxênio predominando sobre clinopiroxênio. Zircão, ti-

tanita, alla-nita, epídoto, apatita e minerais opacos são os acessórios. A escapolita foi localmente identificada, e pode ocorrer como pórfiro-clastos em milonitos. Os minerais máficos formam glomérulos, onde os piroxênios se encontram em variados graus de desesta-bilização para biotita, hornblenda, minerais opacos, titanita e epídoto (Fig 2. a). Ocorrem ainda, simplectitos formados pelo intercrescimento de biotita com quartzo (Fig 2. b), indicativos da desestabilização / hidratação do ortopiroxênio (Ridley, 1992).

A unidade Igarapé do Fogo compreende granitoides de composição granítica a tonalítica, com mineralogia similar à descrita para a Suíte Serra da Prata, exceto pela ausência dos cristais bem preservados de piroxênios, observados na suíte. Nesses granitoides, o plagioclásio é em geral antipertítico, o feldspato alcalino é micropertítico, a biotita é marrom-avermelhada e a hornblenda é verde-oliva a verde-azulada. Os minerais máficos ocorrem em glomérulos com epídoto, minerais opacos e titanita. Relíctos de piroxênios foram identificados nesses glomérulos, sugerindo que parte dos minerais máficos se formaram pela desestabilização dos piroxênios.

As características petrográficas do Augen Gnaisse Kusad, descritas por Berrangé (1977), são similares àquelas observadas no Granito Igarapé do Fogo, incluindo biotita marron-avermelhada e hornblenda, como minerais máficos essenciais, além de relictos de piroxênio.

As rochas mais deformadas das unidades Serra da Prata, Igarapé do Fogo, Maparri e Kusad, registram intensa recristalização, com texturas poligonais sugestivas da atuação de rotação de subgrão sob temperaturas altas, acima de 600°. Feições miloníticas associadas a tempera-turas baixas a moderadas relacionadas ao episódio K´Mudku, também foram observadas.

LITOQUÍMICA E GEOCRONOLOGIA

Os resultados das análises químicas de 13 amostras da Suíte Serra da Prata, 12 do Granito Igarapé do Fogo e 2 do Charnockito Maparri são ilustradas na Figura 4, onde o campo das amostras da Suíte Serra da Prata, na sua área tipo (Fraga, 2002; Fraga *et al*. 2009), também é representado.

As rochas são subalcalinas com predomínio de tipos graníticos, monzo-graníticos e tonalíticos (Fig. 4 a), e variam de metaluminosas a discretamente peralu-minosas. Exibem uma variação relativa-mente ampla em SiO_2 (Fig. 4 b), em espe-cial, o Granito Igarapé do Fogo com 59-73 % SiO_2. No diagrama SiO_2 *versus* $FeO_t/(FeO_t+MgO)$ (Frost *et al*., 2008) (Fig. 4 b) a Suíte Serra da Prata e o Granito Igarapé do Fogo ocupam os campos dos granitos magnesianos e ferrosos e as duas amostras Maparri são magnesianas. As amostras das três unidades se superpõe parcialmente aos campos dos granitos do tipo-A, e do tipo-I caledonianos (Fig. 4 b). Os valores relativamente altos do mg# (0,39-1,76), CaO (1,36-5,7%), e Zr (180-541 ppm) diferenciam as rochas das unidades estudadas daquelas das séries AMCG, e requerem fontes mais oxidadas.

No diagrama de discriminação tectônica Rb *versus* Y+Nb de Pearce *et al.* (1984), as amostras plotam no campo das rochas pós-colisionais (Fig. 4c).

Os padrões de distribuição dos ETR são similares para as três unidades, com fracionamento dos ETR leves em relação aos pesadas e anomalias negativas de Eu moderadas a discretas. Da mesma forma, as unidades mostram padrões semelhantes de distribuição de multielementos (Fig. 4f). As amostras são ricas em LILEs, com conteúdos altos em Rb, Ba, K e Zr, e empobrecidas em Ta, Nb, Sr, P e Ti, com algumas amostras da Suíte Serra da Prata e do Granito Igarapé do Fogo, empobrecidas em Hf (Fig. 4f).

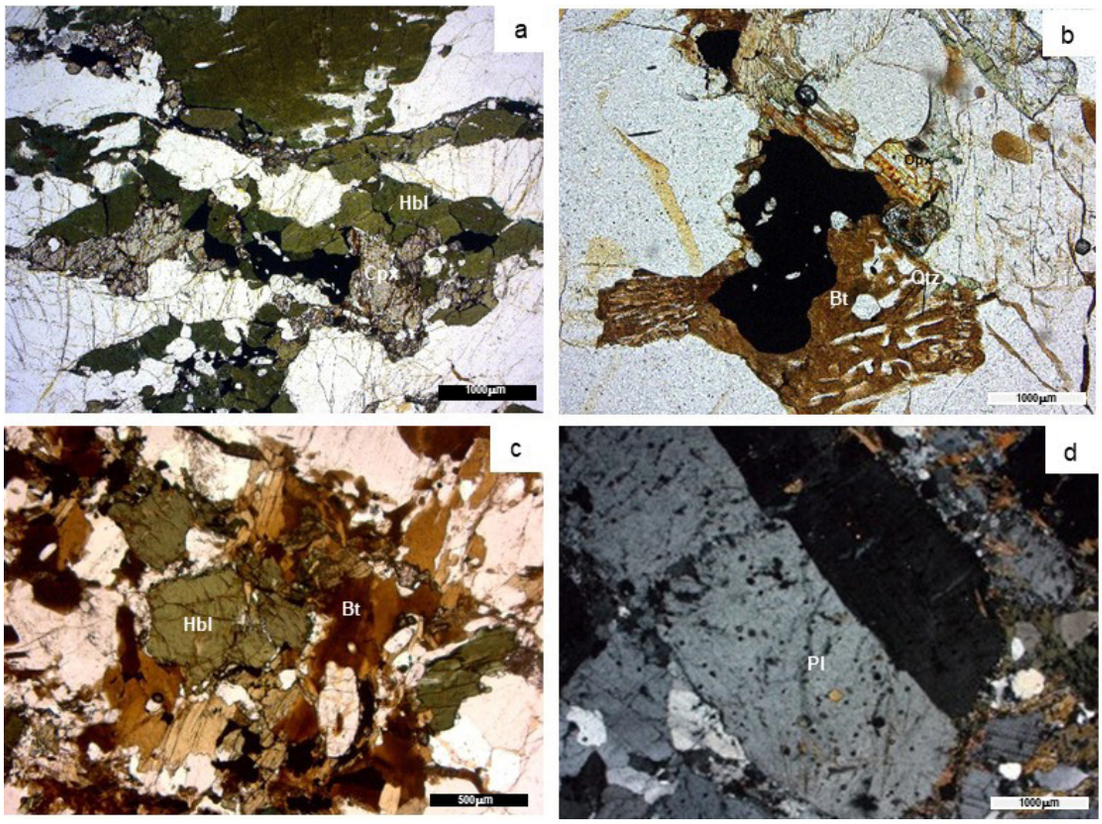


Figura 3 - Aspectos microscópicos da Suíte Serra da Prata (a) (b) e do Granito Igarapé do Fogo (c) (d). (a) Hornblenda (Hbl), associada a clinopiroxênio (Cpx), e minerais opacos. PPL; (b) Biotita (Bt) com intercrescimento de quartzo (Qtz). PPL; (c) Agregado de biotita avermelhada e hornblenda, com titanita, epídoto e minerais opacos. PPL; (d) Plagioclásio (Pl) antipertítico. XPL.

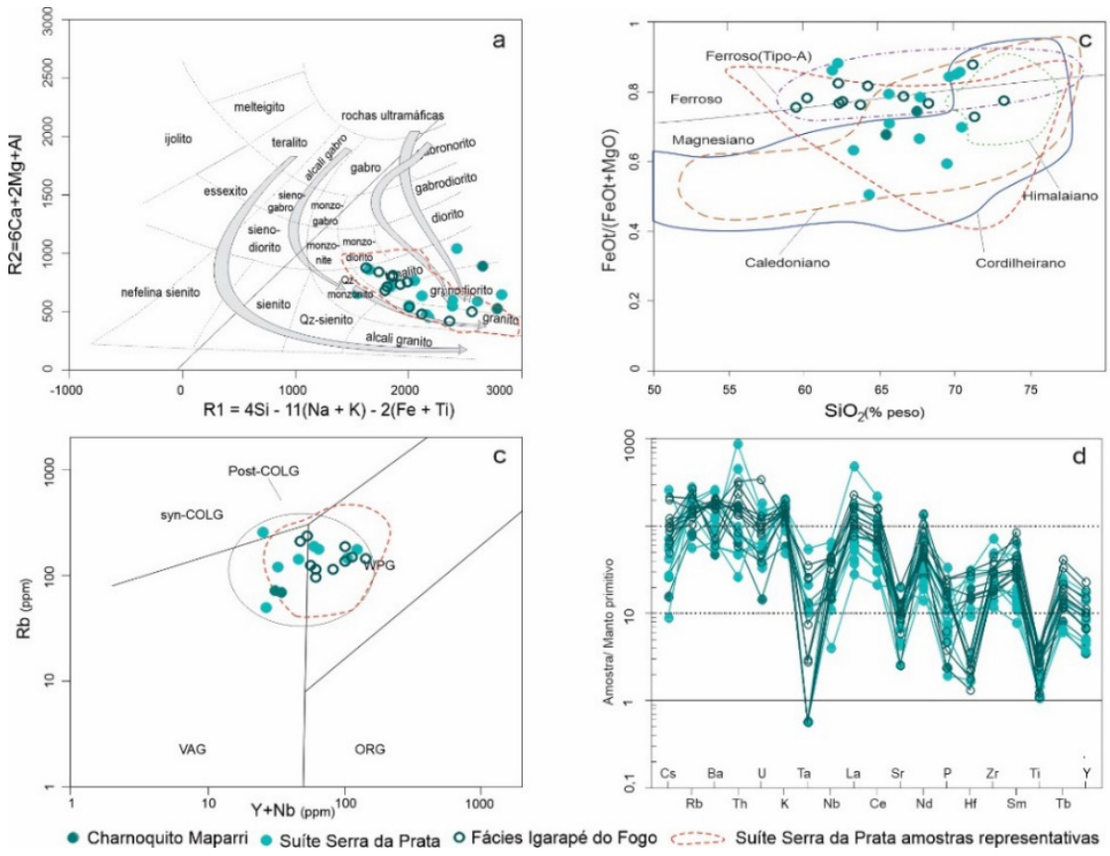


Figura 4 – Aspectos litoquímicos da Suíte Serra da Prata, do Granito Igarapé do Fogo e do Charnockito Maparri: (a) Diagrama R1-R2 (De la Roche *et al*., 1980); (b) Diagrama SiO_2 vs. $FeO_t/(FeO_t/MgO)$ (Frost *et al*., 2008) com campo de distintas series magmaticas; (c) Diagrama Rb vs. Y+Nb de Pearce *et al.* (1984); (d) Padrão de distribuição de multielementos (normalizados ao manto primitivo de Wood, 1979).

Foram obtidas idades U-Pb em zircão (LA-ICP-MS) de 1957±14 Ma e 1962±18 Ma para o Charnockito Maparri, e de 1966±24 Ma, para o Augen Gnaisse Kusad.

Considerando a variação do erro analítico, as idades calculadas s**ão próximas àquelas mencionadas por Fraga** *et al*. (2024) para o CRU, sendo porém algo mais elevadas do que aquelas previamente citadas para a Suíte Serra da Prata na porção central do estado de Roraima (1925-1943 Ma, Fraga *et al.*, 2009; Santos, 2003).

DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

No Brasil, o não reconhecimento / ausência de piroxênios nas lâminas previamente descritas, levou CPRM (1999) e Lopes *et al.* (2021) a relacionarem os granitoides hoje englobados no Granito Igarapé do Fogo, à Suíte Rio Urubu. Porém, os estudos petrográficos demonstraram que essa "ausência" se deve em grande parte à hidratação e desestabilização dos piroxênios. A identificação da escapolita nas rochas charnockíticas, por outro lado, merece atenção futura. De acordo com Hamisi *et al*., (2023), esse mineral pode exercer influência importante nos processos de mineralização hidrotermal.

Os dados de litoquímica corroboram as observações petrográficas. Nos diagramas da Figura 4 as amostras do Granito Igarapé do Fogo exibem um comportamento similar àquelas da Suíte Serra da Prata e do Charnockito Maparri.

A partir do exposto, os granitoides Igarapé do Fogo e Kusad são considerados como parte do magmatismo charnockítico, indicando uma distribuição mais ampla deste magmatismo na parte central do Escudo das Guianas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Berrangé J.P. (1977). The Geology of Southern Guyana, South Am.. Inst. *Geol. Sci. Overseas Memoir*, 4, 112 p.

CPRM (1999). Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Roraima Central, Folhas NA.20-X-B e NA.20-X-D (integrais), NA.20-X-A, NA.20-X-C, NA.21-V-A e NA.21-V-C (parciais). Escala 1:500.000. Roraima. Superintendência Regional de Manaus, 166 p. CD-ROM.

De la Roche, H. D., Leterrier, J. T., Grandclaude, P., & Marchal, M. (1980). A classification of volcanic and plutonic rocks using R1R2-diagram and major-element analyses -its relationships with current nomenclature. *Chemical geology*, *29* (1-4), 183-210.

Fraga, L.M., 2002. A Associação Anortosito-Mangerito Granito Rapakivi (AMG) do Cinturão Guiana Central e suas encaixantes paleoproterozóicas: Evolução Estrutural, Geocronologia e Petrologia. Doctoral Thesis, Universidade Federal do Pará, Belém, 351p.

Fraga L.M.B. e Cordani U.G. (2019). Early Orosirian tectonic evolution of the Central Guiana Shield: insights from new U-Pb SHRIMP data. In: 11th Interguiana Geological Conference: Tectonics and Metalogenesis of NE South America. Paramaribo, Suriname, *Geologisch Mijnbouwkundige* Dienst Suriname. Medeling 29: 59-62.

Fraga, L.M.B., Cordani U.G., Dreher A.M., Sato, K., Reis N.J., Nadeau S., de Roever, E.W.F., Kroonenberg, S.B., Maurer V.C. (2024). Early Orosirian belts of the central Guiana Shield, northern Amazonian Craton: U-Pb geochronology and tectonic implications. *Precambrian Research*, 407 (2024) 107362.

Fraga, L.M.B., Macambira, M.J.B., Dall'Agnol, R., Costa, J.B.S. (2009). 1.94-1.93 Ga charnockitic magmatism from the central part of the Guiana Shield, Roraima, Brazil: single zircon evaporation data and tectonic implications. *J. South Am. Earth Sci*., 27, 247–257.

Fraga, L.M.B., Reis N.J., Nadeau S., Scandolara J. E., Faraco M. T. L, Betiollo L.M., Lachhman D., Ault R. and Da Silva, G. B. (2025) Geological and geodiversity mapping project at the Brazil-Guyana border. CPRM-GGMC. No prelo.

Frost, B. R., & Frost, C. D. (2008). A geochemical classification for feldspathic igneous rocks. *Journal of Petrology*, *49* (11), 1955-1969.

Hamisi, J., Etschmann, B., Tomkins, A., Pitcairn, I., Pinter, Z., Wlodek, A., Morrissey, L., Micklethwaite, S., Trcera, N., Mill, S., Brugger, J. (2023). Complex sulfur speciation in scapolite – Implications for the role of scapolite as a redox and fluid chemistry buffer in crustal fluids. *Gondwana. Research,* 121, 418–435.

Lopes, P.R.S., Oliveira, A.C.S., Goulart, L.E.A., Silva, S.R.A., Aguiar, L., Lira, R.R.C., Garcindo, L.B., Queiroz, L.C., Souza, A.G.H. (2021). Mapa Geológico do Centro-Sudeste de Roraima. Manaus: SBG-CPRM. 1:500.000.

Pearce, J.A., Harris, N.B.W., Tindle, A.G. (1984). Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. Journal of Petrology, 25, 956–983.

Ridley, J.R. (1992). On the origin and tectonic significance of the charnockite suite of the Archean Limpopo Mobile Belt, Northern Marginal Zone, Zimbabwe. *Precambrian Research*, 55: 407-427.

Santos J.O.S. (2003). Geotectônica dos Escudos das Guianas e Brasil Central. In: L.A.Bizzi, C. Schobbenhaus, R.M. Vidotti, J.H.Gonçalves (eds.) *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*: texto, mapas e SIG. CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Cap. 4, p. 169-226.

Wood, D.A. (1979). A Variably veined suboceanic upper mantle-genetic significance for mid-ocean ridge basalts from geochemical evidence. *Geology*, v7, n.10, pp. 499-503.

A ANATOMIA DE UM DOMO: MAPEAMENTO GEOLÓGICO DE DETALHE NO DOMO DE MONTE ALEGRE, BORDA NORTE DA BACIA DO AMAZONAS, PARÁ

Eduardo Fernandes Da Silva Pinto[1]; Rick Souza De Oliveira [1]; Williamy Queiroz Felix[1,2]

[1]Universidade Federal de Oeste do Pará - UFOPA;
[2]Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica - PPGG-UFPA

eduardoasd69@gmail.com; rick.oliveira@ufopa.edu.br; williamy@ufpa.br

RESUMO

O Domo de Monte Alegre, localizado na margem esquerda do rio Amazonas, no Pará, representa uma feição tectônica singular no contexto da Bacia do Amazonas, tradicionalmente interpretada como uma bacia de evolução predominantemente extensional. A origem do domo é alvo de debate, sendo associada tanto a processos de intrusão magmática quanto à reativação compressiva de falhas durante eventos tectônicos mais recentes. Este trabalho apresenta os resultados de um mapeamento geológico de detalhe na escala 1:25.000, integrando centenas de dados estruturais, incluindo acamamentos, dobras e falhas. O mapeamento revela que o Domo de Monte Alegre é caracterizado por uma disposição semicircular dos estratos, com mergulhos suaves de 5° a 15° na porção leste do Domo, as camadas mais próximas a Falha Itauajuri possuem mergulhos altos de 45° a 75°. Estes são interrompidos por uma falha compressional significativa nas porções leste e sudoeste. As unidades litoestratigráficas mapeadas incluem as formações Ererê, Barreirinhas, Curiri, Oriximiná, Faro e Monte Alegre, com espessuras variando de 100 a 400 metros. A análise estrutural indica que a gênese do domo está diretamente vinculada a uma fase compressional que gerou uma estrutura anticlinal controlada por falhas, particularmente evidente na região nordeste, próxima à Falha Itauajuri. A geometria da seção geológica construída confirma que o soerguimento do domo é controlado por compressão e reativação de estruturas pré-existentes. Além disso, a relação entre a tectônica e a evolução geomorfológica local explica a preservação dos arenitos da Formação Monte Alegre, que abrigam importantes sítios arqueológicos com registros rupestres. Desta forma, é possível concluir que o Domo de Monte Alegre é resultado de um evento deformacional compressivo de uma única fase, com forte controle estrutural por falhas inversas, representando um importante exemplo de tectônica positiva na Bacia do Amazonas.

PALAVRAS-CHAVE: Tectônica compressional; Falha inversa; Deformação; Mapeamento geológico.

INTRODUÇÃO

A evolução das bacias paleozoicas do Norte do Brasil é comumente associada à tectônica exclusivamente sinéclise, sem grandes complexidades estruturais. Contudo, a estrutura dômica de Monte Alegre, demonstra que localmente podem ocorrer eventos compressionais em meio à tectônica extensional regional.

À margem esquerda à jusante do Rio Amazonas, a aproximadamente 10 km a sudoeste da sede do município de Monte Alegre, destaca-se em meio a planície, uma proeminente feição topográfica em formato dômico alongado na direção do eixo NE-SW, com elevações que podem alcançar os 120m. Com primeiros relatos creditados a Hartt (1870), o pioneiro do estudo das Geociências no Brasil, essa morfologia montanhosa tem sido tema dos mais diversos estudos (Pastana *et al*., 1978; Pastana, 1999; Lopes, 2005; Almeida & Pinheiro, 2007; Figueira, 2011). Entretanto, deve-se a Montalvão & Oliveira (1975), mais de cem anos depois, a interpretação da sua origem eojurássica relacionada às intrusões toleíticas básicas do evento magmático Penatecaua e a denominação da estrutura como braquianticlinal, com 30 km de comprimento e 20 km de largura. Caputo (2011) afirma que a feição do domo de Monte Alegre é uma estrutura local multifásica estabelecida apenas em parte da Plataforma de Alenquer, relacionada a Tectônica Terciária (Diastrofismo Xingu). Almeida & Pinheiro (2007) atribuem o Domo de Monte Alegre a um possível exemplo de estrutura de inversão tectônica positiva, mediante reativação de falhas, sugerindo um papel secundário às intrusões para o soerguimento da estrutura. Figueira *et al*. (2012) atribuíram a implantação Jurocretácea do domo a uma fase de deformação associada ao magmatismo Penatecaua, e outra fase resultante da compressão da placa Sul-americana, em função do seu travamento pelas placas de Nazca e Cocos associadas ao Diastrofismo Juruá.

Este trabalho apresenta os resultados do mapeamento geológico realizado na região do Domo de Monte Alegre (1:25.000), com ênfase na caracterização das principais feições estruturais e unidades litoestratigráficas presentes. A partir desses dados, foram construídas seções geológicas orientadas segundo a direção do maior esforço com o objetivo de ilustrar a deformação afetou o Domo de Monte Alegre.

MATERIAL E MÉTODOS

O mapeamento foi realizado na zona rural do município de Monte Alegre, Pará, por meio de caminhamentos ao longo de toda a extensão do Domo de Monte Alegre. Foram analisados afloramentos do tipo lajedos, *cuestas* e cortes de estrada. Os dados coletados resultaram e um banco de dados com ~250 pontos de afloramentos, 620 atitudes de acamamento e dezenas de medidas de dobras e falhas. A identificação das unidades litoestratigráficas foram realizadas por meio da análise de fácies e empilhamentos estratigráficos utilizando a técnica da visada por meio da "vara de Jacó" para a correção de espessuras aparentes. Para a definição dos contatos entre as unidades, foi utilizado a técnica do contorno estrutural mediante mergulho de acamamentos. E no final foi confeccionado um mapa geológico na escala 1:25.000.

RESULTADOS

As camadas presentes no Domo de Monte Alegre possuem estratos com mergulho em uma clara disposição entre 5 a 15°, de SW a NE, resultando em um padrão semicircular, interceptado abruptamente a leste e sudoeste por uma falha compressional (Fig. 1). A disposição das unidades é, em grande parte, controlada pela geomorfologia em cuestas e variações de cotas topográficas entre 23 a 413 metros, com a tendência

de relevos mais planos na região central do Domo, evidenciado sua estruturação braquianticlinal. Em termos litoestratigráficos, o Domo de Monte Alegre é composto pelas formações Ererê (~200m de espessura), Barreirinhas (~200m de espessura), Curiri (~330m de espessura), Oriximiná (~400m de espessura), Faro (~220m de espessura) e Monte Alegre (~100m de espessura). A região NE do domo, junto à estrutura classicamente referida como Falha Itauajuri, é marcada por uma abrupta mudança no padrão de acamamentos, o que confere uma disposição das faixas sedimentares alinhadas no sentido N-S. Outro ponto de destaque reside nas falhas paralelas na porção SW do Domo, onde ocorrem arenitos estratificados da Formação Monte Alegre, depositados no Pensilvaniano em sistema fluvial entrelaçado de clima desértico (Costa *et al*., 2020) e também conhecidos por suas cavernas e grafismos rupestres datados de cerca de 11.000 anos (Pereira e Moraes, 2019; Roosevelt *et al*., 1996), o que torna estes depósitos uma importante atração turística na região Amazônica.

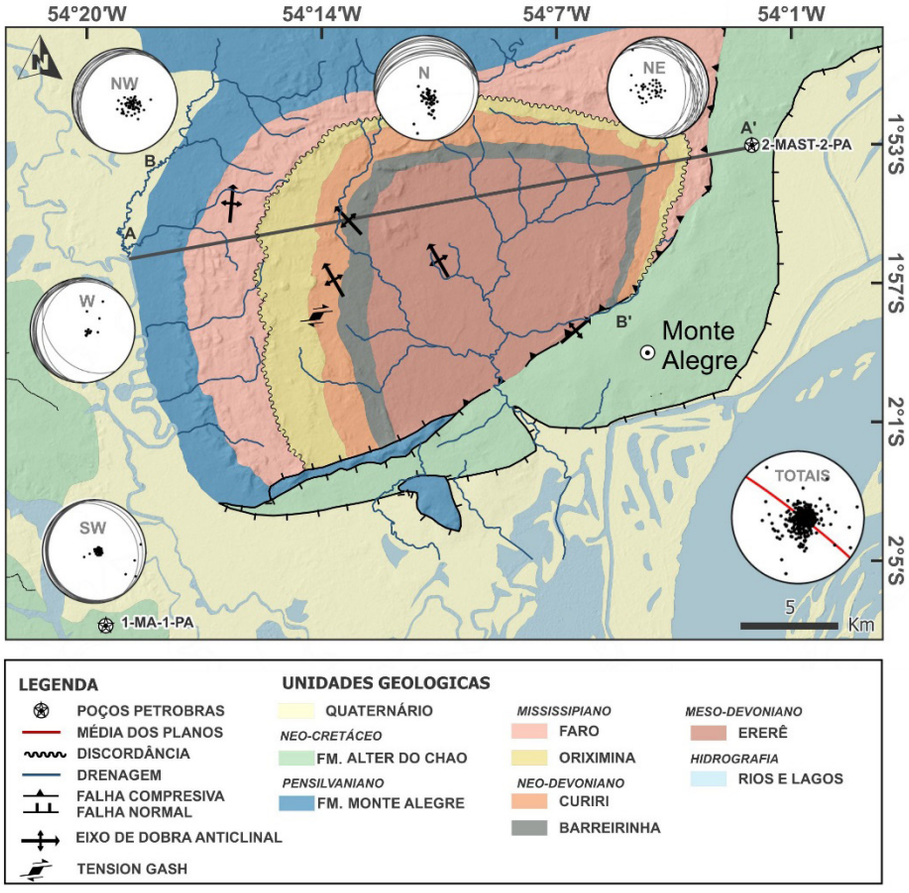


Figura 1 – Mapa geológico da região de Monte Alegre produzido durante esta pesquisa, ressaltando a estrutura dômica braquianticlinal, acamamentos e principais falhas e dobras. Depósitos quaternários foram baseados em Vasques *et al.,* 2008.

DISCUSSÕES

A seção geológica A-A' demonstra claramente que o Domo de Monte Alegre corresponde a uma estrutura anticlinal controlada por falha (Fig. 2). Localmente, dobras e falhas de menor porte replicam o mesmo padrão deformacional e confirma o modelo estrutural (Fig. 3).

A expressiva mudança nos padrões de acamamento na região NE do domo, resultando em um alinhamento com a falha, sugere um forte controle por meio da compressão junto à referida falha.

Na região do Parque de Monte Alegre (Caverna Pintada) é possível observar pares de fraturas em formato de *Host* (Fig. 4). Por fim, nossos dados permitem perceber que as exposições que compõem o Parque estadual de Monte Alegre são produto de um forte controle estrutural por meio de *hosts* resultantes de ramificações da falha principal do Domo de Monte Alegre.

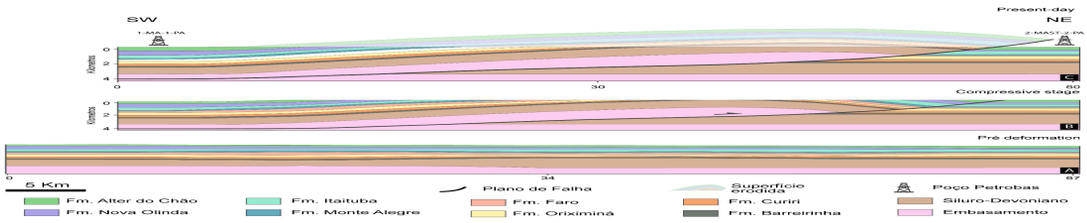


Figura 2 – Seção geológica A-A' sem exagero em disposição próxima ao eixo do Domo de Monte Alegre.

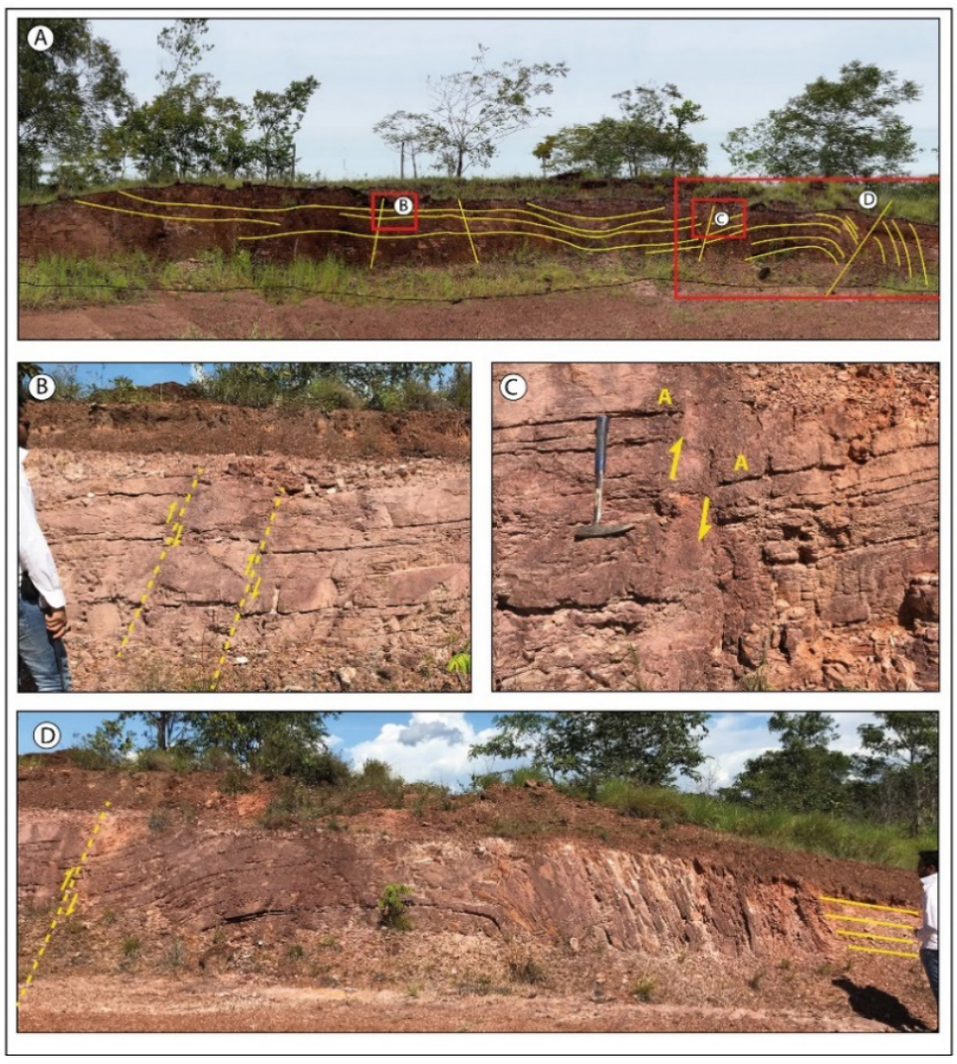


Figura 3. (A) Visão geral de um afloramento em corte de estrada da Formação Ererê. (B–C) Detalhes do afloramento destacando falhas inversas. (D) Porção dobrada configurando uma dobra monoclinal; em amarelo, destaca-se o movimento inverso das falhas (à esquerda) e o retorno das camadas à sua atitude regional (à direita).

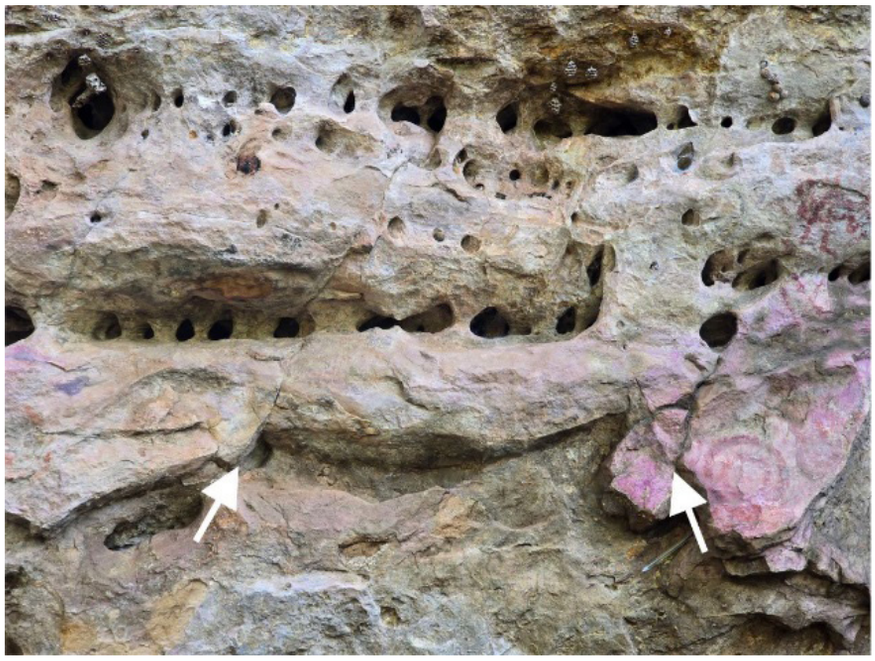


Figura 4. Par de fraturas formando um *Host,* indicado por setas brancas.

CONCLUSÕES

O Domo de Monte Alegre é composto pelas formações Ererê, Barreirinhas, Curiri, Oriximiná, Faro e Monte Alegre. A forma braquianticlinal e em especial as unidades litoestratigráficas aflorando em disposição NNE-SSW na porção NE do Domo de Monte Alegre, demonstram um evento deformacional simples, composto por uma única fase compressional associada à falha que limita a estrutura à leste.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer à Universidade Federal do Oeste do Pará, que por meio do Instituto de Engenharia e Geociências financiou as campanhas de campo que resultaram nessa pesquisa. Um agradecimento especial aos alunos de professores que participaram das diversas edições da disciplina Mapeamento de Campo I, cujo trabalho minucioso resultou em uma importante base de dados, fundamental para a produção deste manuscrito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, C. & Pinheiro, R.V.L. (2007). O Domo de Monte Alegre como possível exemplo de estrutura de inversão tectônica positiva no contexto da Bacia do Amazonas – PA. XI SNET e V International Symposium on Tectonics of the SBG, SBG - NE, Natal (2007), pp. 41-44

Caputo, M.V. (2011, 30 de maio). *Discussão sobre a Formação Alter do Chão e o Alto de Monte Alegre*. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/275892788_Discussao_sobre_a_Formacao_Alter_do_Chao_e_o_Alto_de_Monte_Alegre.

Costa, M.C. Oliveira, RS. Barbosa, R.C.M.; Mota, C. B. (2020). Early Pennsylvanian fluvial - Aeolian interplay in the Amazonas Basin (central-western Gondwana) and its relation to marine transgression. Journal of South American Earth Sciences, 112, 103574. https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102857

Figueira, I.F.R. (2011). Tectônica deformadora do Domo de Monte Alegre – Pará. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 151p.

Figueira, I.F.R.; Dalamuni, E.; Mancini, F. (2012). Deformação rúptil em rochas do magmatismo Penatecaua no domo de Monte Alegre (PA). Revista Brasileira de Geociências, 42(4): 772-784.

Hartt, C.F. (1870). Geology and Physical Geography of Brazil. Robert E. Krieger Publ. Company, New York, Impressão de 1975, 620p.

Lopes, E.C. dos S. (2005). Estudos hidrogequímicos e geofísicos na região da braquidobra de Monte Alegre-PA. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará, 87p.

Montalvão. R.M.G.; Oliveira. A.S. (1975). Geologia Branquianticlinal de Monte Alegre e da Rodovia Monte Alegre – Prainha. Belém, Projeto Radam Brasil. Folha SA.21, DNPM, 409p. 1975.

Pastana, J.M.N., Souza, A.M.M., Vale, A.G.V., Faria, C.A.S., Santos, M.E., Assunção, P.R.S., Frizo, S.J., Lobato, T.A.M. (1978). Projeto sulfeto de Alenquer, Monte Alegre, relatório final. Ministério das Minas e Energias. Departamento Nacional de Produção Mineral, convênio DNPM/CPRM.

Pastana, S.M.N. (1999). Síntese geológica e favorabilidade para tipos de jazimentos minerais do Município de Monte Alegre-PA. Belém, CPRM/PRIMAZ. 34p. Relatório Técnico.

Pereira, E. da Si., Moraes, C. de P., (2019). A cronologia das pinturas rupestres da Caverna da Pedra Pintada, Monte Alegre, Pará: revisão histórica e novos dados the chronology of the cave paintings in the Pedra Pintada Cave, Monte Alegre, Pará: historical review and new data, Bol. do Mus. Para. Emilio GoeldiCiencias Humanas, 14, 327–341..

Roosevelt, A.C., Lima Da Costa, M., Lopes Machado, C., Michab, M., Mercier, N., Valladas, H., Feathers, J., Barnett, W., Imazio Da Silveira, M., Henderson, A., Silva, J., Chernoff, B., Reese, D.S., Holman, J.A., Toth, N., Schick, K. (1996). *Paleoindian cave dwellers in the Amazon: the peopling of the Americas.* Science 272. (80), 373–382. https://doi.org/10.1126/science.272.5260.373.

Vasques, M.L., Souza, C.S., Carvalho, J.M.A. (2008). *Mapa geológico e de recursos minerais do Pará*, escala 1:1000.000. CPRM Belém.

THE GEOLOGY OF THE BRAZIL – GUYANA BORDER REGION

Lêda Maria Fraga[1]; Serge Nadeau[2]; Nelson Joaquim Reis[1]; Jaime Estevão Scandolara[1]; Jimmy Reece[2]; Deokumar Lachhman[2]; Randy Ault[2]; Gabrielle Barbosa da Silva[3]

[1]Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM); [2] Guyana Geology and Mines Commission (GGMC); [3] private company

leda.fraga@sgb.gov.br; goldenserge@hotmail.com

SUMMARY

The geology of the Brazil-Guyana border region was refined and harmonized through a 1:1,000,000-scale geological mapping project carried out by the geological surveys of Guyana (GGMC) and Brazil (SGB-CPRM). The characterization and correlation of lithostratigraphic units along the border were based on the interpretation of airborne geophysics (in Brazil) and SRTM images combined with field mapping, petrographic studies, geochemical analyses, and dating results, and also the integration and re-evaluation of all the available geological information. The main results are presented.

KEYWORDS: Brazil-Guyana Border, Geology, Lithostratigraphy, Guiana Shield.

INTRODUCTION

The GEOLOGICAL AND GEODI- VERSITY MAPPING PROJECT OF THE BRAZIL – GUYANA BORDER was carried out through an agreement signed between Brazil and Guyana. It was developed under the coordination of the Brazilian Cooperation Agency (ABC), which is part of the Brazilian Ministry of Foreign Affairs (MRE), and the Ministry of Natural Resources of Guyana and executed by the Geological Survey of Brazil (SGB/CPRM) and the Guyana Geology and Mines Commission (GGMC).

The studied area occupies the central portion of the Guiana Shield along the border between the countries, which extends for about 1600 km (Fig. 1).

The project aimed to improve and harmonize the geological information, on a scale of 1:1,000,000, as well as to locate the occurrences of mineral resources and characterize the geodiversity of the Brazil- Guyana border region. GIS maps and reports are in the final stage of editing (Fraga *et al*., 2025, in preparation).

We present the main advances achieved in the geological correlation along the border between the two countries.

METHODOLOGY

The geological map (Fig. 2) was prepared based on the interpretation of airborne geophysics (in Brazil) and shaded relief images from the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), combined with fieldwork and the integration and re- evaluation of all the available geological information, including maps and reports.

Fieldwork focused on the central part of the area, south of the Takutu Graben and north of the Itã Fault System, and the northern portion of the border region, north of the graben, which are more accessible (Fig. 2). During fieldwork the bi-national team described 97 outcrops and collected 89 rock samples.

The study of 247 thin sections was made by the SGB-CPRM and U-Pb zircon LAICP-MS analyses of 16 samples from Guyana were carried out by GGMC at the Mineral Resources Laboratory of Nanjing University, China (Nadeau *et al*., 2013; 2023).

Eighty-one geochemical analyses for major, minor and trace elements were carried out and interpreted together with 65 analyses available from previous works for the Brazilian part of the project area.

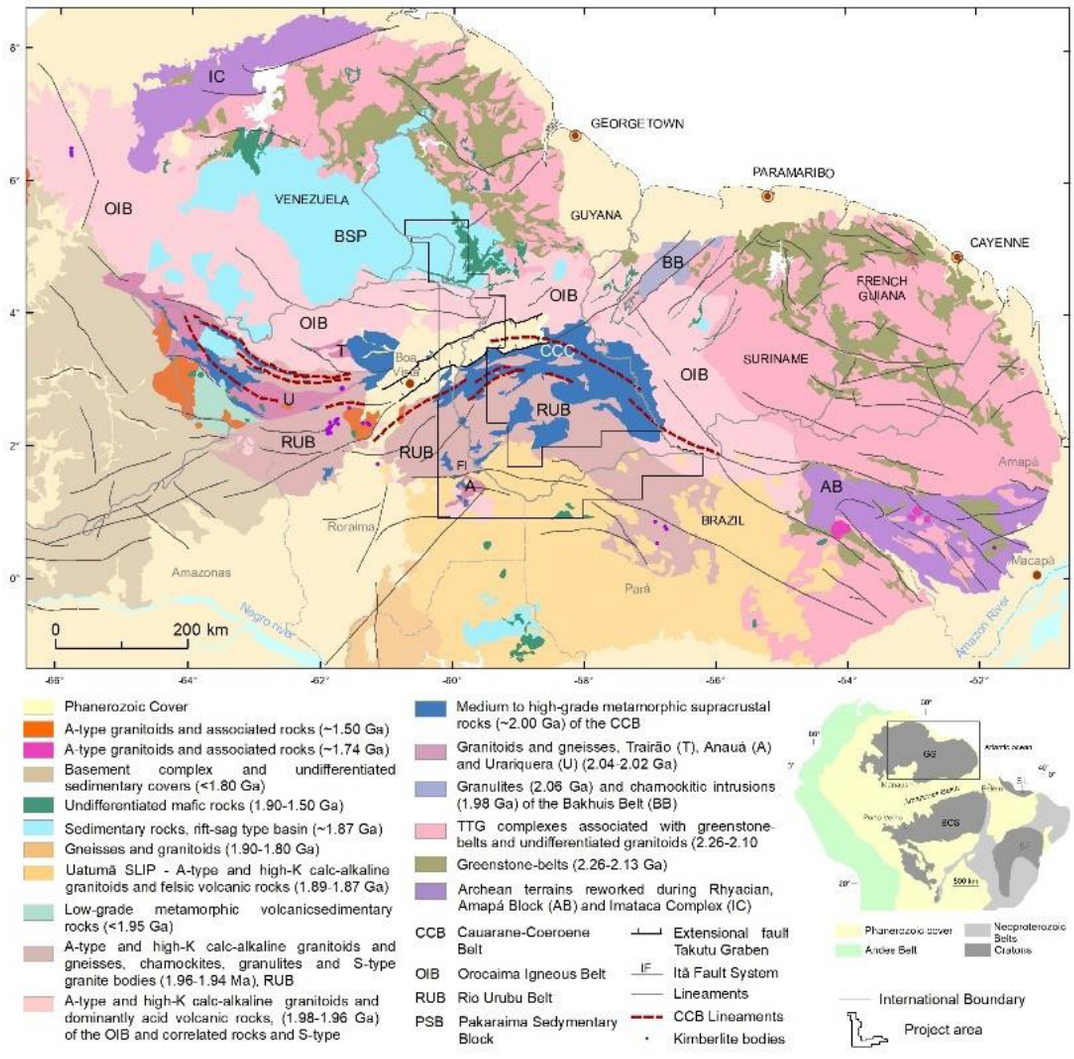


Figure 1- Geological Map of the Guiana Shield (Fraga *et al*., 2025, in preparation).

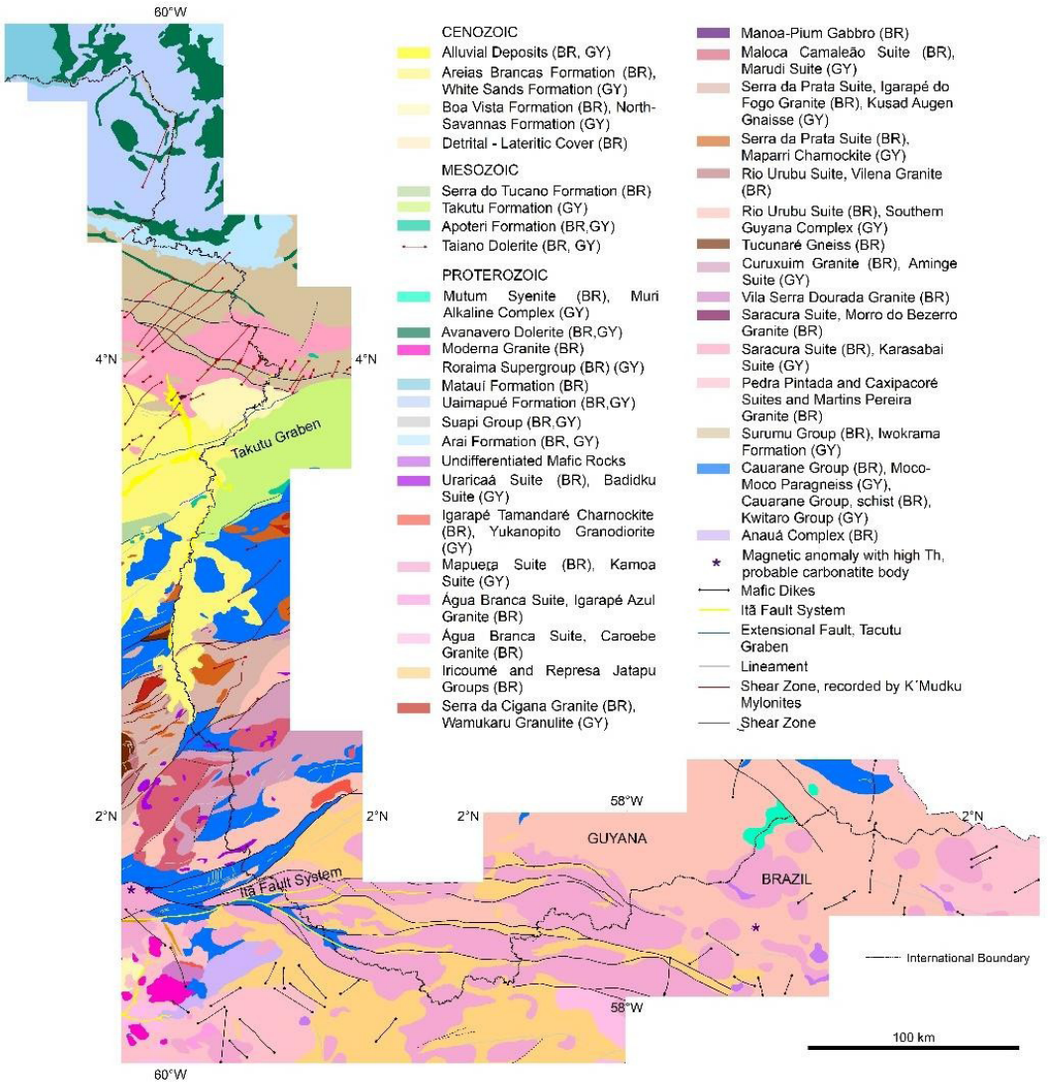


Figure 2- Simplified Geological Map of the Brazil-Guyana border area.

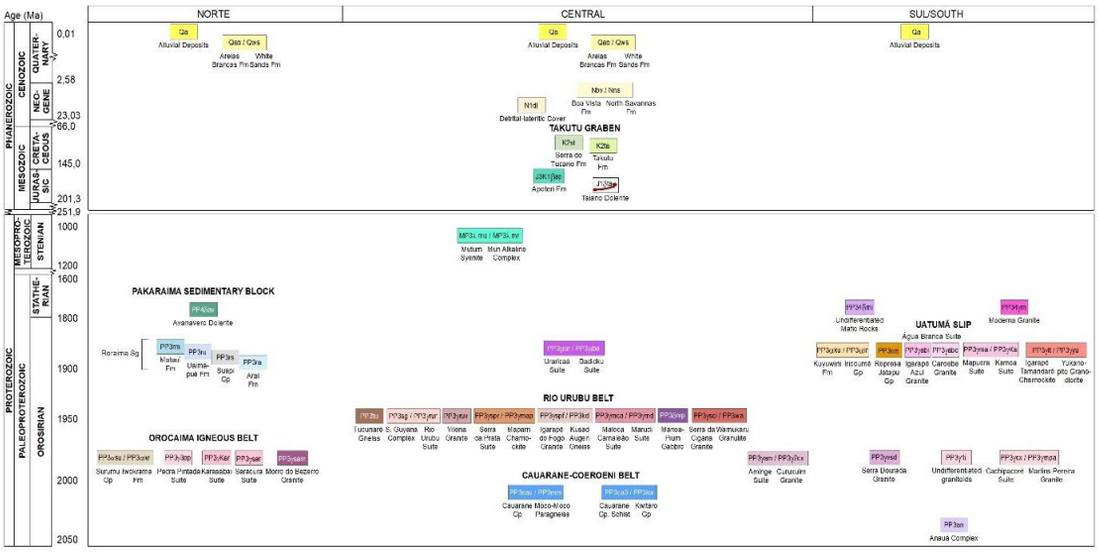


Figure 3 - Tectonostratigraphic table of the project area.

RESULTS, DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Lithostratigraphic units from the Paleoproterozoic to the Cenozoic were correlated across the Brazil-Guyana border (Figs. 2, 3).

The amphibolite to granulite facies supracrustal rocks of the Cauarane Group, in Brazil, and the Moco-Moco Paragneiss and Kwitaro Group, in Guyana, occur within the Cauarane - Coeroeni Belt (CCB) (Figs. 1, 2), defined by Fraga *et al.* (2024). Upper amphibolite to granulite facies, (cordierite) - (garnet) - sillimanite - biotite gneisses and orthopyroxene - spinel -(cordierite) - (garnet) - sillimanite - biotite gneisses, are included in the Cauarane and Moco-Moco units and (cordierite) - (sillimanite) - (garnet) - biotite - muscovite schists and paragneisses of amphibolite facies are part of the Cauarane Group (schist) and of the Kwitaro Group. As described by Fraga *et al.* (2024), the supracrustal units of the CCB record synkinematic metamorphism at 2.02-2.00 Ga, associated with the collisional stage of the Akawai Orogeny, as well as thermal metamorphism at 1.99-1.96 Ga, recording the formation of the post-collisional Orocaima Igneous Belt (OIB), and deformation and possibly ultra-high temperature metamorphism at 1.96-1.92 Ga. The latter tectonothermal event is related to the evolution of the Rio Urubu Belt (RUB).

Advances have been made in the characterization of units along the OIB, which extends north of the CCB and includes granitoids and volcanic rocks ranging in ages from 1.99 Ga to 1.96 Ga (Fig, 1). A-type biotite-(hornblende) granites of the proposed Karasabai Suite in Guyana, (Nadeau *et al.,* 2025, this volume) were correlated with the granites of the Saracura Suite in Brazil. The dominantly acidic volcanic rocks, consisting of ignimbrites and subordinate volcanogenic and subvolcanic sedimentary rocks, belongs to the Iwokrama Formation in Guyana, and to the Surumu Group in Brazil.

Deeply emplaced granitoids and orthogneisses of the RUB, with ages concentrated in the 1.96-1.92 Ga interval, are exposed to the south of the CCB (Fraga *et al.,* 2024) (Fig, 1). In the border area, these granitoids and gneisses received more attention and most of the petrographic studies were focused on them. Foliated biotite- (hornblende) granitoids and orthogneisses with I-type, high-K calc-alkaline affinity of the Rio Urubu Suite, in the Brazilian part of the project area, are correlated with the Southern Guyana Complex which includes a great diversity of granitoid rocks in Guyana. The Marudi and Aminge suites were redefined in Guyana and the latter suite was recognized as including muscovite-biotite S-type granites. These units were correlated in Brazil respectively with the epidote-rich biotite-(hornblende) granitic and granodioritic granitoids and gneisses, with green biotite of the proposed Maloca Camaleão Suite and the S-type Curuxuim Granite. Moreover, the charnockitic to enderbitic rocks with preserved igneous textures, or gneissic fabric, reddish-brown biotite, hornblende, and ortho- and clinopyroxene of the Serra da Prata Suite were correlated with the proposed Maparri Charnockite in Guyana (Nadeau *et al,* 2025, this volume). The Igarapé do Fogo Granite, in Brazil, and the Kusad Augen Gneiss, in Guyana, include biotite-(hornblende) gneisses and granitoids with reddish-brown biotite and local relicts of pyroxenes and are associated with the charnockitic magmatism along the RUB (Fraga *et al.,* 2025, this volume). As commented by Nadeau *et al.* (2025, this volume) the term Kanuku Complex was abandoned as the ortho-derived and para-derived lithologies originally considered as part of the complex in Guyana are now included in different units.

The A-type Serra da Cigana granitic, biotite-(hornblende) leucogneisses, in Brazil, are tentatively correlated with the acid granulites or aplogranites of the Wamukaru Granulite, in Guyana.

In the southern portion of the project area), in Brazil, the acid to intermediate pyroclastic and effusive rocks of the Iricoumé Group occur between biotite granite bodies of the Mapuera Suite, both units showing A-type lithochemical affinity. These volcanics and granitoids are related to the 1.89-1.97 Ga Uatumã SLIP (Klein *et al*., 2012). In Guyana, the extension of these volcanic and granitoid rocks were combined, forming the Kuyuwini Group (Berrangé 1977). The concept of "Group" to include the volcanic rocks and the granitoids of southern Guyana was abandoned. The volcanic rocks were included in the Kuyuwini Formation and the granites in the Kamoa Suite. Furthermore, the charnockitic rocks of the Igarapé Tamandaré unit (Lopes *et al*., 2021) in Brazil are correlated with the Yukanopito Granodiorite in Guyana.

Undeformed mafic bodies, including gabbros, gabbronorites, and hornblendites, occur throughout the RUB and belong to the Badidku Suite and the Uraricaa unit, respectively in Guyana and Brazil.

As for the northernmost part of the project area, in the Pacaraima Block (Figs. 1, 2), the sedimentary rocks (units I to IV) and the tuffaceous rocks of the Roraima Supergroup in Guyana were correlated respectively with the Arai and Uaimapué Formations (Reis *et al.,* 2017). The former including sandstones, conglomerates and subordinate siltstones and the latter consisting of sandstones and conglomerates with intercalations of pyroclastic and volcanogenic sedimentary rocks.

Dykes and sills of the Avanavero Dolerite form a LIP at 1.79-1.78 Ga (Santos *et al.,* 2003; Reis *et al.,* 2013) and cross cut the Roraima Supergroup and the regional basement rocks.

The Muri Alkaline Complex, in Guyana, (1,110 ± 26 Ma, Nadeau *et al*., 2023) is correlated with the Mutum Syenite, in Brazil. Magnetic anomalies with high Th radiometric values were identified in the southern portion of the project area, in Brazil, and probably represent alkaline or carbonatite bodies (Fig.2).

The Taiano Dolerite dikes with Ar-Ar ages around 200 Ma occur in the border region and are related to the evolution of the Takutu Graben, as well as the basaltic and andesitic lava flows of the Apoteri Formation, with Ar-Ar ages of 149.5 Ma and 153.5 Ma (Reis *et al*., 2008). The sandstones and subordinate siltstones and mudstones of the Serra do Tucano Formation, in Brazil, and the shales and mudstones, and subordinate sandstones and limestones of the Takutu Formation in Guyana, are Cretaceous sedimentary units of the graben.

The Neogene Boa Vista Formation in Brazil and the North Savannas Formation in Guyana, include sandstones and siltstones. Quaternary sandy deposits are included in the Areias Brancas Formation in Brazil, and the White Sands Formation in Guyana.

The new field data, combined with petrographic studies, interpretation of lithogeochemical and geochronological analyses, obtained within the scope of the project, allowed for a better characterization of lithostratigraphic units and correlation of the

geology along the Brazil- Guyana border (Figs. 2, 3). The data generated by the project has been partially presented in several scientific publications (Nadeau, 2011; Nadeau *et al*., 2013, 2023; Fraga *et al.*, 2024; Reis *et al*., 2017).

ACKNOWLEDGEMENTS

The governments of Guyana and Brazil are acknowledged for their collaboration and financing to make the geological mapping project on both sides of the country's border possible. Several staff of GGMC and SGB-CPRM and field helpers are also thanked for their contribution during this project.

REFERENCES

Berrangé J.P. (1977). The Geology of Southern Guyana, South America. Inst. Geol. Sci. *Overseas Memoir, 4*, 112 p.

Fraga, L.M.B., Cordani U.G., Dreher A.M., Sato, K., Reis N.J., Nadeau S., de Roever, E.W.F., Kroonenberg, S.B., Maurer V.C. (2024). Early Orosirian belts of the central Guiana Shield, northern Amazonian Craton: U-Pb geochronology and tectonic implications. *Precambrian Research*, *407*, 107362.

Fraga, L.M.B, Nadeau S., Scandolara, J., Silva, G.B., Reis N.J., (2025). As rochas charnockiticas da fronteira Brasil-Guiana, porção central do Escudo das Guianas: petrografia, litoquímica e geeocronologia. In Simp. Geol. Amaz., 18, Boa Vista, Roraima, Extended abstract.

Fraga, L.M.B., Reis N.J., Nadeau S., Scandolara J. E., Faraco M. T. L, Betiollo L.M., Lachhman D., Ault R. and Da Silva, G. B. (2025). Geological and geodiversity mapping project at the Brazil-Guyana border. Reports and GIS, CPRM-GGMC, in preparation.

Klein E.L., Almeida M.E., Rosa-Costa L.T. (2012). The 1.89-1.87 Ga Uatumã Silicic Large Igneous Province, northern South America. November 2012 LIP of the Month. http://www.largeigneousprovinces.org/12nov.

Lopes, P.R.S., Oliveira, A.C.S., Goulart, L.E.A., Silva, S.R.A., Aguiar, L., Lira, R.R.C., Garcindo, L.B., Queiroz, L.C., Souza, A.G.H. (2021). Mapa Geológico do Centro-Sudeste de Roraima. Manaus: SBG-CPRM. 1:500.000.

Nadeau S. (2011). Regional Geochemical Surveys in Guyana by the Guyana Geology and Mines Commission. In: Simp. Geol. Amaz., 12, Boa Vista, Roraima, Extended abstract, 4 p.

Nadeau S., Chen W., Reece J., Lachhman D., Ault R., Faraco M.T.L., Fraga L.M., Reis N.J., Betiollo L.M. (2013). Guyana: The Lost Hadean Crust of South America? *Brazilian Journal of Geology 43* (4): 601- 606.

Nadeau S., Fredericks L. D. and Reece J. (2023). Update on the Guyana-Brazil project and more recent zircon age results of alkaline intrusions in Southern Guyana: Makarapan Mountain and Muri Mountain Alkaline Complex. In 12th Inter Guiana Geological Conference, Georgetown, Guyana. Extended abstract.

Nadeau, S., Willson R., Babolall K., Matthews C., Reece J. and Fraga, L. M. (2025). Guyana geology revision based on the Brazil-Guyana border geological mapping project and recent age dating results. In Simp. Geol. Amaz., 18, Boa Vista, Roraima, Extended abstract.

Reis N.J., Nadeau S., Fraga L.M., Betiollo L.M., Faraco M.T.L., Reece J., Lachhman D., Ault R. (2017). Stratigraphy of the Roraima Supergroup along the Brazil-Guyana border in the Guiana shield, Northern Amazonian Craton – results of the Brazil- Guyana Border Geology and Geodiversity Mapping Project. Brazilian Journal of Geology 47(1): 43-57.

Reis N.J., Szatmari P., Wanderlei Filho J.R., York D., Evensen N.M., Smith P.E. (2008). Dois Eventos de Magmatismo Máfico Mesozóico na Fronteira Brasil – Guiana, Escudo das Guianas: Enfoque à Região do Rifte Tacutu – North Savannas. In: M.G.Silva, W.J.S. Franca-Rocha (org.), *Coletânea de Trabalhos Completos*, SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 43, Aracaju, 2006, CD-ROM.

Santos J.O.S. (2003). Geotectônica dos Escudos das Guianas e Brasil Central. In: L.A. Bizzi, C. Schobbenhaus, R.M. Vidotti, J.H.Gonçalves (eds.) *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*: texto, mapas e SIG. CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Cap. 4, p. 169-226.

MAGMATIC EPIDOTE AS A PROXY OF DEEP AND OXIDIZED MAGMATISM IN THE PALEOPROTEROZOIC BACAJÁ DOMAIN, SE AMAZONIAN CRATON

Arthur Santos da Silva Neri [1], Roberto Dall'Agnol [1], Gilmara Regina Lima Feio[2], Ingrid Roberta Viana da Cunha[3], Caio José Soares Mesquita[1], José de Arimatéia Costa de Almeida[1]

[1]Universidade Federal do Pará - UFPA; [2] Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará - Unifesspa; [3]Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA

santosarthursilvaa@gmail.com; robdal@ufpa.br; gilmarafeio@unifesspa.edu.br, ingridvcunha@gmail.com, caiojsm@gmail.com, ari@ufpa.br

ABSTRACT

Magmatic epidote is a key indicator of crystallization conditions in granitic magmas; it is often used as a monitor of oxygen fugacity and pressure conditions. This study investigates the epidote-bearing high-K calc-alkaline Alto Rio Preto granite (2.10-2.07 Ga), located in the Bacajá Domain, SE Amazonian Craton. Petrography, mineral chemistry, and thermodynamic modelling were integrated to constrain the P-T-fO_2-H_2O conditions of crystallization and the epidote stability. Three distinct facies were identified in the granite: amphibole-biotite monzogranite, biotite monzogranite, and biotite granodiorite. Amphibole is classified as magnesium-hastingsite to ferroedenite, with minor tschermakite and ferrohornblende. Biotite is Mg-rich (Fe/(Fe+Mg) ~ 0.60). Textural and compositional evidence (Ps = 28-35, low TiO_2) supports a magmatic origin for epidote. Titanite compositions point to an inherited igneous to recrystallized origin. Plagioclase composition varies from oligoclase to andesine The distinct facies were emplaced at 0.4-0.7 GPa and evolved under oxidizing conditions (NNO±0.5 to ±1), with moderate to high initial water contents (<4-6wt% H_2O). Thermodynamic modelling suggest that epidote stability is favored by high-pressure, restricted to near-solidus temperatures, high H_2O, and mildly oxidizing conditions. Low magma density and viscosity favored rapid ascent (epidote partial dissolution 2-3 years and magma transport rate of 5-4 km/year), enhancing epidote preservation. These results provide new insights into deep, oxidized, and water-rich magmatic process in Paleoproterozoic orogenic settings.

KEYWORDS: magmatic epidote; granite crystallization; phase equilibria modeling; Rhyacian magmatism; Bacajá Domain.

INTRODUCTION

Epidote was first recognized as a magmatic mineral by Keyes (1892), yet its petrogenetic importance was only confirmed by experimental data almost a century later by Naney (1983). This and subsequent experimental and mineral chemistry stud-

ies demonstrated that epidote can crystallize in granitic magmas over a wide pressure range (> 0.3-1.0 GPa), with its stability strongly dependent on oxygen fugacity and melt compositions (Dawes and Evans 1991; Sial *et al.* 1999; Schmidt and Poli 2004). Other studies also highlighted that epidote dissolution in granitic magmas is relatively fast, implying that its preservation in these magmas depends on rapid upward migration (Brandon *et al.* 1996). Therefore, epidote represents an important accessory phase, used to estimate the emplacement pressure, redox state and ascension rate of magmas (Cunha *et al.* 2021; Lima *et al.* 2021; Schmidt and Poli 2004; Sial *et al.* 2008).

In this study, we investigate the crystallization conditions and epidote stability in the Rhyacian high-K calc-alkaline epidote-bearing Alto Rio Preto granite located in the Bacajá Domain, SE Amazonian craton. The integration of petrography, mineral chemistry, and thermodynamic modelling allow us to infer the P–T–fO_2–H_2O conditions during crystallization and explore the implication of magmatic epidote stability for understanding the granite genesis and evolution.

METHODS

Polished thin sections were submitted to wavelength dispersive spectroscopy quantitative analyses at the Laboratório de Microssonda from Universidade de Brasília, using a JEOL JXA-8230 electron microprobe analyzer. Analyses were performed under the following operating conditions: a column accelerating voltage of 15 kV, a current of 10-20 nA, an analysis time of 10 s, and a spot size of 1-5 nm.

Crystallization phase equilibria modeling was carried out with GeoPS v. 3.5 (Xiang and Connolly 2022), using the internally consistent dataset and a-X models of Holland *et al.* (2018) in the K_2O–Na_2O–CaO–FeO–MgO–Al_2O_3–SiO_2–H_2O–TiO_2–Fe_2O_3 system. The oxidation state of the magma was determined using the software fO_2Melt (Holland *et al.* 2018).

RESULTS

Petrography and mineral chemistry

The granite was divided into three facies: amphibole-biotite monzogranite (ABMzG); biotite monzogranite (BMzG); and biotite granodiorite-tonalite (BGrd). The rocks vary in color from light gray to pink depending on the proportion of essential and mafic minerals. They show medium- to coarse-grained heterogranular to equigranular with local porphyroclastic textures.

Amphiboles are calcic and classified as magnesio-hastingsite and ferroedenite, with minor tschermakite and ferrohornblende. Biotite displays a restricted Fe/(Fe+Mg) ratios, generally near ~0.60, being classified as Mg-biotite. The analyzed epidotes yielded low TiO_2 (<0.16 wt%), the 'pistacite' component (Ps=molar [Fe^{3+}/(Fe^{3+} + Al)] * 100) values range from 28 to 35. The combination of textural evidence, low TiO_2 and pistacite content suggests that the analyzed epidotes are from magmatic origin (Evans and Vance, 1987; Pandit *et al.* 2014; Tulloch, 1979). The Al/Fe ratios in titanite range

(2.24-4.34 in ABMzG; 1.35-3.89 in BGrd) suggests compositions typical of inherited igneous crystals. Plagioclase compositions ranges from oligoclase to andesine (An_{28-33}) in monzogranitic facies, and is oligoclase in the granodiorite facies (An_{24-29}).

Phase equilibria modeling

Pseudosection modeling for the amphibole-biotite monzogranite sample AA-76 (Figure 1) reveals that melt water content, temperature, and pressure strongly control phase stability. The liquidus temperature decreases from ~1000 °C at 4 wt% H_2O to ~960 °C at 6 wt%, while solidus temperatures decline with increasing pressure. Plagioclase is the first phase to crystallize in both cases, with calculated compositions near the liquidus being more anorthite-rich than observed in the natural sample. At 4 wt% H_2O, orthopyroxene crystallizes first among ferromagnesian minerals, followed by amphibole and biotite. At 6 wt%, orthopyroxene is absent, and amphibole becomes the liquidus mafic phase, stable from ~880 °C to the solidus, before becoming unstable above 0.66 GPa. Biotite is stable from ~800 °C to the solidus in both systems, with Ti-in-biotite indicating crystallization between ~760–730 °C. Epidote is stable near the solidus at high pressures (>0.64 GPa), slightly overlapping amphibole breakdown. Titanite and rutile display exclusive stability fields rutile dominates at higher pressures, titanite at lower. Higher H_2O contents favor rutile stability. K-feldspar and quartz show reduced thermal stability with increased H_2O and lower pressures, with K-feldspar becoming a near-solidus phase at 6 wt%. Garnet appears only at >0.93 GPa and ~760–885 °C, while muscovite stabilizes at >0.72 GPa.

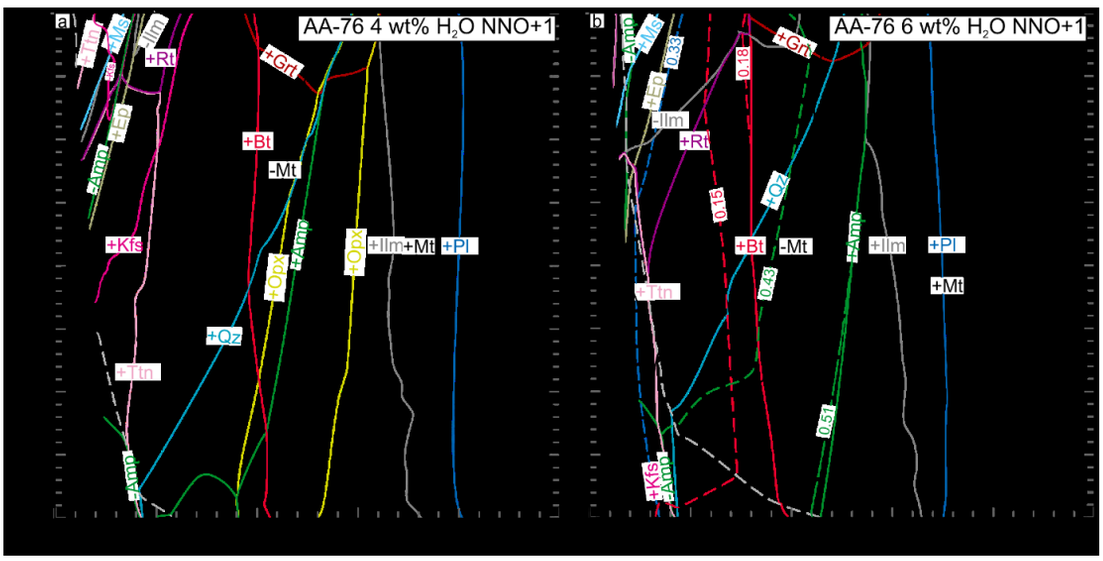


Figure 1 - P-T pseudosection do the Alto Rio Preto granite at (a) 4 wt% H_2O, (b) 6 wt% H_2O of initial water in the system. Solid lines mark each phase stability field, the appearance is marked with the symbol (+) and disappearance with (-). (-). Blue dashed lines mark the XAn in plagioclase, XMg in amphibole (green), and $Ti_{(M2)}$ in biotite (red). Bellow the light grey dashed line, the minerals and melt co-exist with a free H2O-rich fluid.

DISCUSSION

Crystallization conditions

Apatite saturation thermometry (Harrison & Watson 1984) yielded 930–882 °C (ABMzG) and 950–877 °C (BGrd), consistent with whole-rock machine-learning results (Weber & Blundy 2024), which returned 930–877 °C (ABMzG) and 898–853 °C (BGrd). Amphibole-plagioclase thermometry (Holland & Blundy 1994) provided 980–842 °C. Thermodynamic modeling yielded slightly higher liquidus temperatures, from 1000 °C (4 wt% H_2O) to 960 °C (6 wt%). Lower temperatures were obtained from zircon saturation (Harrison & Watson 1984): 814–770 °C (ABMzG) and 792–790 °C (BGrd). Calcic-amphibole thermometers yielded 839–751 °C (Putirka 2016) and 908–834 °C (Ridolfi *et al.* 2010), overlapping with the modeled amphibole stability field (~880–680 °C). Biotite-based machine-learning temperatures (Li & Zhang 2022) were 751–766 °C (ABMzG) and 762–792 °C (BGrd), consistent with Ti-in-biotite thermometry (760–730 °C).

Pressure estimates from Al-in-amphibole barometers (Anderson & Smith 1995) range from 0.3 to 0.66 GPa. Mutch *et al.* (2016) yielded slightly lower values (0.35–0.49 GPa), and Ridolfi *et al.* (2010) gave 0.2–0.32 GPa. The graphic barometer (Anderson & Smith 1995) indicates 0.5–0.7 GPa (Figure 2a). Biotite-based barometry (Li & Zhang 2022) returned 0.36–0.71 GPa (ABMzG) and 0.58–0.77 GPa (BGrd), consistent with whole-rock results (Weber & Blundy 2024). Thermodynamic modeling suggests a minimum pressure of ~0.64 GPa for epidote crystallization, consistent with mineral barometry. Altogether, the granite intruded between 0.4 and 0.7 GPa.

Water content estimates based on amphibole stability suggest ≥5 wt% H_2O in the monzogranitic facies and <4 wt% in amphibole-free facies. Amphibole hygrometry (Ridolfi *et al.* 2010) yielded 5.35–7.93 wt% H_2O, interpreted as water at the time of crystallization.

Oxygen fugacity estimates from Fe/(Fe+Mg) ratios in amphibole and biotite indicate moderately to strongly oxidizing conditions (NNO±0.5 to NNO+1) (Figure 2b, c, d), supported by mineral chemistry, presence of magmatic epidote and titanite.

Magma density for sample AA-76 is ~2.34 g/cm³ at 930 °C and 0.65 GPa. Viscosity ranges from ~$10^{2.9}$ to $10^{3.5}$ Pa·s in monzogranitic magmas to ~$10^{4.7}$ to $10^{5.7}$ Pa·s in more silicic granodioritic magmas, increasing with silica content and decreasing temperature.

Magma ascent rates

Epidote dissolution kinetics suggested an average time of epidote partial dissolution is ~2 and ~3 years and transport rates of ~5423 and ~4178 m/year were estimated for monzogranitic and granodioritic magmas, respectively

Stability of magmatic epidote: role of P-T-*f*O2-H_2O

Thermodynamic modeling shows that epidote stability is controlled by pressure, water content, and redox conditions. At 0.64 GPa, epidote crystallizes only with >4.8 wt% H_2O and under moderately oxidizing conditions (below NNO+0.2). At 0.93 GPa, it is stable across broader conditions (1–9 wt% H_2O; NNO–1.5 to NNO+2.5), suggesting its near-solidus nature in moderately deep, hydrous, and oxidized magmas.

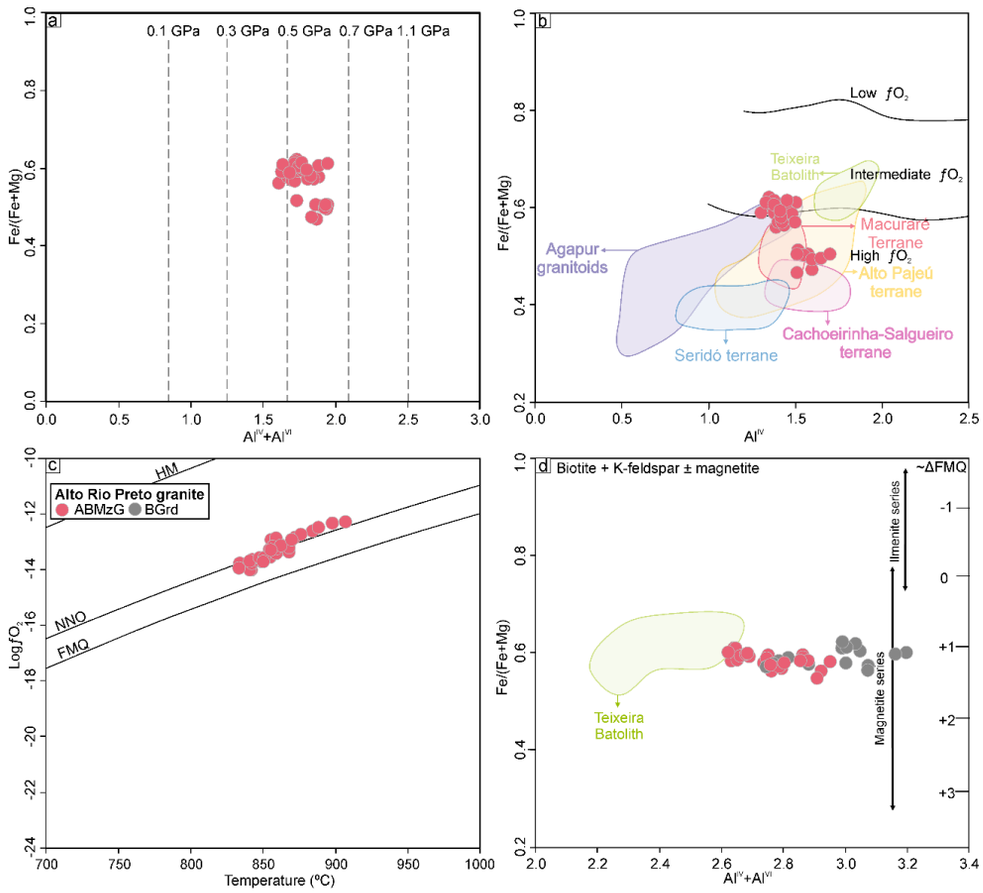


Figure 2 - (a) Fe/(Fe + Mg) vs Al^{IV} + Al^{VI} diagram with amphibole analyses isobars from Anderson and Smith (1995), (b) Fe/(Fe+Mg) vs. Al^{IV} diagram showing the compositional variation of amphibole fields after Anderson and Smith 1995), (c) Log*f*O2 vs. T ºC based on amphibole composition (Ridolfi *et al.* 2010), (d) Fe/(Fe+ Mg) vs. Al^{IV} + Al^{VI} diagram showing the compositional variation of biotites (ilmenite and magnetite series according to Anderson *et al.* 2008). Comparison fields: Seridó, Cahoeirinha-Salgueiro, Alto Pajeú, and Macuraré terranes from Borborema Province (Sial *et al.* 2008), Teixeira batholith, Borborema Province (Lima *et al.* 2021), and Agapur granitoids, India (Basak *et al.* 2019).

CONCLUSIONS

The Alto Rio Preto granite was emplaced at pressures between 0.4 to 0.7 GPa, crystallized between 960 and 640 ºC and evolved in oxidizing conditions probably at NNO±0.5 to NNO±1. The initial water content in the amphibole-bearing monzogranitic facies was probably 6 wt%, while in the biotite monzogranite and granodiorite facies it was lower (<4 wt%).

Epidote stability is favored by high-pressure, moderate to high-H_2O, and oxidizing conditions, being restricted to near-solidus temperatures. The preservation of magmatic epidote is also favored by low density and viscosity of the magma, that allows its rapid ascent in the crust.

The presence of magmatic epidote in rocks with distinct ages and tectonic setting highlights its role as key mineral to identify deep and oxidized crystallization environments.

REFERENCES

Anderson, J L, Barth, A.P., Wooden, J.L., Mazdab, F., 2008. Thermometers and Thermobarometers in Granitic Systems. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, **69**: 121–142.

Anderson, J.L., Smith, D.R., 1995. The effects of temperature and fO2 on the Al-in-hornblende barometer. *American Mineralogist* **80**: 549–559.

Basak A., Goswami B., Singha A., Das, S., Bhattacharyya C., 2019. Magmatic Epidote in the Grenvillian Granitoids of North Purulia Shear Zone, Chhotanagpur Gneissic Complex, India and its Significance. *Current Science*, **117**: 298-303

Cunha I.R.V., Dall'Agnol R., Scaillet B., Sousa L.A.M., 2021. Magmatic epidote in Archean granitoids of the Carajás Province, Amazonian craton, and its stability during magma rise and emplacement. *Journal of South America Earth Sciences*, **112:**: 103570.

Dawes, R.L., Evans, B.W., 1991. Mineralogy and geothermobarometry of magmatic epidote-bearing dikes, Front Range, Colorado. *Geological Society of America Bulletin* **10:**, 1017–1031.

Harrison, T.M., Watson, E.B., 1984. The behavior of apatite during crustal anatexis: Equilibrium and kinetic considerations. *Geochim Cosmochim Acta* **48:** 1467–1477.

Holland T., Blundy J., 1994. Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry. *Contributions to Mineralogy and Petrology*,**116**: 433–447.

Holland T., Green E., Powell R. 2018. Melting of peridotites through to granites: A simple thermodynamic model in the system KNCFMASHTOCr. *Journal of Petrology* **59**(5): 881-900.

Hollister L.S., Grissom G.C., Peters E.K., Stowell H.H., Sisson V.B., 1987. Confirmation of the empirical correlation of Al in hornblende with pressure of solidification of calc-alkaline plutons. *American Mineralogist,* **72**: 231–239.

Keyes C.R., 1892. Epidote as a primary component op eruptive rocks. *Geological Society of America Bulletin,* **4**, 305–312.

Li X., Zhang C., 2022. Machine Learning Thermobarometry for Biotite-Bearing Magmas. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 127.

Lima, J.V. de, Guimarães, I. de P., Neves, S.P., Santos, I.D., Brainer, C.C.G., Dantas, E.L., 2021. Mineral chemistry constrains on crystallization conditions and petrological evolution of the Teixeira Batholith granitoids, Borborema Province, NE Brazil. *Journal of South America Earth Sciences*, **112**: 103577.

Mutch E.J.F., Blundy J.D., Tattitch B.C., Cooper F.J., Brooker R.A., 2016. An experimental study of amphibole stability in low-pressure granitic magmas and a revised Al-in-hornblende geobarometer. *Contributions to Mineralogy and Petrology* **171**: 85.

Naney M T, 1983. Phase equilibria of rock-forming ferromagnesian silicates in granitic systems. *American Journal of Science,* **283** 993–1033.

Putirka K., 2016. Amphibole thermometers and barometers for igneous systems and some implications for eruption mechanisms of felsic magmas at arc volcanoes. *American Mineralogist* **101:** 841–858.

Ridolfi, F., Renzulli, A., Puerini, M., 2010. Stability and chemical equilibrium of amphibole in calc-alkaline magmas: an overview, new thermobarometric formulations and application to subduction-related volcanoes. *Contributions to Mineralogy and Petrology,* **160:** 45–66.

Schmidt, M.W., Poli, S., 2004. Magmatic Epidote. *Revision on Mineralogy and Geochemistry*. **56**: 399–430.

Sial A.N., Vasconcelos P.M., Ferreira V.P., Pessoa, R.R. Brasilino, R.G. Morais Neto J.M., 2008. Geochronological and mineralogical constraints on depth of emplacement and ascencion rates of epidote-bearing magmas from northeastern Brazil. *Lithos* **105** 225–238.

Tulloch, A.J., 1979. Secondary Ca-Al silicates as low-grade alteration products of granitoid biotite. *Contributions to Mineralogy and Petrology* **69**: 105–117.

Watson E.B., Harrison T.M., 1983. Zircon saturation revisited: temperature and composition effects in a variety of crustal magma types. Earth *Planetary Science Letters* **6:** 295–304..

Weber G., Blundy J., 2024. A Machine Learning-Based Thermobarometer for Magmatic Liquids. *Journal of Petrology* 65.

Xiang, H. Connolly J.A.D., 2022. GeoPS: An interactive visual computing tool for thermodynamic modelling of phase equilibria. *Journal of Metamorphic Geology* **40**: 243–255.

GEOLOGIA E PETROGRAFIA DE GRANITOS OROSIRIANOS DO SÍTIO ARQUEOLÓGICO ARARA VERMELHA

Pilar Evanovich Grazziotin[1]; Mayara Fraeda Barbosa Teixeira[2]; Marta Sara Cavallini[3];

[1]Universidade Federal do Amazonas - UFAM;
[2]Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGGEO) da Universidade Federal do Amazonas; [3] Museu de Arqueologia e Etnologia da Universidade de São Paulo.

grazziotp@gmail.com; mayarafraeda@ufam.edu.br; cavallinimarta@gmail.com.

RESUMO

Esse trabalho apresenta os aspectos geológicos e geomorfológicos do Sítio Arqueológico Arara Vermelha, localizado na porção centro-sul do Escudo das Guianas, sudeste de Roraima, inserido na Província Tapajós-Parima. A área abriga petróglifos, gravados em granitos da Suíte Água Branca, com idades entre 1,90 e 1,89 Ga. As atividades incluíram revisão bibliográfica, elaboração de mapas temáticos, trabalho de campo com descrição geológica-geomorfológica e coleta sistemática de amostras, seguidas de análises petrográficas. Foram identificados em morros residuais em uma área aplainada dois principais tipos litológicos: sienogranitos, que formam o abrigo rochoso, e monzogranitos, predominantes ao redor do sítio. Os sienogranitos apresentam textura fanerítica equigranular média, enquanto os monzogranitos ocorrem nas variedades equigranular e porfirítica, ambas com mineralogia essencial composta por quartzo, plagioclásio e K-feldspato, além de biotita. Observou-se esfoliação esferoidal como fator geomorfológico chave na formação do abrigo, resultado de processos de intemperismo físico-químico. Deformações dúcteis em estado sólido, como texturas em ribbon e quartzos policristalinos, também foram descritas nos monzogranitos. As gravuras arqueológicas concentram-se preferencialmente nos sienogranitos, cuja maior homogeneidade textural e ausência de estruturas como veios de quartzo e fenocristais proporcionaram superfícies mais favoráveis à produção dos petróglifos.

PALAVRAS-CHAVE: Granitos paleoproterozoicos 1; Sítio Arqueológico 2; Gravuras rupestres 3; Cráton Amazônico

INTRODUÇÃO

O Cráton Amazônico, em sua porção norte, é representado pelo Escudo das Guianas, onde se destaca a Província Tapajós-Parima, delimitada no modelo de províncias geocronológicas de Santos *et al*. (2000; Fig. 1a). No sudeste de Roraima, afloram corpos graníticos da Suíte Água Branca, bem como os corpos Igarapé Azul e Caroebe, cujas idades variam entre 1,90 e 1,89 Ga (Almeida *et al*., 2007; Fig. 1b).

Neste contexto está o sítio arqueológico Arara Vermelha, onde a pesquisa está em desenvolvimento. O local abriga registros de ocupação humana pretérita e é reconhecido pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN). As gravuras rupestres identificadas correspondem a petróglifos, esculpidos na superfície rochosa por populações pré-históricas, expressando uma linguagem simbólica e/ou ritual, configurando-se como patrimônio histórico de elevado valor cultural e científico.

Este trabalho tem como objetivos principais a caracterização litológica das rochas graníticas presentes e indicar os aspectos geológicos-geomorfológicos que favoreceram a formação do abrigo. Com estes dados, é possível enriquecer o conhecimento geológico que, neste momento, ainda é de alto nível de escassez na região.

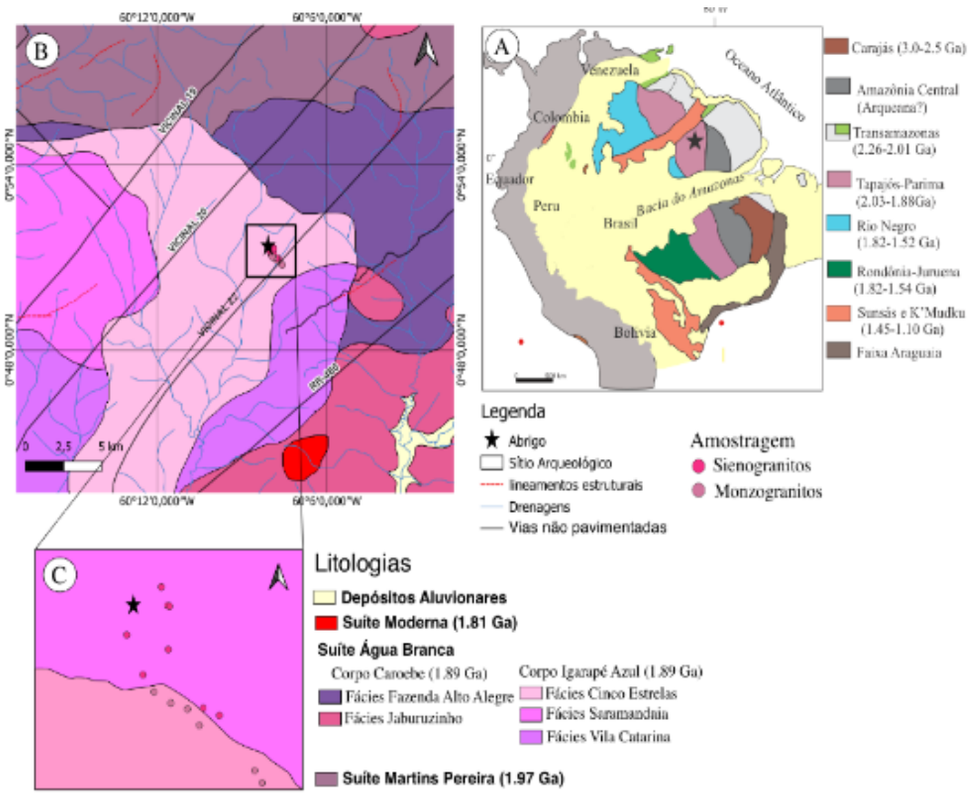


Figura 1 - A) Modelo geotectônico e Geocronológico das Províncias do Cráton Amazônico (Santos *et al*. 2000, com a localização da área de estudo. B) Mapa Geológico da porção sudeste de Roraima, onde a área de estudo está localizada, com base no Mapa geológico do Estado de Roraima do Serviço Geológico do Brasil (2021), modificado; C) Mapa de detalhe do Sítio Arqueológico Arara vermelha com a área de ocorrência dos monzogranitos e sienogranitos estudados.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os métodos utilizados neste trabalho envolveram: (1) levantamento bibliográfico focado nos aspectos geológicos-geomorfológicos da região sudeste de Roraima; (2) elaboração de mapa de logística, geológico e geomorfológico para auxiliar na etapa de campo; (3) trabalho de campo, com descrições (geológicas-geomorfológicas) e coleta sistemática de amostras tanto na região do sítio quanto em suas adjacências.; (4) Classificação macroscópica e microscópica de 7 granitos que seguiu os critérios do diagrama QAP de Streckeisen (1976), que classifica os granitos de acordo com o conteúdo o modal de três minerais que são conhecidos como minerais formadores de rocha, sendo

estes o quartzo (Qtz), plagioclásio (Plg) e o feldspato potássico (FK). Esses três minerais são os componentes essenciais das rochas graníticas e são usados para posicionar a rocha em um triângulo ternário QAP (ou diagrama de Streckeisen), no qual a soma de Q + A + P corresponde a 100%. Minerais acessórios e máficos não são considerados.

RESULTADOS

Aspectos geomorfológicos

A área é caracterizada por relevo de morros isolados, que emerge em superfície predominantemente aplainada (Fig. 2), inserida no Domínio Geomorfológico Pediplano Rio Branco–Rio Negro. Este domínio apresenta relevo plano a suavemente ondulado, com altitudes em torno de 90 a 110 metros, sendo pontualmente interrompido por superfícies colinosas associadas aos corpos graníticos paleoproterozoicos da Suíte Água Branca (Fig. 1B). A análise hipsométrica evidencia um escalonamento altimétrico entre 80 e 200 m, refletindo um relevo de colinas baixas a médias dissecadas, condicionado pela variação litológica entre sienogranitos e monzogranitos. A família dos granitos inclui rochas de composições variadas (Streckeisen, 1976), com diferentes proporções de minerais que possuem distintas susceptibilidades ao intemperismo.

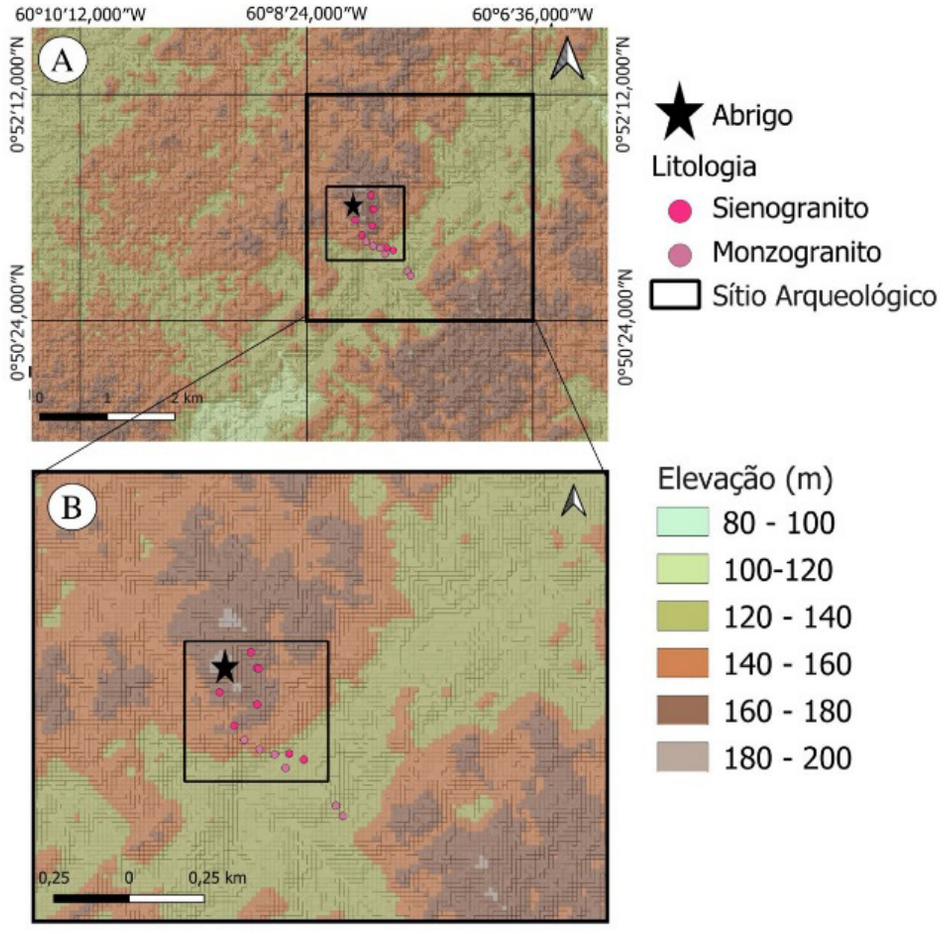


Figura 2 - A) Mapa hipsométrico com a localização do sítio arqueológico Arara Vermelha, sobreposto à litologia aflorante. B) Mapa de detalhe da área do Sítio Arqueológico Arara Vermelha.

3.2 Aspectos petrográficos

Os granitos aflorantes na região ocorrem na forma de blocos *in situ* que variam de tamanhos de dezenas de metros a pequenos corpos isolados em superfície aplainada subordinadamente, por vezes, ocorrem com gravuras (Fig. 3 a,b). Esses blocos graníticos são frequentemente descritos com feições de esfoliação esferoidal.

Foram descritos sienogranitos que formam o abrigo e são de coloração rosada, leucocráticos, isotrópicos, com textura fanerítica equigranular média (~3 mm), composta essencialmente por feldspato potássico (39%), quartzo (38%) e plagioclásio (20%), além de minerais ferromagnesianos como a biotita (5%), (Quadro 1), que ocorrem formando agregados (Fig. 3b, c).

Ao redor do abrigo, ocorre como litotipo predominante o monzogranito equigranular (Fig. 3d), o qual possui coloração cinza esbranquiçada, de caráter isotrópico, com textura fanerítica de granulação média (tamanho dos cristais de aproximadamente 3mm), enquanto o monzogranito porfirítico, subordinado, possui coloração cinza esbranquiçada, e textura porfirítica caracterizada pela presença de fenocristais de K-feldspato de 1 a 3 cm, em matriz de granulação média. Ambos são compostos por quartzo (34%), plagioclásio (31%), K-feldspato (27%), e biotita (8%) (Fig.3). Nessas rochas também foram descritos enclaves máficos com formato elíptico de dimensões entre 2 e 5 cm de espessura no eixo maior (Fig. 3e). Esses monzogranitos são frequentemente cortados por bolsões e veios de quartzo de até 15 cm de espessura (Fig. 3f).

Para essas variedades de rochas estudadas, a composição mineralógica é bastante similar, variando apenas no conteúdo modal dos minerais. Essas rochas são formadas essencialmente por quartzo, plagioclásio e K-feldspato como minerais essenciais e por cristais de biotita e muscovita representando os minerais máficos. Como minerais acessórios, ocorrem, epidoto, titanita, zircão e opacos.

As texturas observadas são típicas de rochas graníticas, com texturas ígneas bem preservadas, sendo estas os cristais de plagioclásio subédricos, zonados e com maclamento albita; cristais de K-feldspato (microclínio) subédricos com maclas tartan (xadrez) e presença de exsolução de pertitas (Fig 3g). O quartzo, o gera texturas policristalinas e em *ribbon* (Fig 3h). O Plagiolcásio e o K-Feldspato também podem ser deformados, e nas amostras estudadas estão formando cristais sigmoidais. (Fig 3i).

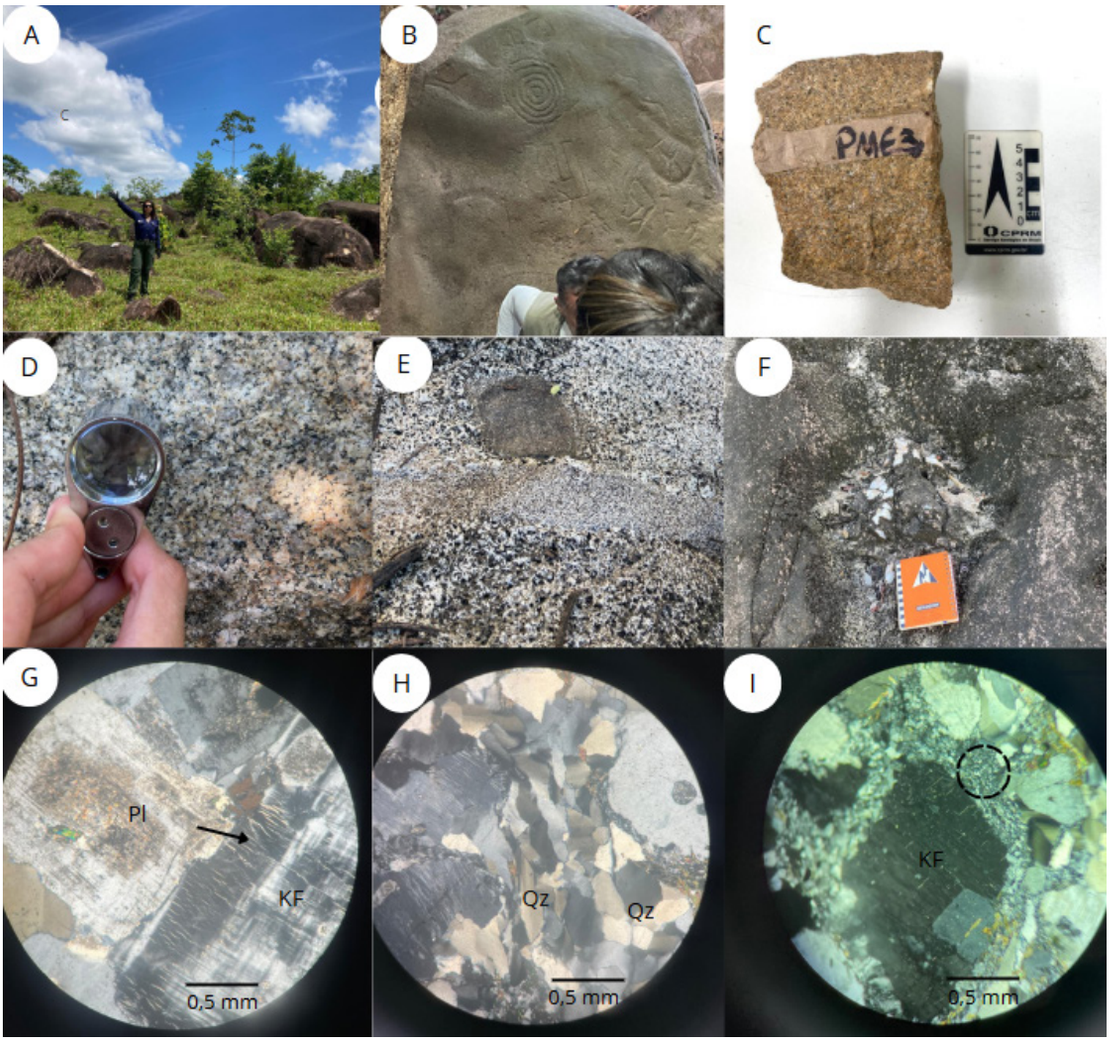


Figura 3 - A. B) Blocos métricos identificados por vezes com gravuras C) Sienogranito de textura equigranular média e agregados máficos de biotita; D) monzogranito acinzentado com textura equigranular média; E) enclaves máficos arredondados; F) bolsões de quartzo. G) Cristais microclínio com textura tartan e pertitas indicadas pela seta. H) Quartzo alongado em fitas (ribbon). I) FK sigmoidal com matriz fina recristalizada ao redor.
Abreviações: Qz (quartzo); Kf (Feldspato-potássico); Pl (Plagioclásio).

Amostra	Q (%)	FK (%)	Plg (%)	Bt (%)	Soma	Classificação (Streckeisen, 1976)
24-12	34	27	31	8	100	Monzogranito
24-17	32	27	33	8	100	Monzogranito
24-16A	33	28	31	8	100	Monzogranito
24-8A	32	28	32	8	100	Monzogranito
24-5B	37	36	22	5	100	Sienogranito
24-3A	38	37	20	5	100	Sienogranito
24-07	39	36	20	5	100	Sienogranito

Quadro 1 - Análise modal das rochas graníticas

DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

A geologia e a geomorfologia da região do Sítio Arqueológico Arara Vermelha revelam a forte influência na formação do abrigo rochoso, onde a esfoliação esferoidal é observada em blocos arredondados que apresentam desplacamento da rocha em forma de camadas, típica de intemperismo químico e físico que ocorre em rochas maciças como granitos, resultando na formação de blocos arredondados ou esferoidais de rocha pouco alterada, cercados por camadas concêntricas de material desintegrado, processo é frequentemente associado à descamação em forma de "casca de cebola". A esfoliação esferoidal

envolve principalmente o intemperismo ao longo de fraturas e planos de fraqueza, favorecendo a alteração progressiva da rocha de fora para dentro (Fairbridge, 1968). Após a caracterização dos principais litotipos aflorantes na área, notou-se que a maior incidência de gravuras ocorre nas rochas classificadas como sienograníticas que compreendem a Fácies Cinco Estrelas da Suíte Água Branca. Isso, pode ser devido a maior isotropia da rocha e com menor ocorrência de estruturas como veios e bolsões de quartzo cristalizados a partir de fluidos hidrotermais ricos em sílica (Mitchell, 2018), além da ausência da textura porfirítica, que ocorre nos monzogranitos conferem a rocha uma superfície mais contínua, que facilita a preservação das gravuras. Adicionalmente, foi possível observar algumas texturas representativas de deformação dessas rochas em estado sólido (depois do granito ter se formado), possivelmente geradas por esforços tectônicos acompanhados de temperaturas baixas que não obliteraram a textura original da rocha. Essas deformações foram observadas principalmente nos monzogranitos, onde o quartzo, mineral mais susceptível a deformação, gerou texturas policristalinas e em *ribbon.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço à UFAM, ao Instituto Serrapilheira, ao projeto VIP Amazonia (*Vital Insight Into Precambrian Amazonia*) e ao Departamento de Geociências da UFAM por todo apoio logístico e suporte acadêmico.

REFERÊ|NCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, M. E.; Macambira, M. J. B. Geocronologia Pb-Pb em zircões de granitóides Paleoproterozoicos do sudeste de Roraima, norte do

Brasil. Geologia USP. Série Científica, v. 7, n. 1, p. 1–10, 2007.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Mapa geológico do Estado de Roraima, 1:1.000.000. Brasília: CPRM, 2006.

Fairbridge, R. W. The encyclopedia of geomorphology. New York: Reinhold Book Corporation, 1968.

Mitchell, R. H. Magmatic and hydrothermal quartz: textural and compositional indicators of formation conditions. Mineralogical Society of America Short Course Series, 2018.

ROCK FRACTURES AND FLUID FLOW: Contemporary understanding and applications. Washington, D.C.: National Academy Press, 1996.

Santos, J. O. S.; Hartmann, L. A.; Gauthier, G.; Groves, D. I.; Oliveira, C. G. A new classification of the Amazonian Craton. Episodes, v. 23, n. 3, p. 263–272, 2000.

Streckeisen, A. Classification of the common igneous rocks by means of their mineral mode. Neus Jahrbuch für Mineralogie,

Streckeisen, A. Classification Of The Common Igneous rocks by means of their mineral mode. Neues Jahrbuch für Mineralogie, v. 107, p. 144–240, 1976.

Valente, C. Estudo petrogenético e geocronológico dos granitos da Suíte Água Branca, sudeste de Roraima. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2008.

CARTOGRAFIA GEOLÓGICA DO DOMINIO CARAJÁS, SUDESTE DO PARÁ

Cintia M. Gaia da Silva[1], Marcos L.E.S. Quadros[1]; Ana Paula Justo[1]; André M. Sabóia[1]; Regina Célia dos Santos Silva[1]; Patrick Araújo Santos[1]; Felipe Grandjean da Costa[1]; Ulisses Antônio P. Costa[1]; Lívio Wagner C. Correa[1]; Luciano C. da Silva[1]; Junny Kyley M. de Oliveira[1]; Felipe M. Tavares[1]

[1] **Serviço Geológico do Brasil – SGB-CPRM**

cintia.gaia@sgb.gov.br; marcos.quadros@sgb.gov.br; ana.justo@sgb.gov.br; andre.saboia@sgb.gov.br; *regina.santos@sgb.gov.br; patrick.santos@sgb.gov.br; felipe.costa@sgb.gov.br;* ulisses.costa@sgb.gov.br; livio.correa@sgb.gov.br; luciano.castro@sgb.gov.br; junny.oliveira@sgb.gov.br; *felipe.tavares@sgb.gov.br)*

RESUMO

O mapeamento geológico sistemático de 13 folhas cartográficas, escala 1:100.000, desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil-CPRM (SGB-CPRM) na região do Domínio Tectônico Carajás, nos últimos 10 anos, aliado a interpretação aerogeofísica de 5 folhas, escala 1:100.000, permitiram a integração do conhecimento geológico regional com a geração de um novo mapa na escala 1:250.000. Novas unidades estratigráficas foram propostas, com destaque para a porção oeste de Carajás. A evolução geológica deste domínio é complexa, desde o Mesoarqueano, com geração de rochas TTG, *greenstone belts* e granitoides variados com eventos de migmatização e metamórficos de alto grau no final do mesoarqueano. O Neoarqueano é marcado pela formação de sequências vulcanossedimentares por todo o domínio e colocação de corpos plutônicos félsicos, gabroicos e máfico-ultramáficos. Coberturas sedimentares diversas e intrusões graníticas anorogênicas marcam o Paleoproterozoico. O arcabouço estrutural é caracterizado por superposições de eventos tectônicos mesoarqueanos a paleoproterozoicos, que refletem estruturas com diferentes estilos tectônicos.

PALAVRAS-CHAVE: Carajás; Estratigrafia; Mapeamento Geológico, SGB-CPRM.

INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta a integração geológica regional do Domínio Carajás e seus limites, na escala 1:250.000, como um produto do projeto *Geologia, Recursos Minerais e Arquitetura Crustal de Carajás*, executado pelo Serviço Geológico do Brasil-CPRM, Superintendência Regional de Belém, com participação de pesquisadores de outras unidades regionais do SGB-CPRM. Este projeto teve abordagem multidisciplinar com integração da geologia, geofísica e geoquímica exploratória, visando avançar no conhecimento geológico regional e definição de novas áreas favoráveis para prospecção mineral.

O Domínio Carajás (DC) se localiza na parte norte da Província Mineral de Carajás (PMC), uma das principais províncias metalogenéticas do País. Possui depósitos de classe mundial de ferro (18.000Mt @ 65% Fe), cobre-zinco, cobre-ouro (4.000Mt @ 1% Cu), níquel (198,7Mt @ 1,36% Ni), paládio-platina (100t @ 1,0 g/t EGP), ouro e manganês (50Mt @ 40% Mn), e outros de estanho, bauxita e cromo, além de ocorrências de gemas como ametista, citrino, topázio e cristal de rocha.

Este domínio compreende uma porção de crosta formada e estabilizada no Arqueano, afetada em sua borda norte e leste por eventos tectono-metamórficos paleoproterozoicos. Faz limite, ao norte, com o Domínio Bacajá, e a oeste, com o Domínio Iriri-Xingu, ambos de idade paleoproterozoica. Na parte leste limita-se com o Cinturão Araguaia do Neoproterozoico. Ao sul, ocorre o Domínio Rio Maria, mesoarqueano, que corresponde a parte meridional da PMC.

O Mesoarqueano do DC (>2,83 Ga) é constituído por ortognaisses, migmatitos, ortogranulitos, paragnaisses, faixas de *greenstone belts* e granitoides diversos (Araújo e Maia, 1991, Machado *et al.*, 1991, Vasquez e Rosa-Costa, 2008, Feio *et al.,* 2013, Marangoanha *et al.*, 2019a, Silva *et al*., 2021). O Neoarqueano é caracterizado pela geração de rochas vulcânicas e vulcanoclásticas (máficas, intermediárias a félsicas), sedimentares químicas e clásticas em bacias tipo do *rift* ou *back-arc*, com plutonismo diversificado (granitos, charnoquitos, gabros e corpos máfico-ultramáficos acamadados) (DOCEGEO, 1988, Ferreira Filho *et al*., 2007, Vasquez e Rosa-Costa, 2008 e referências, Feio *et al*., 2012, Marangoanha *et al.,* 2019b). O Paleoproterozoico é marcado por coberturas sedimentares, granitogênese tipo A e enxames de diques bimodais (Vasquez e Rosa-Costa, 2008 e referências).

MATERIAIS E MÉTODOS

O Serviço Geológico do Brasil-CPRM, ao longo de seus 56 anos de história, desenvolveu vários projetos na região de Carajás, com destaque para: 1) Programa Grande Carajás, na década de 1980, com mapeamento geológico na escala 1:250.000; 2)Levantamentos aerogeofísicos de alta resolução (magnetométrico, gamaespectrométrico e aerogravimétrico), executados entre 2010 e 2015; 3) Mapeamento regional na escala 1:250.000 (Projeto ARIM Carajás, 2015-2020); 4) Mapeamento geológico sistemático, escala 1:100.000, de 04 folhas cartográficas (2012-1018) e 09 folhas entre 2020-2025 e 5) Mapeamento de detalhe, escala 1:50.000, de um polígono na região do Aquiri (2020).

A área de trabalho compreende um total de 55.080 km², abrangendo onze municípios e várias áreas de conservação e reservas indígenas. Envolve dezoito folhas cartográficas 1:100.000, com um total de nove folhas cartografadas no atual projeto: Água Fria/SB.22-Z-A-VI), Rio Paraua-pebas/SB.22-ZA-V, Rio Cateté/SB.22-Z-A-IV, São Raimundo/SB.22-Y-B-I, Igarapé São Sebastião/SB.22-Y-B-II, Fazenda Anaporã/SB.22-Y-B-III, São Félix do Xingu/SB.22-Y-B-V, Rio Branco/SB.22-Y-B-VI e Rio Aquiri/SB.22-V-D-VI. Outras quatro folhas já possuem mapas geológicos publicados (Caldeirão/SB.22-X-C-V, Serra Pelada/SB.22-X-C-VI, Serra dos Carajás/SB.22-Z-A-II e Rio Verde/SB.22-Z-A-III), e quatro também tem mapas geofísico-geológicos publi-

cados (Serra do Bacajá/SB.22-V-D-IV, Cabeceiras do Bacajá/SB.22-V-D-V, Rio Cinzento/SB.22-X-C-IV e Rio Itacaiúnas/ SB.22-Z-A-I). A partir da integração geológica e geofísica de toda a área está sendo apresentado novo mapa atualizado do Domínio Carajás.

O mapeamento geológico seguiu o procedimento padrão do Serviço Geológico do Brasil – CPRM (Medeiros e Rosa-Costa, 2020), que consiste na descrição de afloramentos, obtenção de medidas estruturais, coleta de amostras de rocha (laminação, análises químicas e geocronológicas e arquivamento), cadastro e descrição de ocorrências minerais. As bases de dados vetoriais foram organizadas em *shapefiles* e os mapas em GeoPDF confeccionados no programa ArcGis utilizando a integração dos dados coletados, imagens de sensores remotos e produtos aerogeofísicos, além de toda a base de artigos, teses e relatórios disponíveis. Todos os dados produzidos, bases digitais e mapa, são disponibilizados no banco de dados GeoSGB, no site do SGB-CPRM (https://geosgb.sgb.gov.br/).

RESULTADOS

A principal contribuição deste trabalho é a integração, consolidação e sintetização do conhecimento geológico da região de Carajás em formato de mapa (GeoPDF e arquivos vetoriais geocientíficos), a ser disponibilizado no site do SGB-CPRM. Foram cartografadas cerca de 100 unidades litoestratigráficas, com 10 novas unidades e 25 definidas a partir de mapeamentos de trabalhos pré-existentes (acadêmicos e de empresas de mineração).

Em termos gerais, foi caracterizado o embasamento mesoarqueano (~3,0 Ga) constituído por gnaisses, migmatitos, *greenstone belts* e granitoides variados, que sofreram ou não processos de migmatização e metamorfismo granulítico no final do mesoarqueano (>2,83 Ga). Este conjunto de rochas foram denominados de Complexo Carapanã na parte oeste do DC, enquanto que na parte leste teve uma maior individualização constituindo os complexos Xingu, Fazenda São Carlos, Colorado, Água Azul do Norte, Caracol e os corpos Ortognaisse Bom Jesus, Metatrondhjemito Água Fria e Suíte Mogno. Faixas de *greenstone belts* (grupos Tucumã-Gradaús, Sapucaia, Sequeirinho e Rio Novo) ocorrem nas bordas ou entre os domos granito-gnáissicos, com o reconhecimento de um novo *greenstone,* denominado Grupo Krimet (2,96 Ga), na região de São Félix do Xingu. Rochas granulíticas orto e paraderivadas também foram mapeadas na região de Canaã dos Carajás, denominadas de Granulito Vila Ouro Verde e Complexo Velha Canadá, e na região do Aquiri, o Complexo Vila Sassá. Inúmeros corpos graníticos e granodioríticos caracterizam o final do Mesoarqueano, com idades entre 2,9 e 2,84 Ga, como os metagranitos Anaporã e Ladeira Vermelha, na região central do DC. Considera-se que o embasamento do DC é a continuação do Domínio Rio Maria para norte, retrabalhado por eventos tectônicos no Neoarqueano e Paleoproterozoico.

O Neoarqueano do DC envolve principalmente a formação de sequências vulcanossedimentares e expressivo magmatismo diversificado, com eventos tectono-hidrotermais e geração de vários depósitos, em especial de cobre-ouro, níquel e EGP.

As unidades vulcanossedimentares (Supergrupo Itacaiúnas) estão distribuídas nos grupos Grão-Pará (formações Parauapebas e Carajás), Serra da Bocaina (formações Salobo-Pojuca, Igarapé Cigarra e Bahia), São Félix do Xingu (formações Vale da Serra, Belauto e Serra do Eldorado), São Sebastião (formações Serra Oeste e Santa Marta) e Formação Umuarama, esta última admitida como base do supergrupo. Na região oeste foi reconhecida uma sequência mais jovem (<2,57 Ga), denominada Formação Campo Verde, mas de posicionamento tectônico incerto.

Os corpos graníticos, em geral alongados, são representados nas suítes Planalto, Vila Jussara, Pedra Branca e Lavrado, e pelos metagranitos Igarapé Gelado, Estrela e Rio Sereno. Rochas gabroicas, enderbíticas e charnoquíticas foram incluídas na Suíte Pium, sendo alguns corpos individualizados, como o Metacharnoquito Matão na parte oeste do domínio.

O magmatismo máfico-ultramáfico (entre 2,76 e 2,71 Ga) é representado por vários corpos acamadados, como Luanga e Suíte Cateté, tendo sido individualizados nesta última vários corpos, a exemplo do Fafá, Serra da Onça e Vale Verde.

O Paleoproterozoico é marcado por diversas coberturas sedimentares, com idades máximas entre 2,38 e 2,01 Ga (formações Águas Claras, Igarapé Boa Sorte e Caninana) e extensivo magmatismo anorogênico com granitos, gabros e diques máficos e félsicos. Rochas vulcânicas, vulcanoclásticas e sedimentares paleoproterozoicas pertencentes ao Domínio Iriri-Xingu também foram mapeadas no limite oeste do DC.

Os corpos ígneos mais jovens do DC são derrames e diques correlacionados ao magmatismo paleozoico-mesozoico (Piroclásticas Canadá) e mesozoico (Diabásio Rio Pajeú e Gabro Rio da Onça). As unidades cenozoicas são representadas por coberturas detríticas e lateríticas e depósitos aluvionares dos principais rios, como o Itacaiúnas e Xingu.

Em termos estruturais foram reconhecidas extensas zonas de cisalhamento dúcteis e anastomosadas, de direção geral E-W, com inflexões para SW na porção oeste do DC e que retrabalham estruturas pretéritas. Adicionalmente, falhas rúpteis-dúcteis de direções NW-SE e NE-SW, além de reativações rúpteis de mesma direção, todos em conjunto representam os principais elementos do arcabouço estrutural do DC.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araújo, O.J.B.; Maia, R.G.N. (1988). Programa Levantamento Geológicos Básicos do Brasil, Folha Serra dos Carajás (SB.22-Z-A), Estado do Pará: Texto Explicativo; Serviço Geológico do Brasil: Recife, Brazil, 1991.

DOCEGEO. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35, 1988, Belém. Resumos... Belém: CVRD/SBG, 11–59.

Feio, G.R.L.; Dall'Agnol, R.; Dantas, E.L.; Macambira, M.J.B.; Gomes, A.C.B.; Sardinha, A.S.; Oliveira, D.C.; Santos, R.D.; Santos, P.A. (2012). Geochemistry, Geochronology, and Origin of the Neoarchean Planalto Granite Suite, Carajás, Amazonian Craton: A-Type or Hydrated Charnockitic Granites? Lithos, 151, 57–73.

Feio, G.R.L.; Dall'Agnol, R.; Dantas, E.L.; Macambira, M.J.B.; Santos, J.O.S.; Althoff, F.J.; Soares, J.E.B. (2013). Archean granitoid magmatism in the Canaã dos Carajás area: Implications for crustal evolution of the Carajás province, Amazonian craton, Brazil. Precambrian Research, 227, 157-186.

Ferreira Filho, C.F., Cançado, F., Correa, C., Macambira, E.M.B., Siepierski, L., Brod, T.C.J. (2007). Mineralizações estratiformes de EGP-Ni associadas a complexos acamadados em Carajás: os exemplos de Luanga e Serra da Onça. Contribuições à Geologia da Amazônia, vol. 5, 01-14.

Machado, N., Lindenmayer, D.H., Krough, T.E., Lindenmayer, Z.G. (1991). U-Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás area, Amazon Shield, Brazil. Precambrian Research, 49, 329-354.

Marangoanha, B., Oliveira, D.C., Dall'Agnol, R. (2019a). The Archean granulite-enderbite complex of the northern Carajás province, Amazonian craton (Brazil): Origin and implications for crustal growth and cratonization, Lithos, Volumes 350–351, 105275.

Marangoanha, B., Oliveira, D.C., Oliveira, V.E.S., Galarza, M.A., Lamarão, C.N. (2019b). Neoarchean A-type granitoids from Carajás province (Brazil): New insights from geochemistry, geochronology and microstructural analysis. Precambrian Research, 324, 86–108.

Medeiros, V. C.; Rosa-Costa, L. T. (Orgs.). (2020). Guia de procedimentos técnicos: volume 1 - cartografia geológica. Brasília: CPRM, 170 p.

Silva, L.R.; Oliveira, D.C.; Santos, M.N.S. (2018). Diversity, origin and tectonic significance of the Mesoarchean granitoids of Ourilandia do Norte, Carajás province (Brazil). Journal of South American Earth Sciences, 82, 33-61.

Silva, M.A D. da.; Monteiro, L.V.S.; Santos, T.J.S.; Moreto, C.P.N.; Sousa, S.D.; Faustinoni, J.M.; Melo, G.H.C.; Xavier, R.P.; Toledo, B.A.M. (2021). Mesoarchean Migmatites of the Carajás Province: From Intra-Arc Melting to Collision. Lithos, 388–389, 106078.

Vasquez, M.L., Rosa-Costa L.T. (2008). Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará: Sistema de Informações Geográficas - SIG: texto explicativo dos mapas Geológico e Tectônico e de Recursos Minerais do Estado do Pará. Escala 1:1.000.000. Belém: CPRM, 328 p.

ASSOCIAÇÃO CHARNOCKÍTICA DA PORÇÃO CENTRAL DO MUNICÍPIO DO CANTÁ – RORAIMA - GEOLOGIA, PETROGRAFIA E MECANISMOS DE DEFORMAÇÃO

Vanessa Rodrigues Portal[1]; Ana Tayla Rodrigues Ferreira[1]; Lara Gabrielly Pereira das Neves[1]; Verónica Isabel Nazareth Fernadez[1]; Melquysedeque Ralyzom Melo da Silva[1]

[1]**Universidade Federal de Roraima – UFRR.**

vanportal15@gmail.com; tayla.ferreira@ufrr.br; laragabriellyufrr@gmail.com; veronicafer2004@gmail.com; melquysedeque1000@gmail.com

RESUMO

Na porção central do município do Canta-RR, ocorre um conjunto Qz metassienitos, metamonzogranitos, Qz mangeritos e Hbl-Qz mangeritos relacionados à Suíte Serra da Prata, de idade paleoproterozíca. Essas rochas representam uma associação charnockítica intrusiva nos gnaisses do Cinturão Rio Urubu, Província Geocronológica Maroni Itacaiunas, Escudo das Guiana. O presente trabalho visa compreender de forma preliminar a petrogênese dessas rochas a partir de dados de campo e petrográficos. Os resultados mostram que essas rochas ocorrem fortemente associadas espacialmente, porém não apresentam conteúdos mineralógicos compatíveis com uma história magmática evolutiva única. Além disso, elas apresentam feições deformacionais tanto do tipo *bulging*, quanto do tipo *Grain Boundary Migration* (GBM), o que indica que elas foram afetadas por mais de um evento deformacional metamórfico, provavelmente, com pico máximo em fácies anfibolito, e um último evento mais tardio de fácies xisto verde.

PALAVRAS-CHAVE: Charnockitos; Suíte Serra da Prata; Cinturão Rio Urubu; Escudo das Guianas.

INTRODUÇÃO

A associação charnockítica da porção centro-oeste do Cantá (região central do estado de Roraima) está inserida na porção leste do Cinturão Rio Urubu (Fraga *et al*. 2024), Província Geocronológica Maroni-Itacaiúnas (Tassinari e Macambira, 2004), Escudo das Guianas, norte do Cráton Amazônico (Fig. 1).

Trata-se de um conjunto de rochas pertencentes à Suíte da Prata, mas que até então não haviam sido devidamente caracterizadas seja pela falta de afloramento, ou pela escala de trabalho dos mapeamentos realizados na região.

O trabalho presente visa propor uma compreensão preliminar dessas rochas a partir de dados de campo e petrográficos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Trabalho de campo

Os trabalhos de campo possibilitaram a coleta sistemática de 6 amostras macroscopicamente distintas, porém, encontras espacialmente associadas.

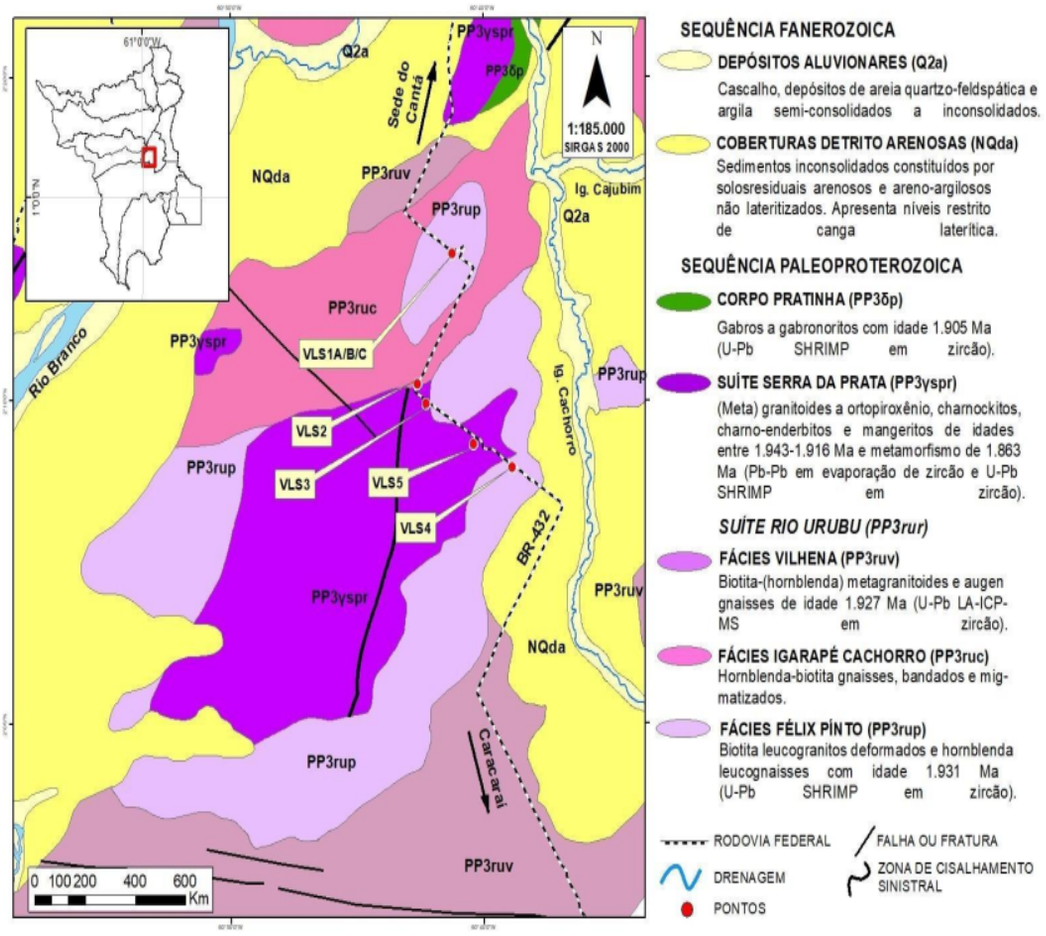


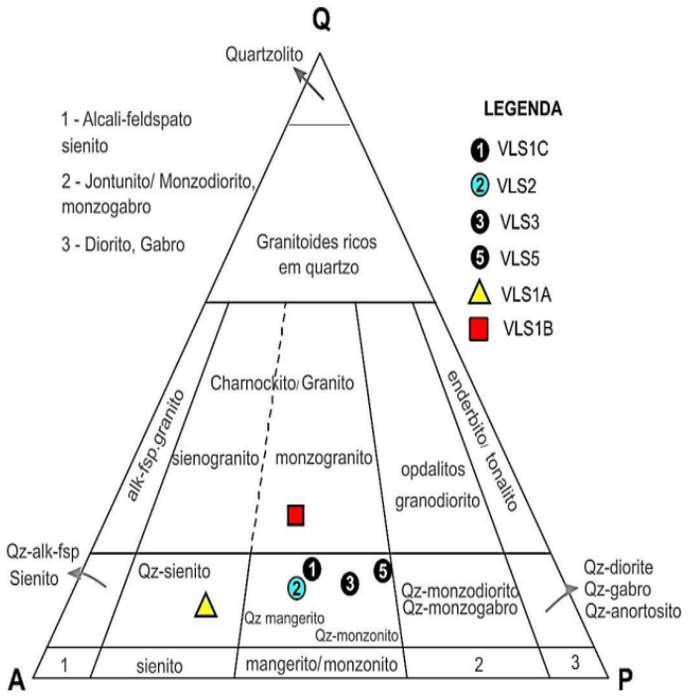
Figura 1: Mapa geológico da porção central do município do Cantá-RR de acordo com Lopes *et al.* 2021.

2.2. Petrografia

Os trabalhos petrográficos se concentraram nos aspectos texturais e mineralógico das 6 amostras coletadas em campo. Dessa maneira, as rochas foram classificadas com base nos critérios estabelecidos pela *International Union of Geoscientists* em Le Maitre (2002). Ao passo que os mecanismos de deformação foram interpretados, sobretudo, com base nos critérios indicados por Passchier e Trouw (2005).

RESULTADOS

A associação charnockítica da porção central do município do Cantá é representada por: Qz metasienitos (VLS1A), metamonzogranitos (VLS1B), Qz mangeritos (VLS1C, VLS3, VLS5) e, subordinadamente, hornblenda-quartzo mangeritos miloníticos (VLS2), Fig. 2, Tabela 1.



Fonte: Adaptado de Rajesh e Santosh (2012); Streckeisen (1974).

Figura 2: Diagrama de classificação mineralógica modal de Streckeinsen (1976), adaptado por Rajesh e Santosh (2012) para rochas charnockíticas.

MINERAIS	AMOSTRAS					
ROCHA	Hbl-Qz mangerito milonítico	Qz mangerito			Metamonzogranito	Qz metasienito
PRIMÁRIOS %	VLS2	VLS5	VLS3	VLS1C	VLS1B	VLS1A
Qz	11	15	15	15	22	10
Pl	33	49	44	34	30	25
Kf	37	27	31	37	35	60
Cpx	2	0,2	-	-	-	-
Opx	3	2	2	3	-	-
Hbl	8	3	3	4	6	0,5
Bt	5	3	4	5	5	3
Ms	-	0,2	-	-	-	-
Zrn*	0,2	0,2	0,5	1	0,4	0,5
Ap*	-	-	0,5	-	0,1	-
Ep*	0,2	0,2	-	0,5	-	-
Ttn*	0,4	-	-	0,5	0,5	1
Aln		-	-	-	-	-
Op*	0,2	0,2	-	-	1	-
SECUNDÁRIOS%						
Op	presente	presente	presente	presente	presente	presente
Ep	-	-	-	-	-	-
Chl	-	-	-	-	-	-
Sericita/Ms	presente		presente	presente	presente	presente

Obs.: Os minerais (*) que apresentam percentual ≤ 1% somam o total entre 1% e 2% em cada amostra.

Tabela 1: Conteúdo modal estimado das rochas da associação charnockítica da porção central do município do Cantá-RR.

Aspectos de campo

Os Qz metasienitos, metamonzogranitos e Qz mangeritos da porção central de Cantá-RR afloram na forma blocos e matacões de dimensões métricos a decamétricos e formas subangulosos. Muitos desses blocos foram expostos pelas detonações executadas para a abertura da BR-432 (Figura 13A-D). Dessa maneira, na área de melhor exposição dessas rochas, é possível observar que os Qz sienitos, os metamozongranitos e os Qz mangeritos são encontrados espacialmente associados e apresentam contatos gradativos percebidos, sobretudo, por variações na cor e na granulação dessas rochas.

Figura 3: Aspectos de campo das rochas da associação charnockítica da porção central de Cantá-RR. A) Blocos detonados de dimensões métricas a decamétricas; B) Corte de estrada com matacões de quartzo metasienitos preservados em meio a um horizonte saprolítico; C) Blocos métricos de Hbl-Qz mangerito milonítico à beira da estrada. D) Blocos métricos de Qz mangerito dentro de propriedade rural.

Aspectos petrograficos

Os Qz metasienitos são de cor cinza esbranquiçada, hololeucocráticos (máfico = ~5%), com textura porfirítica (pórfiros = ~10%) de matriz fanerítica (~90%). Os pórfiros são de granulação média (~2,3 a 3 mm) e representados por cristais de FK (~7%), por vezes, com pertitas em vênulas, e Pl (~3%). A matriz possui granulação fina (0,5 a 1 mm) e é representada por FK (~53%), Pl (~22%), Qz (~10%), Bt (~3%) e Hbl (<1%). Os cristais de FK da matriz, por vezes, apresentam textura granofírica, e intercrescimentos pertíticos em chamas e em vênulas, enquanto o Pl apresenta textura mimerquítica. Os minerais acessórios são opacos e zircão.

Os metamonzogranitos possuem cor cinza médio, são leucocráticos (máficos = ~13%), com textura porfirítica de matriz fanerítica. Estas rochas apresentam cerca de 20% de pórfiros e cerca de 80% de matriz. Os pórfiros são de granulação média a grossa (~1,6 a 8,8 mm) e são representados por cristais de FK (~15%), por vezes, com textura granofírica e intercrescimento pertítico em filetes (Figura 15D) e vênulas, e cristais de Pl (~5%). A matriz possui granulação fina (0,2 a 0,8 mm) e é representada por cristais de FK (~20%), Pl (~25%), Qz (~22%), Hbl (~6%), e Bt (~5%). Os minerais acessórios são representados por opacos, apatita, titanita e zircão, os quais somam cerca de 2% da rocha.

Os Qz mangeritos possuem cor cinza escuro, são leucocráticos (máficos = 9-19%), possuem textura porfirítica de matriz fanerítica, com pórfiros subédricos a anédricos. Os pórfiros e os cristais da matriz possuem foliação lepi-nematoblástica incipiente marcada pela orientação preferencial dos minerais placóides (Bt) e prismáticos (Hbl). Alguns intercrescimentos pertíticos acompanham a orientação preferencial desses minerais. Estas rochas são representadas por cerca de 10 a 25% de pórfiros e 75 a 90% de matriz. Os pórfiros possuem granulação média a grossa com tamanhos entre 2 e 8 mm e são representados plagioclásio (6-10%), FK (4-14%) e ferrosilita (~1%). Cristais anédricos de hornblenda preenchem fraturas e circundam cristais de ferrossilita. Texturas mimerquítica são frequentes. A matriz possui granulação fina a média (~ 0,1 e 2,4 mm), e é representada por Pl (~28-43%), FK (~20-34%), Qz (~15%), Hbl (~3-5%), Bt (~3-6%) e Ferrosilita (~1-3%) e clinoferrossilita (<1%). Os minerais acessórios são representados por opacos, zircão, apatita, titanita e epidoto (total = ~1%).

Os Hbl-Qz mangeritos miloníticos representam uma variação textural e composicional dos Qz mangeritos, com conteúdo de hornblenda superior a 5% em relação às demais rochas da associação. Estas rochas também apresentam feições miloníticas. Os Hbl-Qz mangeritos miloníticos possuem textura granoblástica interlobada, seriada e intercalada com domínios lepidonematoblásticos. A espessura dos domínios lepidoblásticos medem cerca de 0,3 mm. A rocha apresenta foliação milonítica a qual é representada por cristais de quartzo alongados com aspecto fitado, biotitas e hornblendas em aglomerados de granulação fina com aspecto de fluxo formando bandas não contínuas. A mineralogia é composta por FK (~37%), Pl (~33%), Qz (~11%), Hbl (~8%), Bt (~5%), ferrosilita (~3%) e poucos cristais de clinoferrosilita (~2%). Os minerais acessórios são representados por zircão, titanita, epídoto, apatita e opacos, os quais somam cerca de 1% da rocha. Nos cristais de K-feldspato, por vezes, ocorrem pertitas em vênulas e em barras.

Aspectos deformacionais

As rochas da associação charnockítica da porção central do Cantá-RR apresentam diferentes aspectos texturais deformacionais. Com base nisso, podemos reagrupá-las em: Grupo 1, representado pelos Qz metassienitos, metamonzogranitos e Qz mageritos, os quais apresentam foliação lepidoblástica incipiente; e, Grupo 2, representado pelo Hbl-Qz mangerito, o qual apresenta aspecto milonítico bem marcado pela presença de Qz em fita.

Em todas essas rochas ocorrem tanto feições do tipo *bulging* (BLG) quanto *Grain Boundary Migration* (GBM). A principal diferença entre as rochas dos grupos 1 e 2 é a ocorrência de quarto em fita e chessboard apenas nas amostras do grupo 2.

DISCUSSÕES

Associação charnockítica

A forte associação entre os metassienitos, metamonzogranitos e mangeritos encontrados no ponto VLS1 e os contatos gradativos entre essas rochas indicam que elas representam uma associação charnockítica. Apesar disso, até o presente momento, não foram encontrados os componentes máficos (gabros e anortositos) que comumente são descritos nas associações charnockíticas da Província do Sul da Índia (Holland, 1990).

Origem ígnea *versus* origem metamórfica

De acordo com Touret e Huizenga (2012), rochas charnockíticas podem ser originados tanto por processos ígneos quanto por processos metamórficos, e essa distinção pode ser feita a partir dos aspectos mineralógicos e texturais dessas rochas. Assim, Touret e Huizenga (2012), sugerem que a origem metamórfica pode ser identificada pela presença de quartzo *platy* (placoso) e a presença de minerais ricos em Al, tais como a granada e a cordierita. Assim, a ausência destes constituintes e a ocorrência de intercrescimentos mimerquíticos, associada a presença de pórfiros de FK e cristais subédricos de ortopiroxênio nas rochas aqui descritas, indicam a origem ígnea de seus protólitos.

Evolução magmática

Os dados mineralógicos modais das diferentes rochas descritas neste trabalho (Tabela 1) não permitem identificar qualquer *trend* evolutivo. Ou seja, as variações no conteúdo mineral das rochas da associação charnockítca da porção central do Cantá-RR representam processos mais complexos do que uma simples evolução comagmática gerando diferentes produtos.

Mecanismos de deformação

Apesar da origem ígnea da associação charnockítica da porção central de Cantá-RR, essas rochas apresentam microfeições deformacionais e metamórficas relacionadas a processos tardios à sua formação.

A ocorrência de feições do tipo *Grain Boundary Migration* (GBM) nessas rochas, de acordo com os critérios texturais de Passchier e Trow (2005) indicam que essas rochas alcançaram pico metamórfico acima de 500ºC. Por outro lado, a preservação de feições do tipo *bulging*, também observadas, pode sugerir que essas rochas foram afetadas por mais de um episódio metamórfico, sendo esse último de fácies xisto verde.

Quanto a presença de feições miloníticas (quartzo em fita e textura *chessboard* em cristais de Qz) em apenas uma amostra, parece plausivelmente explicada pela proximidade desta rocha com uma fratura NE-SW mapeada na área (Fig. 1).

CONCLUSÕES

Na porção central do Cantá-RR ocorrem um conjunto de Qz metassienitos, metamonzogranitos, Qz mangeritos e Hbl-Qz mangeritos miloníticos que representam uma associação charnockítica ígnea.

A feições deformacionais dessas rochas estão relacionadas a eventos deformacionais-metamórficos tardios de pico metamórfico de fácies anfibolito.

Estudos detalhados de química mineral, litogeoquímica e geocronólicos podem ajudar na elucidação mais detalhada da petrogênese dessas rochas.

AGRADECIMENTOS

Esta seção é opcional. Os autores agradecem ao apoio institucional da Universidade Federal de Roraima e à infraestrutura do Núcleo de Pesquisas Energéticas, Nupenerg.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Fraga, L. M. *et al*. (2024). Early Orosirian belts of the central Guiana Shield, Northern Amazonian Craton: U-Pb geochronology and tectonic implications. Precambrian Research, v. 407, p. 107362.

Holland, T.H. (1990). The charnockite series, a group of Archean hypersthenic rocks in peninsular India. Geological Survey of India Memoir, 28. 192-249.

Le Maitre, R. W. *et al.* (2002). Igneous rocks: a classification and glossary of terms. 2.ed. Cambridge: Cambridge University Press, 254 p.

Lopes, P.R.S., *et al.* (2021). Mapa geológico do centro-sudeste de Roraima. Manaus: SGB-CPRM, 1 mapa. Escala 1:500.000. Projeto centro-sudeste de Roraima. Ação levantamento geológico e de potencial mineral de novas fronteiras. Programa geologia, mineração e transformação mineral.

Touret, J. LR., Huizenga, J. M. (1991). Charnockite microstructures: from magmatic to metamorphic. Geoscience Frontiers, v. 3, n. 6, p. 745-753, 2012. University Press, 1991. 348 p.

Passchier, C. W., Trouw, R. AJ. (2005). Microtectonics. Springer Science & Business Media. Peninsular India: Memoirs of the Geological Survey of India, 28. 119–249 p.

Rajesh, H., Santosh, M. (2012). Charnockites and charnockites. Geoscience Frontiers, v. 3, n. 6, p. 737-744.

Streckeisen, A. (1976). To each plutonic rock its proper name. Earth Science Reviews. International Magazine for Geo-Scientists. Amsterdam. Vol.12, p.1–33.

Tassinari, C.C.G., Macambira, M.J.B. (2004). A evolução tectônica do Cráton Amazônico. Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. 471-474 p.

IDADE (U-Pb) E PROVENIÊNCIA DO GRUPO TARTARUGALZINHO, PALEOPROTEROZOICO DO SUDESTE DO ESCUDO DAS GUIANAS

Juan Felipe Almeida Costa[1]; João Marinho Milhomem Neto[1]; Jean Michel Lafon[1]; Kei Sato[2]

[1]Universidade Federal do Pará (UFPA), Laboratório de Geologia Isotópica (Pará-Iso); [2]Universidade de São Paulo (USP), Laboratório de Geocronologia de Alta Resolução (GeoLab)

juan.costa@ig.ufpa.br; milhomem@ufpa.br; lafonjm@ufpa.br; keisato@usp.br

RESUMO

O Grupo Tartarugalzinho (GT) corresponde a uma faixa metavulcanossedimentar de direção NW-SE localizada no município de Tartarugalzinho-AP, representando uma unidade supracrustal de expressiva relevância científica e econômica, associada a depósitos auríferos e à evolução crustal paleoproterozoica da região Sudeste do Escudo das Guianas (SEG). Embora no passado correlacionada ao Grupo Vila Nova (>2,26 Ga), a ausência de datação radiométrica motivou a presente investigação, cujo objetivo foi definir a idade do vulcanismo e da sedimentação clástica, incluindo a proveniência, com base em análises geocronológicas U-Pb *in situ* em zircões extraídos de um xisto máfico e de um quartzito. As amostras foram caracterizadas petrográfica e mineralogicamente, e os zircões analisados por SIMS (SHRIMP IIe), no Instituto de Geociências - USP, e por LA-Q-ICP-MS, no Instituto de Geociências -UFPA. Os dados obtidos revelaram, para o xisto máfico, uma idade de cristalização de 2133 ± 16 Ma, fornecendo o primeiro registro de idade do vulcanismo associado ao GT. Para o quartzito, a idade máxima de deposição foi estimada em 2141 ± 13 Ma, com base na média ponderada das dez idades $^{207}Pb/^{206}Pb$ mais jovens e concordantes entre si. As populações de zircões identificadas abrangem intervalos riacianos (2,1–2,3 Ga; 73%), siderianos (2,3–2,4 Ga; 18%) e arqueanos (2,58–3,0 Ga; 9%), refletindo fontes variadas, possivelmente ligadas ao Domínio Lourenço, ao Bloco Amapá ou ainda a unidades mais distais do Cráton Amazônico (Domínio Bacajá), onde ocorrem rochas de idade sideriana. Os dados obtidos invalidam a correlação com unidades supracrustais mais antigas que 2,26 Ga e reforçam a vinculação do GT com o magmatismo de arco riaciano (2,26-2,09 Ga) em um contexto acrescionário da orogenia transamazônica, já bem registrado no SEG.

PALAVRAS-CHAVE: Geocronologia U-Pb; Zircão; Grupo Tartarugalzinho; Escudo das Guianas.

INTRODUÇÃO

O Grupo Tartarugalzinho (GT; Rosa-Costa *et al.* 2014) consiste em uma faixa metavulcanossedimentar orientada segundo NW-SE, localizada no município de Tartarugalzinho (AP), na porção sul do domínio paleoproterozoico Lourenço, Sudeste do Es-

cudo das Guianas (SEG). É subdividido em uma unidade metamáfica/metaultramáfica, composta por anfibólio xistos e anfibolitos, e uma unidade metassedimentar, formada por quartzitos e xistos micáceos. Esse grupo é parte de uma importante província metalogenética do Amapá, tendo sido alvo de intensa atividade garimpeira e atualmente sediando um projeto de lavra aurífera em fase de implantação, evidenciando seu elevado potencial econômico. Embora inicialmente correlacionado ao Grupo Vila Nova (>2,26 Ga), a idade e origem do GT foram reinterpretadas por Rosa Costa *et al.* (2014) com base em sua associação a granitoides riacianos de arcos magmáticos (Suíte Flexal: 2,20–2,18 Ga; Tonalito Papa Vento: 2,14–2,13 Ga; Rosa Costa *et al.* 2025), indicando vulcanismo e deposição em bacia correlata. Entretanto, a escassez de dados geocronológicos absolutos ainda limita a compreensão de sua evolução. Assim, este estudo buscou suprir essa lacuna por meio da datação U-Pb *in situ* em zircões de um xisto máfico e um quartzito do GT. Os resultados obtidos contribuem para o posicionamento tectonoestratigráfico da unidade, sua proveniência em termos de idade e o refinamento dos modelos de evolução crustal do segmento oriental do Escudo das Guianas, no contexto da Orogênese Transamazônica.

Esta pesquisa é uma contribuição do projeto SAXI (*The South American Exploration Initiative*) – fase II, AMIRA P1061 B, módulo 7a: "*Unravelling the Archean and Paleoproterozoic crustal evolution in the SE Guiana Shield, Brazil"*; e do Programa de Apoio a Núcleos de Excelência - PRONEX/FAPESPA/ CNPq 062/2020, intitulado "Geoquímica Isotópica Aplicada a Estudos Ambientais, Paleoambientais, Metalogenia e Evolução Crustal".

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram selecionadas duas amostras representativas do GT (um quartzito e um xisto máfico), coletados a sudoeste da cidade de Tartarugalzinho às margens de um ramal da BR-156 e do rio Tartarugalzinho, respectivamente. Ambas integram o acervo do Laboratório de Geologia Isotópica (Pará-Iso), do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará (IG-UFPA), oriundas de campanhas de campo anteriores no âmbito dos projetos de pesquisa supramencionados.

As amostras foram submetidas às seguintes etapas analíticas no parque laboratorial dos Institutos de Geociências da UFPA e da USP: (I) caracterização petrográfica macro e microscópica em lâminas delgadas; (II) preparação das amostras para geocronologia (trituração/pulverização, deslame, peneiramento, separação de minerais pesados, seleção dos cristais de zircão e confecção da pastilha com resina epóxi - *mount*; (III) Imageamento por microscopia eletrônica de varredura (MEV), realizado no Laboratório de Microanálises do IG-UFPA e no GEOLab do IGc-USP para obtenção de imagens de catodoluminescência (CL) a fim de utiliza-las como guia na seleção dos domínios analíticos nos cristais de zircão; (IV) análises U-Pb em zircão, realizada por meio de duas técnicas: (IV.1) espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado, analisador quadrupolo e sistema de ablação a laser (LA-Q-ICP-MS), modelo *iCAP-Q*, realizada no Pará-Iso (IG-UFPA), seguindo a metodologia descrita por Miranda (2023); e (IV.2) espectrometria de massa de íons secundários (SIMS) com uma microssonda iônica de alta resolução e sensibilidade (SHRIMP IIe), realizada no Laboratório de Geocronologia de Alta Resolução (GEOLab), do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGc-USP), seguindo os procedimentos apresentados em Sato *et al*. (2014).

RESULTADOS

Petrografia e aspectos de campo

Unidade Metassedimentar (quartzito): Aflora em lajedo associado a blocos soltos e corresponde a uma rocha anisotrópica, de cor cinza-esbranquiçada, coberta por capa intempérica escura. Apresenta granulação fina, equigranular e intenso fraturamento, com veios de quartzo associados e porções friáveis resultantes de caulinitização. Microscopicamente, exibe textura granoblástica com cristais de até ~0,3 mm. O quartzo (>99%) ocorre em três variedades: qtz1, com cristais anédricos e contatos suturados ou tríplices; qtz2, com granulação muito fina (<0,1 mm), envolvendo qtz1; e qtz3, presente nos veios, com cristais até ~0,5 mm. Muscovita acessória (<1%) ocorre dispersa ou em aglomerados.

Unidade Metamáfica/metaultramáfica (Chl-Tr-Act xisto): Aflora em extensos lajedos às margens e no leito do rio Tartarugalzinho. Trata-se de uma rocha anisotrópica de granulação fina, holocristalina, de cor cinza escura com capa intempérica marrom e fraturas preenchidas por quartzo, apresentando forte foliação NW-SE (120–130° Az). Microscopicamente, exibe granulação fina (~1 mm) e textura nematoblástica, definida pela orientação dos cristais de anfibólio, formando uma trama geral de xistosidade. A paragênese mineral é representada por plagioclásio (42%), actinolita (38%), tremolita (~8%), quartzo (6%), minerais opacos (2%), clorita (2%), epídoto (~1%) e carbonato (~1%).

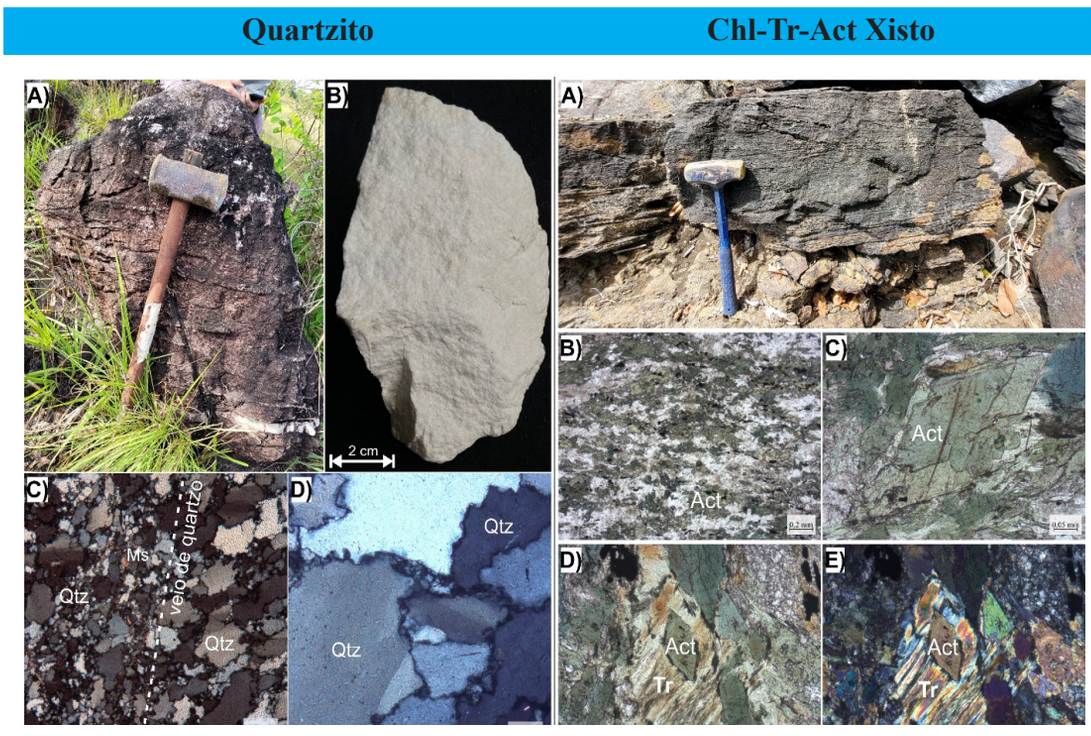


Figura 1 – **Quartzito: A:** Aspectos de campo, com capa intempérica e caráter foliado; **B:** Amostra de mão, com destaque para o aspecto geral de cor e textura; **C e D:** Fotomicrografias (nicóis cruzados - NC) destacando textura geral, restritas lamelas de Ms e o contraste de granulação com o veio de quartzo destacado pela linha tracejada. **Chl-Tr-Act Xisto: A:** Aspectos de campo, evidenciando a cor e xistosidade; **B:** Fotomicrografias evidenciando aspecto geral da rocha, como a textura nematoblástica marcada por cristais prismáticos de Act orientados em Luz Natural (LN); **C:** seção basal rômbica de Act em LN; **D e E:** Cristal fibroso de Tr com inclusão de seção basal de Act, em LN e NC, respectivamente.

Geocronologia U-Pb em zircão

LA-Q-ICP-MS: Foram realizadas 166 análises pontuais em zircões detríticos recuperados exclusivamente da fração 75–125 µm da amostra de quartzito, uma vez que não foram identificados zircões em outras faixas granulométricas. Destas análises, 89 atenderam aos critérios de qualidade (Pb comum: $f_{206} < 1\%$; discordância entre as idades $^{206}Pb/^{238}U$ e $^{207}Pb/^{206}Pb < 10\%$). Entre essas, 8 são de idades arqueanas, 16 siderianas e 65 riacianas. As 10 idades individuais concordantes mais jovens definiram uma idade média ponderada $^{207}Pb/^{206}Pb$ de 2141 ± *13 Ma (MSWD = 0,083; youngest grain cluster at 2σ uncertainty*) (Figura 2A).

SIMS: Foram realizadas 16 análises em zircões da amostra de Chl-Tr-Act xisto (fração 75–125 µm). Destas análises, 10 apresentaram discordância entre as idades $^{206}Pb/^{238}U$ e $^{207}Pb/^{206}Pb$ *> 7% e não foram consideradas nos cálculos de idade. Três idades* individuais concordantes definiram uma idade de 2133 ± 16 Ma (MSWD = 1,8). Outras três idades concordantes mais velhas foram identificadas, sendo duas arqueanas (2902 ± 5 Ma e 2706 ± 6 Ma) e uma riaciana (2222 ± 16 Ma) (Figura 2B).

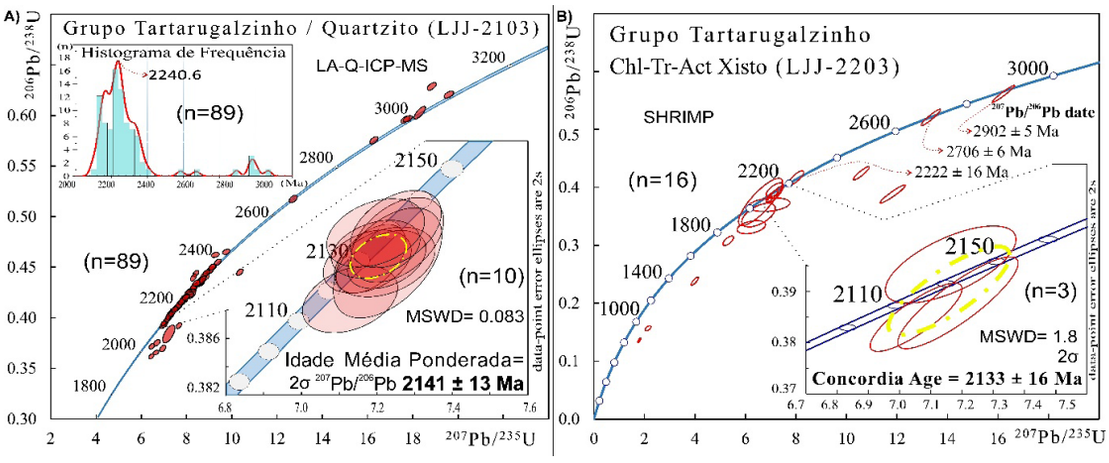


Figura 2: Dados U-Pb *in situ* em zircão obtidos para o GT. (A): Diagrama Concórdia geral do quartzito, com *insert* do Histograma de Frequência e a idade média ponderada $^{207}Pb/^{206}Pb$ interpretada como a idade máxima de sedimentação do protólito. (B): Diagrama Concórdia do Chl-Tr-Act Xisto, destacando a idade concordante obtida e interpretada como idade de cristalização do protólito máfico.

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

As análises U-Pb em zircões do Chl-Tr-Act xisto (unidade metamáfica) resultaram em uma idade de 2133 ± 16 Ma (n = 3; MSWD = 1,8), atribuída à cristalização dos protólitos máficos. A interpretação é sustentada pela presença de zoneamentos internos compatíveis com origem magmática, pelas razões Th/U superiores a 0,1 — típicas de zircões ígneos — e pelo fato de que o metamorfismo de baixo a médio grau, identificado petrograficamente, não foi suficientemente intenso para reconfigurar o sistema isotópico U-Pb. Esse resultado representa, portanto, o primeiro registro de idade do vulcanismo do GT. Idades concordantes mais antigas (2222 ± 16 Ma, 2706 ± 6 Ma e 2902 ± 5 Ma) são interpretadas como herdadas do embasamento riaciano e arqueano. O número

reduzido de análises concordantes obtidos deve-se ao baixo grau de preservação dos poucos cristais encontrados (rocha máfica pobre em sílica para gerar zircão).

No quartzito (unidade metassedimentar), as análises U-Pb em zircões detríticos (n= 89) definiram uma idade máxima de deposição de 2141 ± 13 Ma (n= 10; MSWD= 0,083), com base na média ponderada do conjunto de idades $^{207}Pb/^{206}Pb$ mais jovens e concordantes, seguindo as premissas de Coutts *et al.* (2019). As populações de zircões detríticos identificadas refletem três principais intervalos de idade: Riaciano (2,1–2,3 Ga; 73%), Sideriano (2,3–2,4 Ga; 18%) e Arqueano (2,58–3,0 Ga; 9%). A predominância de zircões riacianos indicam forte contribuição do magmatismo de arco (2,26-2,09 Ga) em unidades locais já reconhecidas no Domínio Lourenço (Rosa-Costa *et al*. 2025), como o Diorito Rio Santo Antônio (2,26 Ga), Suíte Flexal (2,20–2,15 Ga), Diorito Rio Mutura (2,17 Ga), Tonalito Lourenço (2,15 Ga) e Tonalito Papa Vento (2,13 Ga). Zircões siderianos (2,4–2,3 Ga), embora incomuns no Escudo das Guianas, ocorrem em unidades mais distais no Cráton Amazônico, como granitos e rochas do embasamento do Domínio Bacajá (Grupo Três Palmeiras e rochas gnáissico-tonalíticas) no Escudo Brasil Central (Magalhães *et al.* 2023 e referências citadas). Além de outros terrenos, como na Província Borborema (Costa *et al.* 2021) e no Cráton Oeste Africano (Grenholm *et al*. 2019). Localmente, os *greenstone belts* da Serra do Navio no Bloco Amapá também são potenciais fontes, com idades provavelmente siderianas (>2,26 Ga), inferidas a partir de granitoides intrusivos na sequência (Barreto *et al*. 2013; Rosa-Costa *et al.* 2014). A população neo a mesoarqueana (2,58–3,0 Ga) pode derivar do embasamento do bloco arqueano Amapá (3,34–2,59 Ga) (Pinto *et al.* 2024 e referências citadas). O Bloco Amapá, apesar da proximidade, provavelmente tenha contribuído de forma pouco expressiva, diante do predomínio de zircões riaciano-siderianos (n= 81).

A idade máxima de sedimentação obtida (~2,14 Ga) reforça que o GT não deve ser correlacionado a outras sequências metavulcanossedimentares mais velhas que 2,26 Ga (grupos Serra do Navio e Ipitinga) e consolidam sua vinculação a contextos acrescionários riacianos da Orogênese Transamazônica, conforme sugerido por Rosa-Costa *et al.* (2014, 2025). Além disso, as idades obtidas para o GT são compatíveis com aquelas registradas em outras sequências metavulcanossedimentares do SEG, como os *greenstone belts* Vila Nova da região central do Bloco Amapá (2,15 Ga; Hoffmann *et al.*, 2018) e Paramaca da Guiana Francesa (2,14 Ga; Delor *et al*., 2003).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barreto, C.J.S., Lafon, J.M., Rosa-Costa, L.T., Dantas, E.L. (2013). Paleoproterozoic granitoids from the northern limit of the Archean Amapá block (Brazil), Southeastern Guyana Shield: Pb-Pb evaporation in zircons and Sm-Nd geochronology. *Journal of South America Earth Science,* 45, 97–116. https://doi.org/10.1016/j.jsames.2013.02.005

Costa, A. P., Cavalcante, R., Dantas, A. R., Rodrigues, J. B., Cunha, A. L. C., Lages, G. A., Alcântara, V. C., Lima, R. B., e Spisila, A. L. (2021). Fragments of juvenile Siderian continental crust in the Rio Piranhas-Seridó. *Journal of the Geological Survey of Brazil*, 4, 223–237. https://doi.org/10.29396/jgsb.2021.v4.n3.3

Coutts, D. S., Matthews, W. A., e Hubbard, S. M. (2019). Assessment of widely used methods to derive depositional ages from detrital zircon populations. *Geoscience Frontiers*, 10, 1421–1435. https://doi.org/10.1016/j.gsf.2018.11.002

Delor, C., Lahond`ere, D., Egal, E., Lafon, J.M., Cocherie, A., Guerrot, C., Rossi, P., Truffert, C., Theveniaut, H., Phillips, D., Avelar, V.G. (2003). Transamazonian Crustal Growth and Reworking as Revealed by the 1:500.000 e Scale Geological Map of French Guiana. *Geologie de la France*, *2-3-4,* 5–58.

Grenholm, M.; Jessell, M.; Thébaud, N. (2019). Paleoproterozoic volcanosedimentary series in the ca. 2.27–1.96 Ga Birimian Orogen of the southeastern West African Craton. *Precambrian Research.*, 328, 161–192. https://doi.org/10.1016/j.precamres.2019.04.005

Hoffmann, I. B., Philipp, R. P., e Borghetti, C. (2018). Geochemistry and origin of the Rhyacian tholeiitic metabasalts and metaandesites from the Vila Nova greenstone belt, Guyana Shield, Amapá, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 88, 29–49. https://doi.org/10.1016/j.jsames.2018.07.009

Magalhães, L. B., Macambira, M. J. B., Macambira, E. M. B., e Ricci, P. S. F. (2023). Crustal growth in the northeast portion of the Rhyacian Bacajá domain, SE Amazonian craton, based on U–Pb, Lu–Hf, and Sm–Nd data. *Brazilian Journal of Geology*, 53(2), e20220068. https://doi.org/10.1590/2317-4889202320220068

Milhomem Neto J.M. & Lafon J.M. (2019). Zircon U-Pb and Lu-Hf isotope constraints on Archean crustal evolution in Southeastern Guyana Shield. *Geoscience Frontiers*, 10, 1477 1506. https://doi.org/10.1016/j.gsf.2018.09.012

Miranda C. C. de. (2023). Metodologia U-Pb em zircão por LA-Q-ICP-MS no laboratório Pará-Iso/UFPA. TCC, IG-UFPA, UFPA, Belém, xii, 58p. Universidade Federal do Pará (UFPA). Belém-PA. Disponível em: https://bdm.ufpa.br/jspui/handle/prefix/7589

Pinto, J.A.E., Lafon, J.M., Neto, J.M.M. (2024). Neoarchean magmatism and Rhyacian reworking in the northeast of the Amapá Block, southeastern Guiana Shield, Brazil: Geochemistry, U–Pb geochronology, and Hf–Nd isotopes. *Journal of South American Earth Sciences,* 138, 104859. https://doi.org/10.1016/j.jsames.2024.104859

Rosa-Costa, L. T., Chaves, C. L., e Klein, E. L. (2014). Geologia e recursos minerais da Folha Rio Araguari (NA.22-Y-B: Estado do Amapá: escala 1:250.000). Belém, CPRM, 159 p. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/20623

Rosa-Costa, L. T., Lafon, J. M., Milhomem Neto, J. M., e Pinto, J. A. E. (2025). An overview of Rhyacian continental magmatic arcs of the southeastern Guiana Shield, Amazonian Craton. *Journal of South American Earth Sciences*, 159, 105504. https://doi.org/10.1016/j.jsames.2025.105504

Sato, K., Tassinari, C. C. G., Basei, M. A. S., Siga Júnior, O., Onoe, A. T., e Souza, M. D. (2014). Sensitive High Resolution Ion Microprobe (SHRIMP IIe/MC) of the Institute of Geosciences of the University of São Paulo, Brazil: analytical method and first results. *Geologia USP – Série Científica*, 14(3), 3–18. https://doi.org/10.5327/Z1519-874X201400030001

MAPEAMENTO GEOLÓGICO E PETROGRAFIA DO MAGMATISMO UATUMÃ DA PORÇÃO NORTE DA VILA NOVO PARAÍSO - SUDESTE DO ESTADO DE RORAIMA

Emilly D'avila Assis da Silva[1]; Mayara Fraeda Barbosa Teixeira[1,2]; Victor Cassiano Barbosa[1]; Pilar Evanovich Grazziotin[1]; Tiago Felipe Arruda Maia[1,2]

[1]Departamento de Geociências - UFAM; [2]Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGGEO) - UFAM

emilly.davilla01@gmail.com; mayarafraeda@ufam.edu.br; victorcassianobar@gmail.com; grazziotp@gmail.com; tiagotmaia@ufam.edu.br

RESUMO

O mapeamento geológico realizado na porção sul do estado de Roraima permitiu revisar os limites, contatos e a distribuição espacial das unidades litoestratigráficas previamente reconhecidas na área. O produto gerado é um mapa com a ampliação da área de afloramento da Suíte Mapuera, além da revisão do contato com a Suíte Água Branca. Foram descritos monzogranitos e sienogranitos com texturas inequigranular, equigranular, porfirítica e variedades rapakivíticas. Além disso, foram identificadas rochas metamonzodioríticas ainda não atribuídas a nenhuma unidade formal, cuja relação de campo indica serem mais antigas que os granitos da Suíte Água Branca. Essas novas informações ampliam o conhecimento sobre a diversidade litológica da região. Estudos complementares de microscopia e geoquímica de rocha total serão realizados para caracterizar melhor essas unidades.

PALAVRAS-CHAVE: SLIP Uatumã; Vulcano-plutonismo; Domínio Uatumã-Anauá; Escudo das Guianas

INTRODUÇÃO

O estado de Roraima, está inserido no contexto geológico da Província Tapajós-Parima do Cráton Amazônico. A geologia do estado é dividia em dois domínios litoestruturais denominados Guiana Central e Uatumã-Anauá (Reis *et al*., 2003; Almeida *et al.,* 2006; CPRM, 2006). O Domínio Uatumã-Anauá, abriga granitoides da Suíte Água Branca (1,90 Ga; Almeida, 2006; Valério, 2006), além de granitos tipo-A das Suítes Moderna, Madeira (1,81 Ga), Mapuera e Abonari (1,87 Ga; Almeida *et al.,* 2006).

Todo esse magmatismo vulcano-plutônico de (~1,88 Ga) compreende a SLIP *(Silicic Large Igneous Province*) Uatumã. A SLIP Uatumã é um evento magmático de grande escala CA, que se estende pelas províncias Tapajós-Parima, Amazônia Central e Rondônia-Juruena (Teixeira *et al.,* 2018). As SLIPs são eventos de larga magnitude, com mais de 10.000 km de extensão, dominados por rochas com > 65% de SiO_2 e assinaturas geoquímicas cálcio-alcalinas e do tipo-A (Bryan e Ferrari, 2013).

Nesta perspectiva, o presente trabalho apresenta dados de mapeamento do magmatismo Uatumã da porção norte da Vila Novo Paraíso, no sudeste do estado de Roraima, a fim de identificar os granitos, e suas variedades faciológicas que afloram naquela região e interpretar os processos geológicos que levaram à formação das mesmas, por meio de dados obtidos em campo. Este trabalho então apresenta uma revisão do mapa geológico do Serviço Geológico do Brasil (SGB) para a área de estudo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Realizou-se um mapeamento geológico em escala de detalhe (1:25.000) na porção norte da Vila Novo Paraíso, no sudeste de Roraima. O trabalho de campo foi realizado com auxílio de mapas preliminares de logística e geológico, feitos no programa QGIS, plotados no aplicativo móvel Avenza, descrição sistemática de afloramentos observados na caderneta, assim como dados estruturais. Foram coletadas amostras para estudos petrográficos e geoquímicos que serão integrados a esses dados posteriormente.

RESULTADOS

De acordo com Serviço Geológico do Brasil - SGB/CPRM (2023), as rochas que afloram na área de estudo (Fig. 1), correspondem a granitos tipo-A da Suíte Moderna e Mapuera, e vulcânicas da Formação Represa Jatapu que representam o magmatismo Uatumã de (~1.86 Ga). Ocorrem também granitos cálcico-alcalinos tipo-I da fácies Jaburuzinho do Corpo Caroebe (Suíte Água Branca) de (1,90 Ga). Essas unidades são cobertas pela Formação Içá, de depósitos sedimentares da era Cenozoica entre os períodos Quaternário-Neogênico. Entretanto, através do mapeamento geológico realizado, foi possível definir com maior detalhe os limites de ocorrência dessas unidades, e diminuir a área da cobertura sedimentar. Além desses granitoides, foram descritas rochas metamonzodioríticas ainda não atribuídas às unidades descritas na geologia regional da área. Todos esses granitoides e metagranitoides estão descritos a seguir:

Metamonzodioritos

O metamonzodiorito ocorre na forma de lajedo, com bastante vegetação ao redor e relevo arrasado, com o solo alaranjado. Sendo uma rocha de coloração cinza-esverdeada, devido à proporção dos minerais máficos (Fig. 2A). Apresenta estrutura levemente foliada, com a orientação preferencial marcada pelos minerais máficos. É uma rocha inequigranular de granulação variando de média a grossa. Possui textura granoblástica, e mineralogia composta por plagioclásio (35%), e k-feldspato (15%) como minerais essenciais. Biotita e anfibólio correspondem às fases minerais máficas (50%). Essas rochas são cortadas por veios quartzo-feldspáticos, e diques de granito interpretados como da fácies Jaburuzinho do Corpo Caroebe (Fig. 2B). As relações de campo sugerem que o metamonzodiorito é mais antigo que as rochas da Suíte Água Branca.

Suíte Água Branca (Corpo Caroebe, Fácies Jaburuzinho

Biotita-monzogranito

Ocorrem na forma de blocos rolados, in situ, como lajedos. Apresentam em geral coloração cinza-esbranquiçado, são inequigranulares, de granulação fina a média. Mineralogicamente são compostos por quartzo (39%), plagioclásio (34%) e K-feldspato (27%). O teor de máficos é de (27%), sendo a biotita o máfico predominante. Possui leve foliação (Fig. 2C), ou por vezes bandeamento gnáissico (Fig. 2D).

Leucogranodiorito

Encontra-se na forma lajedo dentro de drenagem. Apresenta coloração acinzentada, com estrutura maciça, equigranular de granulação média (Fig. 2E). Mineralogicamente é composto por quartzo (34%), plagioclásio (53%) e K-feldspato (8%). O teor de máficos é de (5%), sendo a biotita o máfico predominante, com a presença de dique de aplito cortando o afloramento.

Suíte Mapuera

Monzogranitos

Ocorrem na forma de blocos rolados, e em in situ, na base da serra, como lajedos, por vezes dentro de drenagens, corredeiras e em cortes de estradas. Apresentam em geral coloração cinza-esbranquiçado, com estrutura maciça (Fig. 2F). Mineralogicamente são compostos por quartzo (25%), plagioclásio (31%) e k-feldspato (35%). O teor de máficos é de (9%), sendo o anfibólio e a biotita o máfico predominante. Por vezes apresentam a textura porfirítica com subordinadas variedades rapakivíticas. É possível observar a presença de enclaves máficos (Fig. 2G), e enclaves vulcânicos, possivelmente associados a Formação Jatapu. Foi observado também xenólitos de gnaisse do embasamento de tamanho métrico (Fig. 2H). Veios de quartzo e diques são frequentemente observados cortando os afloramentos, sem orientação preferencial. Localmente, os monzogranitos estão fortemente cisalhados, com direção preferencial do cisalhamento N65W/80°NE. Apresentando minerais máficos estirados e orientados, desenvolvendo uma textura milonítica, com porfiroclastos de feldspato sigmoidais, alongados e rotacionados, além de quartzo-ribbon (Fig. 2I). Sendo subdivididos em fácies porfiríticas portadoras de anfibólio e biotita.

Sienogranitos

Apresentam-se na forma de blocos rolados na base da serra. São rochas de coloração rosa-alaranjado, devido ao intemperismo, de estrutura maciça, sendo equigranular grosso (Fig. 2J). Os minerais essenciais são quartzo (29%), plagioclásio (17%) e K-feldspato (44%). Os minerais máficos de biotita, correspondem a (10%) da amostra. Foram divididos texturalmente em biotita-sienogranito grosso e biotita-sienogranito.

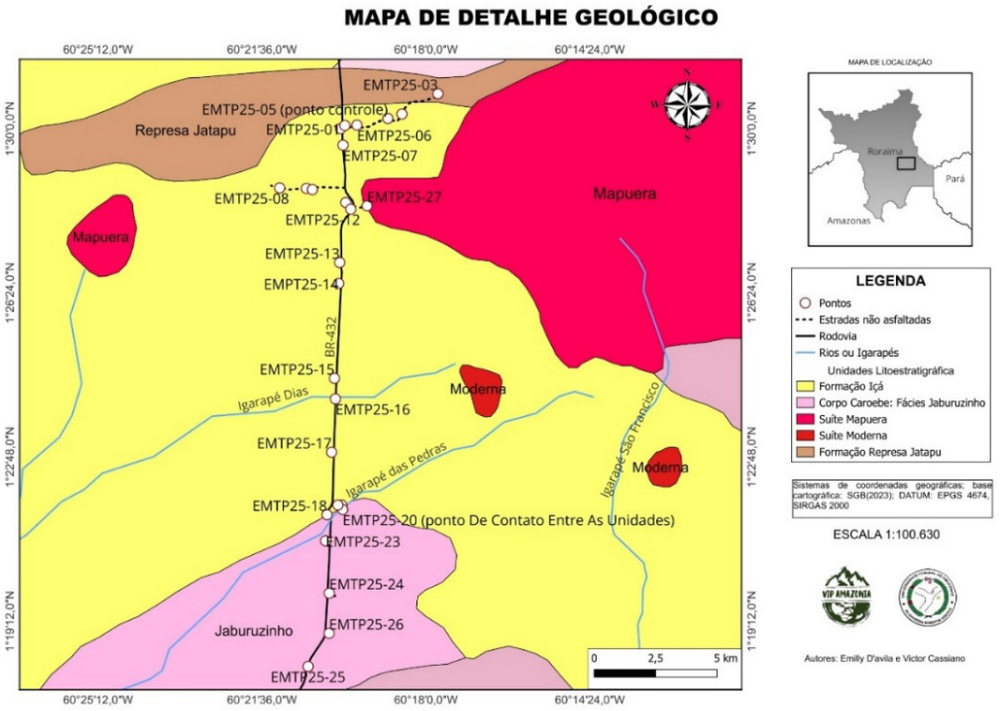


Figura 1 – Mapa Geológico da área de estudo, com os pontos visitados e amostrados. fonte: Serviço Geológico do Brasil, Mapa Estadual de Roraima (2023).

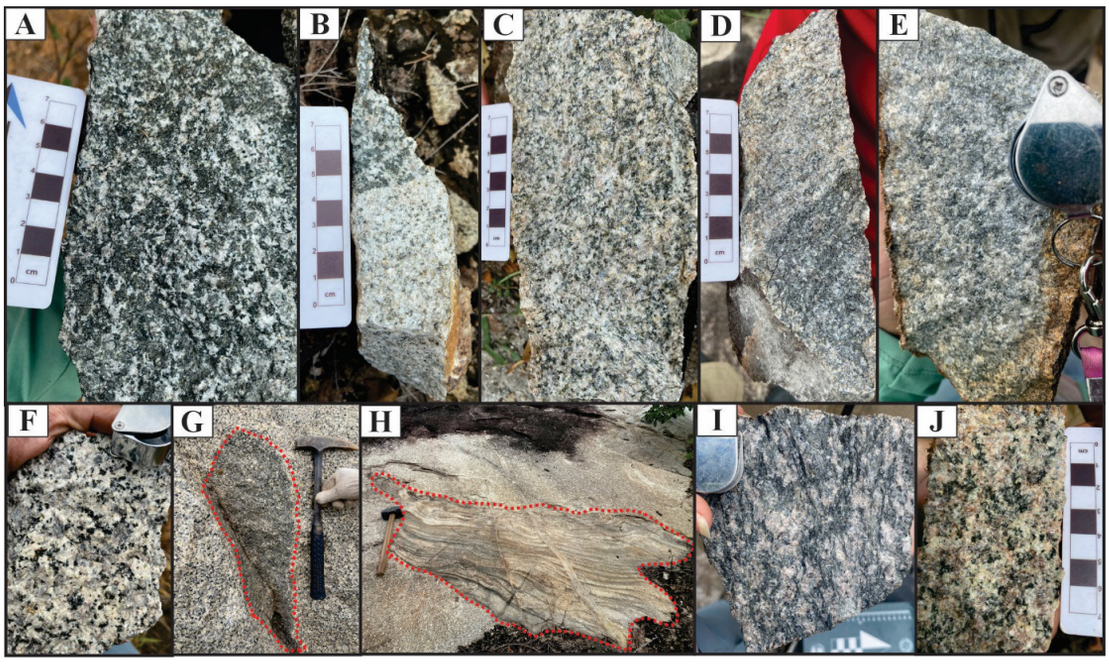


Figura 2 – Fotografias representativas dos granitoides aflorantes na área estudo: A) aspecto petrográfico do metamonzodiorito. B) aspecto petrográfico entre o contato do dique de granito com o metamonzodiorito. C) aspecto petrográfico do Bt monzogranito. D) Bt monzogranito com bandeamento gnáissico. E) aspecto petrográfico do leucogranodiorito. F) aspecto petrográfico do monzogranito. G) enclave máfico alongado no monzogranito. H) xenólito de ortognaisse no monzogranito. I) monzogranito milonitizado. J) aspecto petrográfico do sienogranito.

DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

O mapeamento geológico de detalhe permitiu a revisão dos limites e da distribuição espacial de algumas unidades litoestratigráficas previamente definidas. A área de ocorrência da Suíte Mapuera foi ampliada em relação aos mapas anteriores. Essa redefinição é sustentada pelas evidências de campo, que revelaram granitos com características petrográficas típicas dessa suíte, com composição variando de monzogranitos a sienogranitos, textura equigranular a porfirítica, além de variedades rapakivíticas, conforme descrito na literatura (Almeida e Macambira, 2006; CPRM, 2023). As semelhanças entre as rochas observadas e as descrições clássicas da Suíte Mapuera respaldam a ampliação de seus limites no mapa geológico da área (Fig. 3). O trabalho de campo também permitiu a discriminação de diferentes fácies dentro do Granito Mapuera, o que contribuirá para discussões mais detalhadas sobre a evolução desse magmatismo.

Além dos granitoides da Suíte Mapuera, foram descritas ocorrências de rochas metamonzodioríticas que, até o momento, não foram atribuídas a nenhuma das unidades litoestratigráficas reconhecidas na área de trabalho. Essas rochas apresentam relações de campo indicando que são mais antigas que os granitos da Suíte Água Branca, uma vez que é intrudido por estes. Essa nova identificação amplia o conhecimento sobre a diversidade litológica e os eventos magmáticos que afetaram a região. Esse trabalho será ampliado com estudos de microscopia e geoquímica em rocha total.

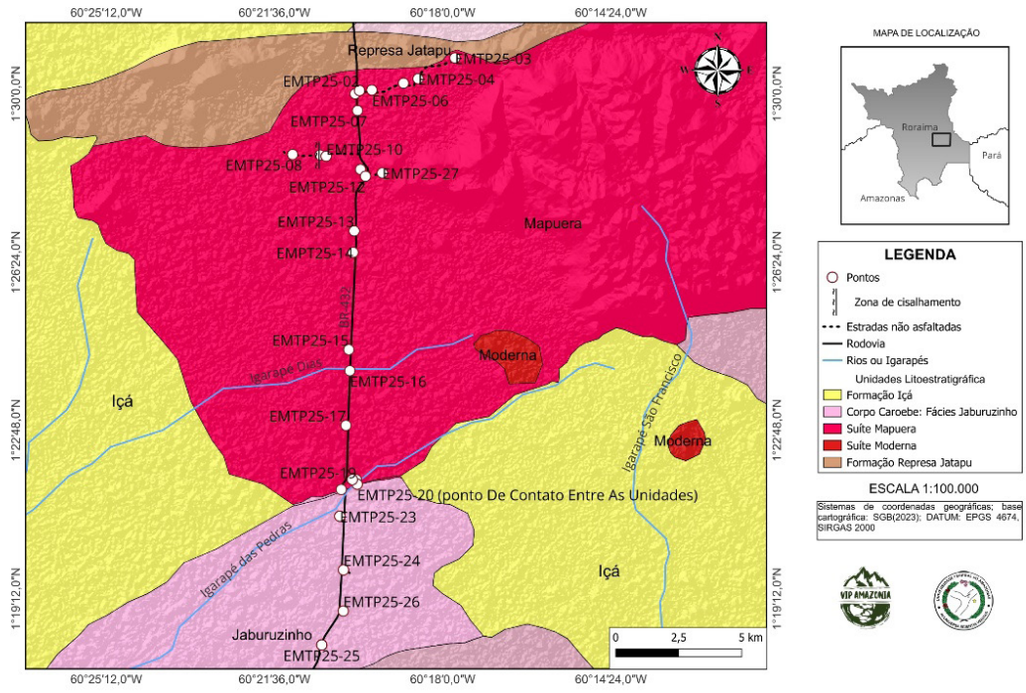


Figura 3 – Mapa de detalhe geológico modificado neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, M. E. (2006). Evolução geológica da porção centro-sul do Escudo das Guianas com base no estudo geoquímico, geocronológico (evaporação de Pb e U-PB ID-TIMS em zircão) e isotópico (Nd-Pb) dos granitoides paleoproterozoicos do sudeste de Roraima, Brasil. 2006. 227 f. Tese (Doutorado em Geoquímica e Petrologia) - Centro de Geociências, UFPA, Belém, 2006.

Almeida, M. E., Macambira, M. J. B., Valente, S. C. (2006). New geological and single-zircon Pb-evaporation data from the Central Guyana Domain, southeastern Roraima, Brazil: Tectonic implications for the central region of the Guyana Shield. Journal of South American Earth Sciences. Tese (Doutorado em Geociências) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2006.

Almeida, M. E., Macambira, M. J. B. (2006). Geology and petrography of Paleoproterozoic granitoids from Uatumã-Anauá Domain, central region of Guyana Shield, southeastern Roraima, Brazil. Revista Brasileira de Geociências, in press.

Bryan, S., Ferrari, L. (2013). Large igneous provinces and silicic large igneous provinces: Progress in our understanding over the last 25 years. Geological Society of America Bulletin. 125. 10.1130/B30820.1.

CPRM. (2006). Programa Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil: Subprograma Mapas Geológicos Estaduais. Geologia e Recursos Minerais do Estado do Amazonas. Manaus, CPRM/CIAMA-AM, 2006. Mapa Escala 1:1.000.000. Texto explicativo, 148p. CD ROM. (abstract in English).

CPRM. (2023). Escala 1:1.000.000. Mendes, T. A. A., Oliveira, A. C. S., Lopes, P. R. S., Aguiar, L., Grazziotin, H. F., Almeida, M.E., Benevides Filho, P. R. R. Mapa Geológico do Estado de Roraima. Manaus: SGB-CPRM, 2023.

Reis, N. J., Fraga, L. M., Faria, M. S. G. de, Almeida, M. E. (2003). Geologia do Estado de Roraima. Géologie de la France, 2-3, 71-84. (abstract in English).

Teixeira, M. F. B., Dall'Agnol, R., Santos, J. O. S., Oliveira, D. C., Lamarão, C. N., McNaughton, N. J. (2018). Crystallization ages of Paleoproterozoic A-type granites of Carajás province, Amazon craton: Constraints from U-Pb geochronology of zircon and titanite. Journal of South American Earth Sciences, 88, 312–331. https://doi.org/10.1016/j.jsames.2018.08.020

Valério, C. da S. (2006). Magmatismo Paleoprotero-zoicodo extremo sul do Escudo das Guianas, município de Presidente Figueiredo (AM): geologia, geoquímica e geocronologia Pb-Pb em zircão. 112 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Ciências Exatas, UFAM, Manaus, 2006.

MIGMATITOS DA PORÇÃO NORTE DO ORTOGNAISSE URUARÁ, DOMÍNIO BACAJÁ, PROVÍNCIA TRANSAMAZONAS, CRATÓN AMAZÔNICO

Karina de Oliveira Colares[1]; Williamy Queiroz Felix[1]; Luciano Ribeiro da Silva[1]

[1]Universidade Federal de Oeste do Pará - UFOPA

karina.montreal15@gmail.com; williamy@ufpa.br; luciano.rs@ufopa.edu.br

RESUMO

Este estudo visa apresentar e classificar pela primeira vez rochas migmatíticas que são aqui correlacionadas ao Ortognaisse Uruará e afloram em um segmento de crosta, situado a sul do município homônimo, que antes era admitido como pertencente aos domínios de ocorrência do Granito Canaã. Essas rochas ocorrem como gnaisses de protólito tonalítico (2,50 Ga) fortemente deformados e migmatizados, sob condições de fácies anfibolito superior. Os dados de campo indicam um padrão com um aumento da quantidade de leucossoma em relação ao paleossoma de oeste para leste, evidenciado pela predominância de metatexitos estromáticos que gradam no sentido leste para metatexitos/diatexitos estruturados em *schollen* e finalmente para diatexitos do tipo *schlieren*, o que também sugere um aumento do grau de fusão parcial do protólito, que pode estar relacionado a uma maior percolação de fluidos nas rochas da porção leste, possivelmente devido às zonas de cisalhamento que ocorrem no contato do Ortognaisse Uruará com o Complexo São José. A predominância de estruturas do tipo estromático ainda indica que essas rochas foram submetidas à fusão parcial durante forte deformação, provavelmente relacionada ao pico colisional do Ciclo Transamazônico (2,2–1,9 Ga).

PALAVRAS-CHAVE: Ortognaisse Uruará; Migmatitos; Fusão parcial; Domínio Bacajá.

INTRODUÇÃO

O estudo de migmatitos é fundamental para entender os processos de evolução crustal, especialmente no que se refere à geração de magmas na crosta média e inferior (Best, 2003; Winter, 2001). Na região centro-sul da Província Transamazonas ocorre o Domínio Bacajá (Figura 1) que constitui um terreno metamórfico de alto grau, composto por fragmentos crustais arqueanos e paleoproterozoicos retrabalhados no Ciclo Transamazônico (2,2–1,9 Ga) (Santos, 2003; Vasquez & Rosa-Costa, 2008).

Na região sul de Uruará (PA), localizada no extremo noroeste do Domínio Bacajá, afloram ortognaisses, complexos migmatíticos e granitoides sintectônicos que representam diferentes estágios do Ciclo Transamazônico. O Ortognaisse Uruará, objeto deste estudo, foi originalmente descrito como Tonalito Uruará (Santos, 2003), com idade de

cristalização do protólito em 2503 ± 10 Ma, e zircões herdados de 2581 ± 6 Ma. Posteriormente, Vasquez & Rosa-Costa (2008) redefiniram essas rochas como metatonalitos e metagranodioritos, com hornblenda e biotita, além de subordinados metaquartzo dioritos e metamonzogranitos. Essas unidades apresentam bandamento gnáissico, localmente discordante do *trend* regional NW-SE, e presença de feições migmatíticas.

Apesar do avanço do conhecimento geológico e da contextualização geotectônica do Ortognaisse Uruará, ainda são escassos os estudos voltados para a caracterização detalhada das feições migmatíticas dessa unidade, bem como para a compreensão das condições metamórficas, da natureza do protólito e da possível conexão entre os processos de migmatização e os eventos tectono-magmáticos arqueanos ou paleoproterozoicos. Também permanecem pouco exploradas as relações entre esses migmatitos e os granitoides transamazônicos da região.

De forma inédita, este trabalho mostra rochas migmatíticas que são aqui correlacionadas ao Ortognaisse Uruará (Figura 2) em um segmento de crosta que até então era mapeado como Granito Canaã (Vasquez & Rosa-Costa 2008, Vieira *et al*. 2022). Diante desse cenário, este resumo visa contribuir para o avanço do conhecimento sobre a evolução metamórfica da unidade, por meio da identificação e classificação das estruturas migmatíticas registradas nessas rochas.

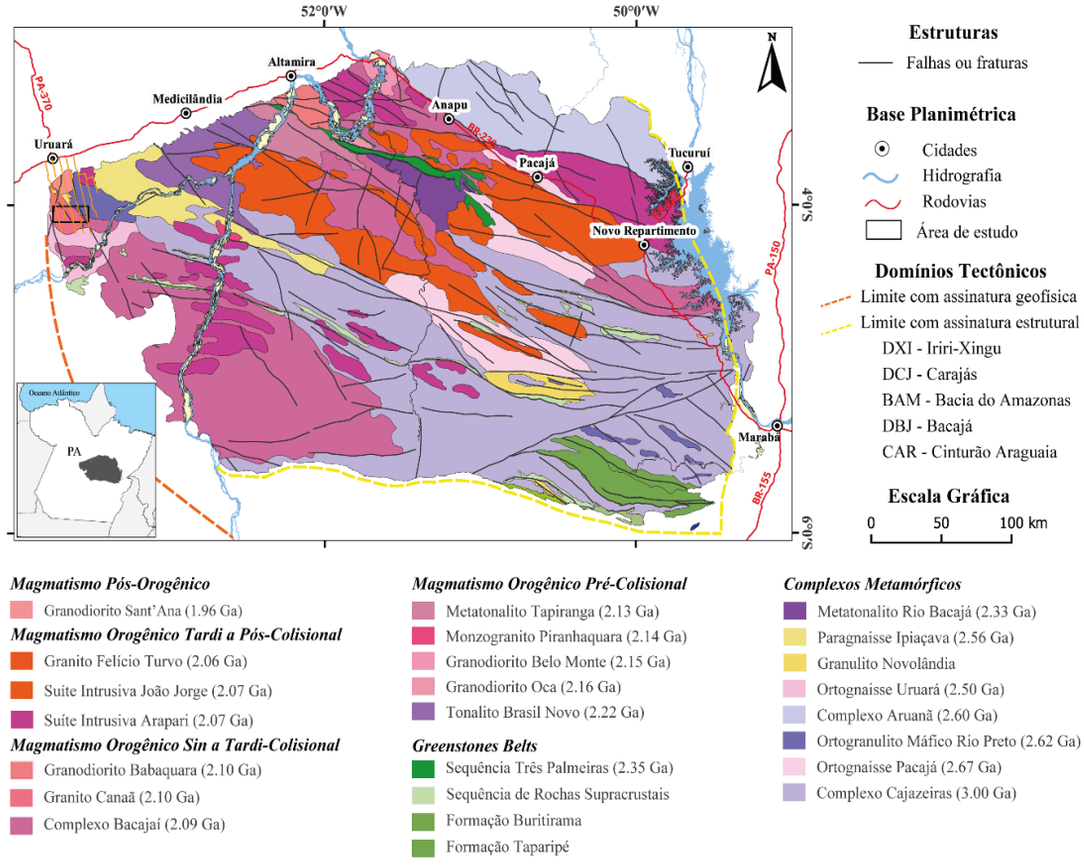


Figura 1 – Mapa geológico regional do Domínio Bacajá da Província Transamazonas, Cráton Amazônico, com localização da área de estudo (modificado de Vasquez & Rosa-Costa 2008).

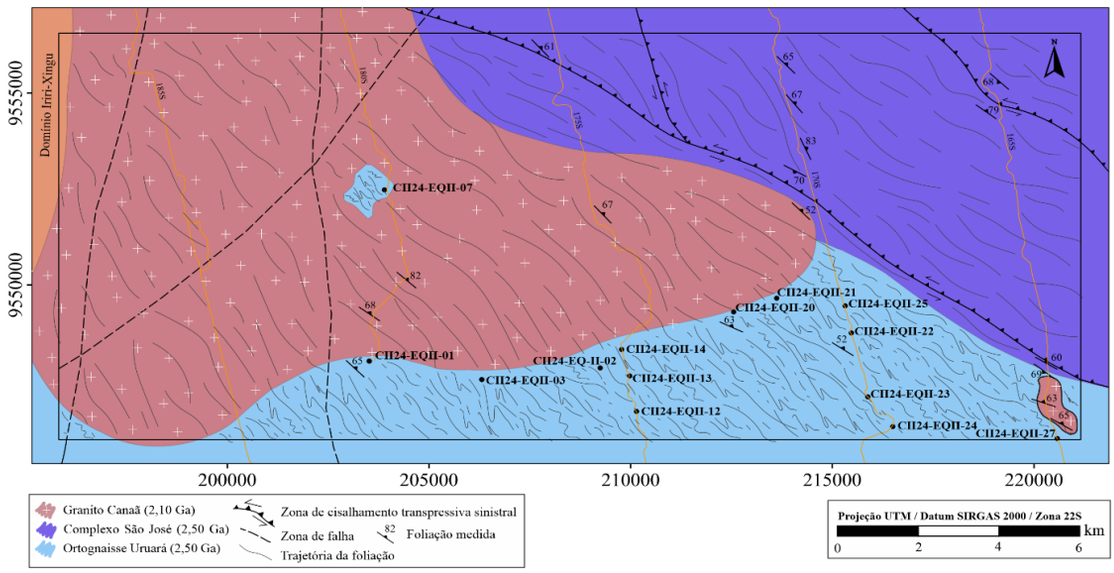


Figura 2 – Mapa geológico local da porção sul de Uruará, com destaque para as amostras estudadas.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho baseia-se na revisão de bibliográfica sobre o Ortognaisse Uruará (Santos, 2003; Vasquez, 2006; Vasquez & Rosa-Costa, 2008). O mapeamento geológico do segmento de crosta estudado foi realizado na disciplina Geologia de Campo – Mapeamento Geológico II do curso de Geologia da UFOPA em 2024. Foram descritos 14 afloramentos aqui correlacionados ao Ortognaisse Uruará (Figura 2). A classificação dos migmatitos identificados seguiu os critérios propostos por Sawyer (2008), além das recomendações da Subcomissão de Sistematização de Rochas Metamórficas (SSRM) da *International Union of Geological Sciences* (IUGS) (Fettes & Desmons, 2007).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na porção sul do município de Uruará ocorre gnaisses tonalíticos migmatizados que são descritos pela primeira vez neste trabalho e foram aqui correlacionados ao Ortognaisse Uruará (Figura 2), em uma área antes mapeada como Granito Canaã (Vasquez & Rosa-Costa 2008, Vieira *et al*. 2022). De modo geral, as rochas estudadas ocorrem estruturadas de acordo com o *trend* regional de direção NW-SE, que transpõe o limite das unidades (Figura 2). Na Figura 3 são apresentados os aspectos estruturais do ortognaisse sem feições de migmatização (Figura 3a), onde foi identificada uma forte foliação com dobras em Z, que indicam cinemática dextral (Figura 3b), discordante da cinemática sinistral predominante. No entanto, nesta área, de forma geral, os gnaisses mostram inúmeras feições de fusão parcial, que incluem estruturas do tipo estromático (Figura 4a-b), *schollen* (Figura 4c-d), *schlieren* (Figura 4e) e nebulítico (Figura 4f). Na área, os migmatitos tipo estromático (Figura 4a-b) e *schollen* (Figura 4c-d) são predominantes, indicando um alto grau de deformação sin-anatética.

Os dados de campo permitiram reconhecer um padrão que sugere um aumento na quantidade de leucossoma de oeste para leste, de modo que, na porção oeste ocorrem metatexitos estromáticos que gradam na direção leste para migmatitos estruturados em *schollen* e para diatexitos do tipo *schlieren* (Figura 2). Isto indica um aumento no grau de fusão parcial de oeste para leste, que estar relacionado com a maior percolação de fluidos na porção leste, uma vez que quanto maior a quantidade de água no sistema, menor a temperatura de fusão e maior o grau de fusão parcial (Best, 2003). Assim, o maior grau de fusão relacionado aos migmatitos da porção leste pode estar associado a um maior influxo de água, possivelmente devido à presença de zonas de cisalhamento no contato do Ortognaisse Uruará e o Complexo São José (Figura 2).

A mineralogia do paleossoma é essencialmente composta por plagioclásio e quartzo, além de biotita (sem a presença de anfibólio e piroxênio), indicando um protólito tonalítico metamorfizado sob condições de fácies anfibolito superior. O protólito do Ortognaisse Uruará foi datado em 2,5 Ga (Santos, 2003) e provavelmente foi metamorfizado no cenário colisional (~2,1 Ga) do Evento Transamazônico.

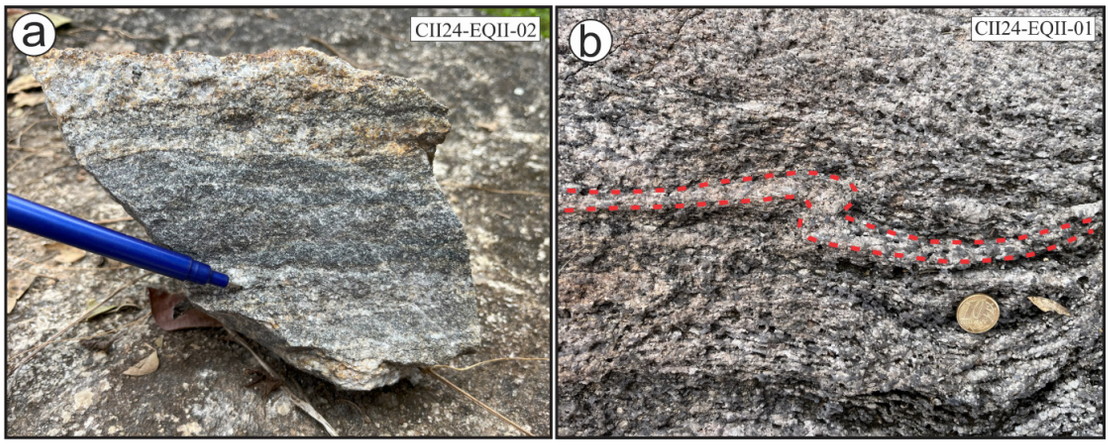


Figura 3 – Aspectos estruturais do Ortognaisse Uruará sem feições de migmatização. (a) gnaisse de protólito tonalítico mostrando bandamento composicional definido pela alternância de bandas mais félsicas (quartzo-feldspáticas) e mais máficas (enriquecidas em biotita); (b) gnaisse tonalítico mostrando bandamento gnáissico com dobras em Z, indicando cinemática dextral.

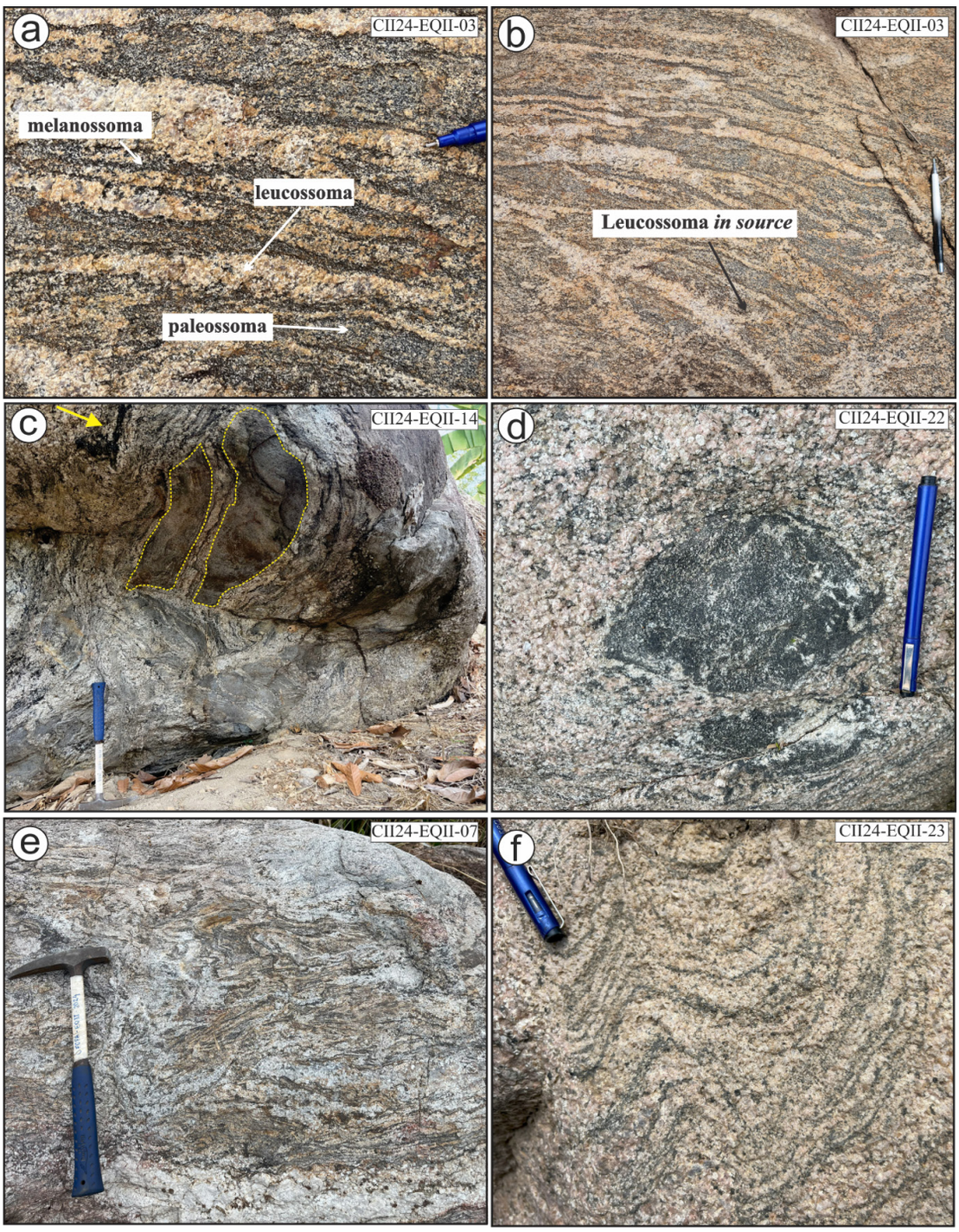


Figura 4. Aspectos estruturais das rochas migmatíticas da porção norte do Ortognaisse Uruará. (a) metatexito estromático, com destaque para o neossoma (leucossoma e melanossoma) e paleossoma (setas brancas); (b) metatexito estromático com características de leucossoma *in source* (seta preta); (c) tracejado amarelo indica estruturas transicionais tipo schollen (jangadas) com dimensões de até 1m com forma angulosa e/ou subarrendada. A seta amarela indica uma porção do melanossoma (resíduo de fusão parcial); (e) diatexito estruturado em *schlieren*, caracterizado por agregados de minerais máficos, que são essencialmente compostos por biotita (biotitito) e desenham a foliação; e (f) metatexito nebulítico que é caracterizado pela dificuldade de diferenciar o paleossoma do neossoma.

4. CONCLUSÕES

Na porção sul do município de Uruará afloram gnaisses com protólito tonalítico fortemente deformados e migmatizados sob condições de fácies anfibolito superior, que foram aqui correlacionados ao Ortognaisse Uruará. Na porção oeste dessa região, até então mapeada como Granito Canaã, ocorre uma predominância de metatexitos estromáticos que gradam para diatexitos do tipo *schlieren* em direção leste, com a presença de migmatitos estruturados em *schollen* situados na zona de transição. Isto indica um aumento no grau de fusão parcial de oeste para leste, o que pode estar relacionado a uma maior percolação de fluidos nas rochas da porção leste, possivelmente devido às zonas de cisalhamento mapeadas no contato entre o Ortognaisse Uruará e o Complexo São José. Além disso, a predominância de estruturas do tipo estromático indica um alto grau de deformação durante os processos de fusão parcial.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA) e ao Instituto de Engenharia e Geociências (IEG) pela infraestrutura e pelo financiamento das atividades em campo da disciplina “Geologia de Campo - Mapeamento Geológico II”. Além disso, gostaria de agradecer as contribuições dos professores da disciplina e da equipe II de 2024.1, composta pela autora e outros três membros: Ana Luiza, Clêiton Ferreira e Loane Carvalho. Por fim, agradecemos à todas as demais pessoas que contribuíram com este trabalho, que inclui o revisor anônimo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bertotti A.L., Chemale Jr. F., Kawashita K. 2013. Lu-Hf em zircão por LA-MC-ICP-MS: aplicação em gabro do Ofiolito Aburrá, Colômbia. *Pesquisas em Geociências*, **40**(2):117-127.

Fettes D., Desmons J., Tradução: Reis Neto J.M. 2014. *Rochas metamórficas: classificação e glossário*. Oficina de Textos, 328 p.

Santos J.O.S. 2003. Geotectônica do Escudo das Guianas e Brasil-Central. *In*: Bizzi L.A. *et al.* (eds.). *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil*: texto, mapas e SIG. Brasília. CPRM- Serviço Geológico do Brasil, 169–226 p.

Sawyer E.W. 2008. *Atlas of migmatites*. Canadian Mineralogist, S Mineralogical Association of Canada, 386 p.

Vasquez M.L. & Rosa-Costa L.T., 2008. *Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará: Sistema de Informações Geográficas – SIG: texto explicativo dos mapas Geológico e Tectônico e de Recursos Minerais do Estado do Pará. Escala 1:1.000.000*. CPRM, Belém, pp. 329.

Vasquez M.L. 2006. *Geocronologia em Zircão, Monazita e Granada e isotópos de Nd das associações litológicas da porção Oeste do Domínio Bacajá: Evolução Crustal da porção Meridional da Província Maroni-Itacaiúnas – Sudeste do Cráton Amazônico*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 212 p.

Vieira C.S. Amaral W.S. Holanda F.S. *Petrography, geochemistry and zircon U-Pb geochronology of the Siderian-Rhyacian granitoids of NW Bacajá Domain, Amazonian Craton*. Journal of the Geological Survey of Brazil, 2022.

Winter J.D. 2001. *An introduction to igneous and metamorphic petrology*. New Jersey, 697 p.

FOLIAÇÕES EM CHARNOCKITOS DA SERRA BARAÚNA: CARACARAÍ, RR

Helenna Soares Pinto Viana [1]; Carlos Alejandro Salazar [2]Marta Edith Velásquez David[2]

[1]Universidade Federal do Amazonas - UFAM;
[2]Programa de Pós-Graduação em Geociências UFAM

helennaviana2@gmail.com; csalazar@ufam.edu.br; edith@ufam.edu.br

RESUMO

A Serra Barauana é um relevo residual com até 1.220 m de altura acima do nível do mar, com forma alongada na direção NE, onde afloram rochas de composição ígnea básica a acida como monzogranito, quartzo diorito, sienogranito e tonalito, associados a apófises de gabro. Esses "plútons" Intrudem paragnáises do grupo Cauarane e ortognáises da suíte Rio Urubu. Todas estas rochas se formaram no Eon Paleoproterozóico durante o período Ryaciano (2,2 a 1,9 Ga), elas contêm diversas estruturas que se relacionam com a história de sua evolução tectônica e em particular com a ocorrência dos eventos de deformação. Tendo em foco as estruturas preservadas nos granitos da Serra Baruana, esses granitos apresentam foliação de origem magmática e foliação de estado solido. Essas foliações foram geradas em distintos momentos da história de evolução geológica de essas rochas. São apresentados resultados de: i) análises geométricas das duas foliações em escala de afloramento; ii) texturas de deformação em escala de amostra de mão e microscópica em lâminas de rocas orientadas. Iii) modelo descritivo de distinção de texturas de fluxo magmático, de texturas de deformação de estado solido.

PALAVRAS-CHAVE: estrutura foliada; foliação magmática; foliação de estado solido; texturas de deformação plástica.

INTRODUÇÃO

Sob a denominação de granulitos são incluídas as rochas charnockíticas da Suíte Intrusiva Serra da Prata que afloram na região da Serra do Barauana (Roraima Central, Fraga, 2002)). Segundo Fraga, (2002) os granulitos da Serra do Barauana têm origem ígnea e foram deformados em fácies anfibolito a granulito. Granulitos se formam por metamorfismo em alta temperatura (>700 °C) e pressão variável (England & Thomsom, 1996), sendo comuns em ambientes de crosta inferior, geralmente associados a colisões tectônicas. No Escudo das Guianas, porção norte do Cráton Amazônico, o cinturão granulítico forma uma faixa extensa com direção NE-SW, atravessando Roraima, Guiana e Suriname (Kroonenberg, 1976; Gibbs & Barron, 1993). Esse cinturão contém rochas entre 1,97 e 1,94 Ga, retrabalhadas pela Faixa K'Mudku (1,45–1,10 Ga), reflexo intra-

placa do Orógeno Sunsás (Santos, 2008), caracterizado por eventos de baixa temperatura que formaram milonitos e cataclasitos (Cordani, 2010), presentes em rochas do Paleo e Mesoproterozóico (Santos *et al*., 2008; Almeida, 2008). A formação de granulitos no Escudo das Guianas está relacionada ao ciclo tectônico transamazônico e à aglutinação do Cráton Amazônico. Segundo Kroonenberg (2016), a evolução geotectônica no Paleoproterozoico envolveu três fases: (1) colisão inicial com magmatismo oceânico, arco vulcânico e formação de greenstone belts (2,19–2,09 Ga); (2) metamorfismo de alto grau, formação de gnaisses e granulitos, resultando no cinturão colisional Cauarane-Coereni (2,07–2,05 Ga) (Fraga, 2009); (3) plutonismo e vulcanismo ignimbrítico (1,99–1,90 Ga) com a formação da Suíte Intrusiva Serra da Prata (Tarazona, 2015; Kroonenberg, 2016). Esses eventos geraram foliações sobre impostas, cuja distinção é essencial para compreender a história deformacional das rochas. Esta pesquisa tem como **objetivo** determinar critérios que permitam diferenciar foliações magmáticas, das de estado solido. Para atingir este objetivo foram aplicados os **métodos:** (i) análises geométricas de estruturas em escala de afloramento; (ii) análise de texturas em amostras de mão; (iii) análise de microtexturas em lâminas orientadas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram estudados dois afloramentos que ocorrem na vila Catarina ao sul do município de Caracaraí, nas coordenadas 1° 31´ 25” N e 60° 39´55” W, separados uns 500 m e com dimensões de aproximadamente 40 m de comprimento, 15 de largura. O acesso ao local é km 560 da rodovia BR 174 sentido Manaus – Boa Vista e 10 Km a leste pela vicinal do Itã até chegar na vila Catarina onde se localizam os afloramentos. Para o desenvolvimento do projeto foi realizada revisão bibliográfica: i) procura e consulta de fontes e de referências bibliográficas pertinentes para atingir os objetivos propostos. ii) trabalho de campo que envolveu colheita de informações geológico estruturais in situ aplicando procedimentos postulados por Fossen (2012). Preparação de amostras de rochas, de materiais, de informações de campo, organização e tratamento de resultados de campo, inclui: i) Preparo, corte de amostras e confecção de lâminas delgadas de rochas, ii) análise micropetrográfica de texturas de rochas deformadas (figura 1), identificação de litotipos com base na contagem modal de componentes minerais, assim como uso de diagramas de classificação de rochas ígneas plutônicas acidas; iii) tratamento de dados estruturais mediante o uso de diagramas, iv) desenhos explicativos, mosaicos de fotografias. V) Uso de programas para apresentar os resultados mediante estrutura lógica que integre o desenvolvimento do pensamento geológico geocientífico. Foram usados estereogramas digitais como o software Stereonet (Rick Allmendinger), que permite demonstrar a atitude dessas estruturas e interpretar a geometria (FOSSEN, 2018).

RESULTADOS

Na área de estudo, afloram rochas de composição: monzogranito cinza a esverdeado de textura média. Sienogranito equigranilar médio a grosso, diorito médio equigranular e diques de gabro de até 0,8 cm de largura (figura 1). Monzogranito esver-

deado escuro, textura inequigranular média a localmente grossa, contém anfibólio e biotita em agregados, plagioclásio tabular subedral, todos alinhados marcando foliação aparentemente de fluxo magmático (Figura 1ª) orienta 278/°70° e lineação de estiramento, orientada para 040°/60°. Ocorrem xenólitos de rocha fina máfica e autolitos finos máficos com formato de sigmoide, também marcando a foliação de fluxo. Em locais com deformação de estado solido, o monzogranito é constituído por cristais de K-feldspato (20-30%) com hábito anédrico e forma elíptica, em agregados de cristais com dimensões variando entre 4 e 10 mm no eixo maior e 4 a 7 mm no eixo menor. O plagioclásio (40-50%) se apresenta com hábito anédrico e forma elíptica, em agregados de cristais com dimensões entre 2 a 3 mm. Quartzo tem hábito anédrico, dimensões de 1 a 2 mm e uma proporção entre 10-20%. Hiperstenio (2-5%), em cristais isolados prismáticos, esparsos. **Sienogranito** esbranquiçado, com textura grossa inequigranular. Possui fenocristais alongados elípticos de K-feldspato (50-60%) com hábito anédrico, e eixo maior de 4 a 8 mm. O plagioclásio (35-45%) ocorre com hábito anédrico em agregados de cristais de 2 a 4 mm. O quartzo (20-25%), anédrico, varia de 1 e 4 mm. **Diorito** cinza escuro, textura fina (varia para granito félsico groso, Figuras 1B, C)), exibe porfiroclastos alinhados de feldspatos que marcam foliação milonítica. A foliação é cortada por veios de quartzo com até 8 mm de largura. Os porfiroclastos possuem tamanhos de 1 a 8 mm no eixo maior, e de 1 a 4 mm de eixo menor. O quartzo (10-20%) anédrico, intersticial localmente em agregados. O K-feldspato (20-30%) apresenta hábito anédrico, forma elíptica e dimensões de 3 a 4 mm. Cristais isolados de augita (20-30%) subedral, alinhados, reforçam a foliação orientada 230°-250°/75°. **Gabro** (Figura 1D) cinza-escuro, com textura equigranular, textura grossa alinhamento de cristais prismáticos de plagioclásio marcando foliação magmática. O piroxênio é o mineral dominante, exibindo hábito subédrico e forma elíptica, ocorrendo em agregados com tamanho médio de 2 mm, correspondendo a aproximadamente 70-80% da composição modal da rocha. O plagioclásio está presente em menores proporções (20-30%), com hábito anédrico e tamanho médio de 1 mm. Foliação discreta marcada pelos minerais máficos se orienta 220°-230°/65° com lineação mineral caindo 50° para 214°. Quartzo (1-2%), com hábito anédrico em cristais isolados intersticiais de tamanho inferior a 1 mm

Foliação de fluxo (figuras 1E, F) se caracteriza por: I) formação de cristais precoces alongados alinhados com eixo maior definindo orientação preferencial. Ii) cristais com limites retos paralelos e hábitos subedrais. Iii) minerais mais tardios ocorrem intersticiais alongados com limites ameboides. Iv) biotita geralmente fibrosa marcando a foliação.

A foliação monolítica (Figuras 1G, H) se reconhece por deformação diferencial em faixas nas que internamente se observa: i) redução de tamanho (variável) de cristais, e geração de porfiroclastos de feldspato, ii) alinhamento de biotita fina em faixas, associada a óxidos de ferro. Iii) estiramento de cristais de quartzo.

DISCUSSÕES

Análise estrutural e textural das rochas estudadas permitiu identificar foliação de fluxo magmático em charnockito e gabro e foliação milonítica em diorito e sienogranito. A foliação de fluxo magmático é caraterizada pelo alinhamento de minerais subedrais

no interior de diques de gabro, assim como no charnockito, onde tanto agregados de minerais máficos como minerais félsicos subedrais com formas tabulares se alinham comprovando a orientação e a definição da foliação. A distribuição organizada (orientada) dos minerais essenciais que compõem o charnockito e o gabro interpreta-se que o alinhamento mineral foi induzido durante a cristalização das rochas. A foliação milonítica se caracteriza pela trituração desigual, concentrada em bandas, de minerais rígidos (feldspatos, piroxênios, anfibólios). Pela formação de porfiroclastos elípticos com caudas marcando formato de sigmoide, indicativos de rotação. Alinhamento de finos cristais de biotita marcando o centro das bandas de maior deformação.

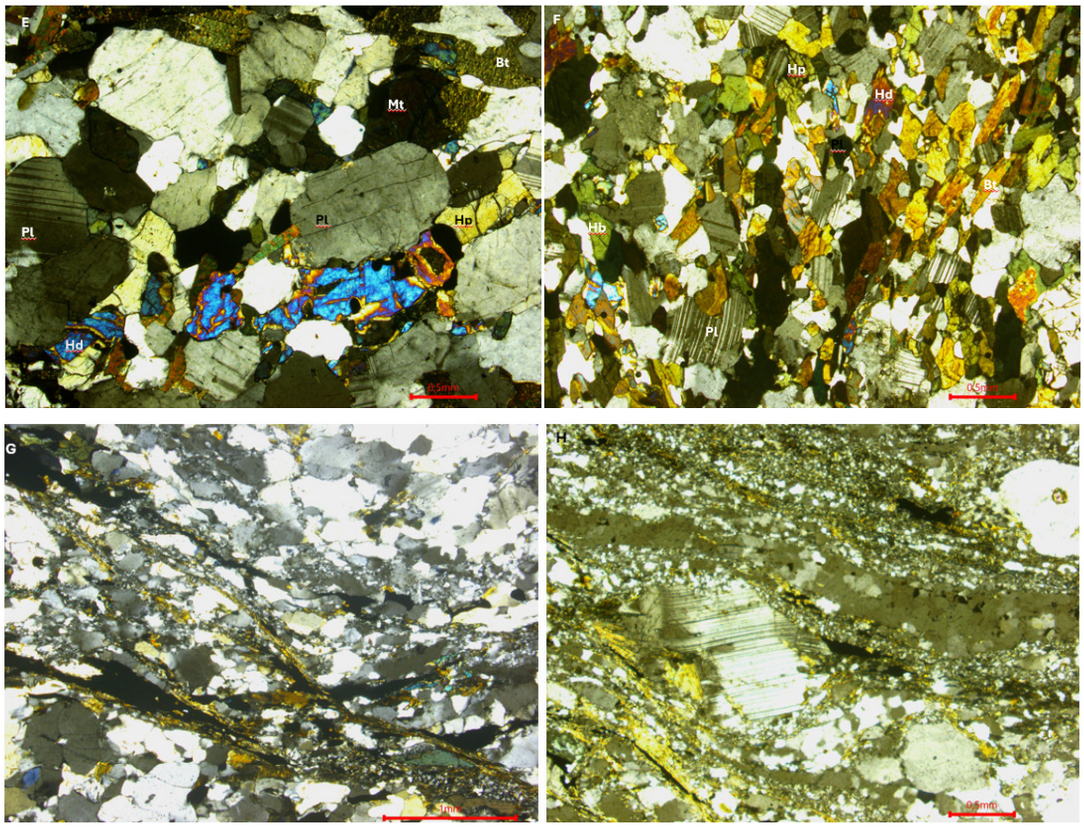


Figura 1 – Rochas da Serra Barauna: A) Charnockito foliado e diques de gabro. B, C) Diorito foliado variando para granito; D) G gabro com foliação de fluxo. Texturas de fluxo, E) em charnockito definida por cristais alongados alinhados de Hipertenio (Hp), plagioclásio (Pl), hedembergita (Hd), magnetita (Mt) e Biotita (Bt). F) em gabro marcada por cristais prismáticos de Plagioclásio (Pl), Hiperstenio (HP, Hedembergita (Hd), Hornblenda (Hb) e biotita fibrosa (Bt).

CONCLUSÕES

A distinção entre foliações de origem ígnea, e milonítica é suportada por características da textura dos minerais, comparando, hábito, forma, limites entre cristais assim como relações espaciais entre fases minerais. A organização espacial de cristais, grau de alinhamento conforme a geometria de cristais auxiliaram no entendimento da penetrabilidade desse alinhamento para dar clareza na orientação da foliação e a observância da consistência da organização de todas as fases minerais que compõem cada rocha estudada. Os procedimentos utilizados levaram a entender que o monzogranito é intrudido por diques que ao cristalizar desenvolveram textura

orientada parecida com a do monzogranito hospedeiro. A foliação milonítica ocorre por faixas, ela modifica totalmente a textura das rochas. Óxidos de ferro e cristalização de biotita fina, fibrosa, acompanharam o registro da foliação milonítica.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa teve apoio da FAPEAM pelo fomento da bolsa de iniciação científica 2024-2025, pelo programa POSGRAD 2024-2025 (FAPEAM), e pelo programa de Redução de Assimetrias da pós-graduação, CAPES-PRAPG, Edital 014/2023, do programa de pós-graduação em Geociências da UFAM.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, M. E.; Macambira, M.J.B.; Valente, S.C. New geological and single-zircon Pb evaporation data from the Central Guyana Domain, southeastern Roraima, Brazil: Tectonic implications for the central region of the Guyana Shield. Journal of South American Earth Sciences. 2008.

Bosma W., Kroonenberg S.B., Maas K., Roever E.W.F. 1983. Igneous and Metamorphic Complexes of the Guiana Shield in Suriname. Geol. en Mijnbouw, 62: 241-254

Cordani, U. G.; Teixeira, W.; Tassinari, C. C. G.; Coutinho, J. M. V.; Ruiz, A. S. The rio apa craton in Mato Grosso do Sul (Brazil) and northern Paraguay: geochronological evolution, correlations and tectonic implications for Rodinia and gondwana. american journal of science, v. 310, n. 9, p. 981-1023. 2010.

England, P. C. Thompson, A. B. 1986. Some thermal and tectonic models for crustal melting in continental collision zones. In Collisional Tectonics (ed.Coward, M. P.&Ries, A. C.), pp. 83–94. *Geological Society of London Special Publication* no. 19.

Fossen, Haakon. *Geologia estrutural.* 1ª Edição. 2012.

FosseN, Haakon. *Geologia estrutural.* 2ª Edição. 2018.

Fraga, L.M. B, 2002. Associação Anortosito - Mangerito - Granito Rapakivi (AMG) e suas encaixantes paleoproterozóicas: evolução estrutural, geocronologia e petrologia. Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará. Tese de Doutorado, 351 p.

Fraga, L.M.; Macambira, M.J.B.; Dall'Agnol R.; Costa, J.B.S. The 1.94-1.93 Ga charnockitic magmatism from the central part of the Guyana Shield, Roraima, Brazil: *single zircon evaporation data and tectonic implications. Journal of South American Earth Sciences 27:247-257. 2009.*

GIBBS, A.K & BARRON, C.N. 1993. *The Geology of the Guiana Shield*. Oxford University Press, New York, Claredon Press. 245 p.

Kroonenberg, S.B. 1976. Amphibolite-facies and granulite-facies metamorphism in the Coeroeni Lucie area, southwestern Surinam. Ph. D Thesis, Amsterdan, Geologic em Mijnbouw, Dienst sur. Med, 25, 109-289. *Anais l 16 Simpósio de Geologia da Amazônia l* Manaus-AM, 23 a 25 de set. de 2019

Kroonenberg, S.B; Roever, E.W.F; Fraga, L.M.; Reis, N.J.; Faraco, T.; Lafon, J.M.; Cordani, U.; Wong, T.E. Paleoproterozoic evolution of the Guiana Shield in Suriname*: A revised model. Netherlands Journal of Geosciences — GeologieenMijnbouw |95 – 4 | 491–522 |. 2016.*

Santos, J.O.S., Faria, M.S.G., Riker, S.L.R., Souza, M.M., Hartmann, L.A., Mcnaughton, N.J., Almeida, M.E., Potter, P.E., 2008. The collisional k'mudku belt in the northern amazon craton: a far field response to the sunsás orogen. in: *VI South American Symposium on Isotope Geology, Bariloche – Argentina.*

Tarazona, C. Análises das petrotramas das rochas charnockíticas da Serra da Prata, Mucajaí. Manaus: Universidade Federal do Amazonas. 202p. 2015.

MIGMATITOS GERADOS POR WATER-FLUXED MELT NO SUDESTE DE RORAIMA

Sávio Araújo Boto[1]; Rielva Solimairy Campêlo do Nascimento[1]

[1]Universidade Federal do Amazonas – UFAM

saviioboto@gmail.com; rielva@ufam.edu.br

RESUMO

Nesta pesquisa, foram estudados migmatitos da Suíte Martins Pereira (SMP), de idade Ororsiriana, é composta predominantemente por metagranitoides com porções que exibem graus variados de fusão parcial. Os migmatitos apresentam uma ampla gama de morfologias, que vão desde "patches", formados em condições de baixa fusão e deformação, até tipos estromáticos e dobrados, especialmente em proximidade com zonas de cisalhamento. Essas zonas atuaram como canais para a migração de fluidos aquosos, favorecendo a fusão das rochas a temperaturas de aproximadamente 700°C, fácies Anfibolito Superior. A temperatura foi estimada a partir de microtexturas específicas, incluindo quartzo com feições de tabuleiro de xadrez e estruturas de manto-núcleo em feldspatos, complementadas pela termometria de Ti-biotita. Observou-se que os leucossomas não contêm minerais peritéticos anidros e apresentam contatos difusos com a encaixante. O melanossoma é composto por biotita (Bt), plagioclásio (Pl), titanita (Tnt) e epídoto (Epi). Essas características, aliadas às baixas temperaturas de fusão, sugerem que a migmatização ocorreu por meio do mecanismo conhecido como Water-Fluxed Melting, possivelmente através das reações KF-1 + Qtz-1 + Pl-1 (An43-27) + H_2O = Melt e Pl-1 + Qtz-1 + Bt-1 + H_2O = Melt + Tnt-2. A fusão originou a paragênese KF-2 + Pl-2 (An28) + Qtz-2. Um segundo evento de migmatização também foi identificado, igualmente associado ao *Water-Fluxed Melting*, mas caracterizado pela reação KF-2 + Qtz-2 + Pl-2 + H_2O = Melt [KF-3 + Pl-3 (An24-21) + Qtz-2]. Não foi possível, determinar se esses eventos de migmatização representam um único episódio tectonometamórfico contínuo, ou se constituem eventos distintos no tempo. Esse estudo destaca a importância da migmatização na Suíte Martins Pereira, evidenciando o papel das zonas de cisalhamento na fusão dos protólitos sob condições específicas nesta porção do Cráton Amazônico

PALAVRAS-CHAVE: Migmatito; *Water Fluxed Melt*; Zonas de Cisalhamento.

INTRODUÇÃO

Para que os migmatitos sejam gerados, a fusão de rochas crustais pode ocorrer por duas vias: mediante desidratação de minerais hidratados (*Dehydration Melt*) ou na presença de água livre (*water-fluxed melting*) (Weinberg E Hasalová, 2015). As reações de *Dehydration Melt* mais comuns são as que envolvem muscovita, biotita e/ou anfibólio e,

em pressões crustais comuns, ocorrem entre temperaturas mínimas de 650 (muscovita) a 850ºC (anfibólio). Este processo resulta na geração de minerais peritéticos anidros, tais como clinopiroxênio, ortopiroxênio, granada e cordierita, produtos de fusões incongruentes. Já na presença da água livre as condições de temperatura e pressão necessárias para fundir as rochas são rebaixadas e para que essa água possa entrar no sistema, na crosta média ou inferior, é necessária a atuação de estruturas como zonas de cisalhamento para conduzir os fluidos (Hasalová, 2008; Sawyer, 2010). Este processo, em rochas crustais como pelitos, arenitos e granitos ocorre em fácies anfibolito superior (620–650ºC) em torno de 100 - 150ºC abaixo da temperatura de fusão da biotita (Weinberg E Hasalová, 2015).

Segundo Brown (2013) os leucossomas contendo minerais peritéticos hidratados (e.g. biotita, muscovita e/ou anfibólio) devem ter sido gerados por *Water fluxed melt*, enquanto leucossomas que transportam minerais anidros (e.g. granada, piroxênio), são mais prováveis de serem produto de fusão por desidratação. Além disso sugere, dentre outras características, que leucossomas gerados *Water fluxed melt*, apresentam limites difusos com a rocha encaixante e comumente não são identificados melanossomas ou *mafic selvedge* associados com os neossomas,

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada incluiu a análise petrográfica detalhada de amostras coletadas em campo, focando na identificação de microtexturas diagnósticas e a caracterização mineralógica dos diferentes domínios dos migmatitos e gnaisses estudados, bem como a identificação de minerais acessórios relevantes para a compreensão dos processos de fusão parcial. Adicionalmente, foi realizada análise química pontual em minerais-chave, como plagioclásio, K-feldspato, biotita, titanita e opacos para estimar as condições de fusão das rochas. O estudo também contemplou a análise estrutural em escala de afloramento, com ênfase na interação entre anatexia e o desenvolvimento de zonas de cisalhamento.

RESULTADOS

O grau de migmatização das rochas da SMP é heterogêneo, em escala de afloramento é possível reconhecer porções pouco afetadas pela anatexia, como os metatexitos, e porções onde o grau de fusão foi mais intenso, como os diatexitos. Foram descritos migmatitos em patch, em veios, estromático, dobrado, *schlieren* e nebulítico. Os leucossoma foram diferenciados se *in situ* ou *in source*.

Nos migmatitos em patch, os leucossomas ocorrem na forma de bolsões ou lentes centimétricas com contatos difusos com a rocha encaixante (Figura 1a e 1d), mostrando que não houve migração do líquido gerado, ocorrendo in situ. São compostos predominantemente por quartzo + K-feldspato e normalmente não se apresentam deformados. O leucossoma também ocorre como veios de espessura centimétrica que se encaixam paralelamente à foliação (figura 1b). Nesse caso, apesar do leucossoma ter sido transportados, não foi o suficiente para que ele abandonasse a sua região fonte.

Nas regiões retrabalhadas por zonas de cisalhamento foi observado o desenvolvimento da foliação (E/NE-W/SW), caracterizada pelo bandamento composicional nos migmatitos estromáticos (figura 1e), estrutura que necessita de um maior *stress sin*-anatético para se desenvolver. Estas zonas imprimem textura milonítica nas porções que resistiram à fusão e controlam a entrada de veios de leucossoma que migram paralelamente à foliação (figura 1e).

O **leucossoma** tem granulação média a grossa, é composto por K-feldspato (60%), quartzo (29%), plagioclásio (8%). Os máficos são representados por biotita (1%), muscovita (1%), epidoto, apatita e allanita (0,5%), e opacos (0,5%). O **melanossoma** apresenta granulação média, formado predominantemente por biotita (68%), plagioclásio (17%), titanita (3%), minerais opacos (5%) K-feldspato (3%) e quartzo (2%), epidoto (1%) e clorita (1%).

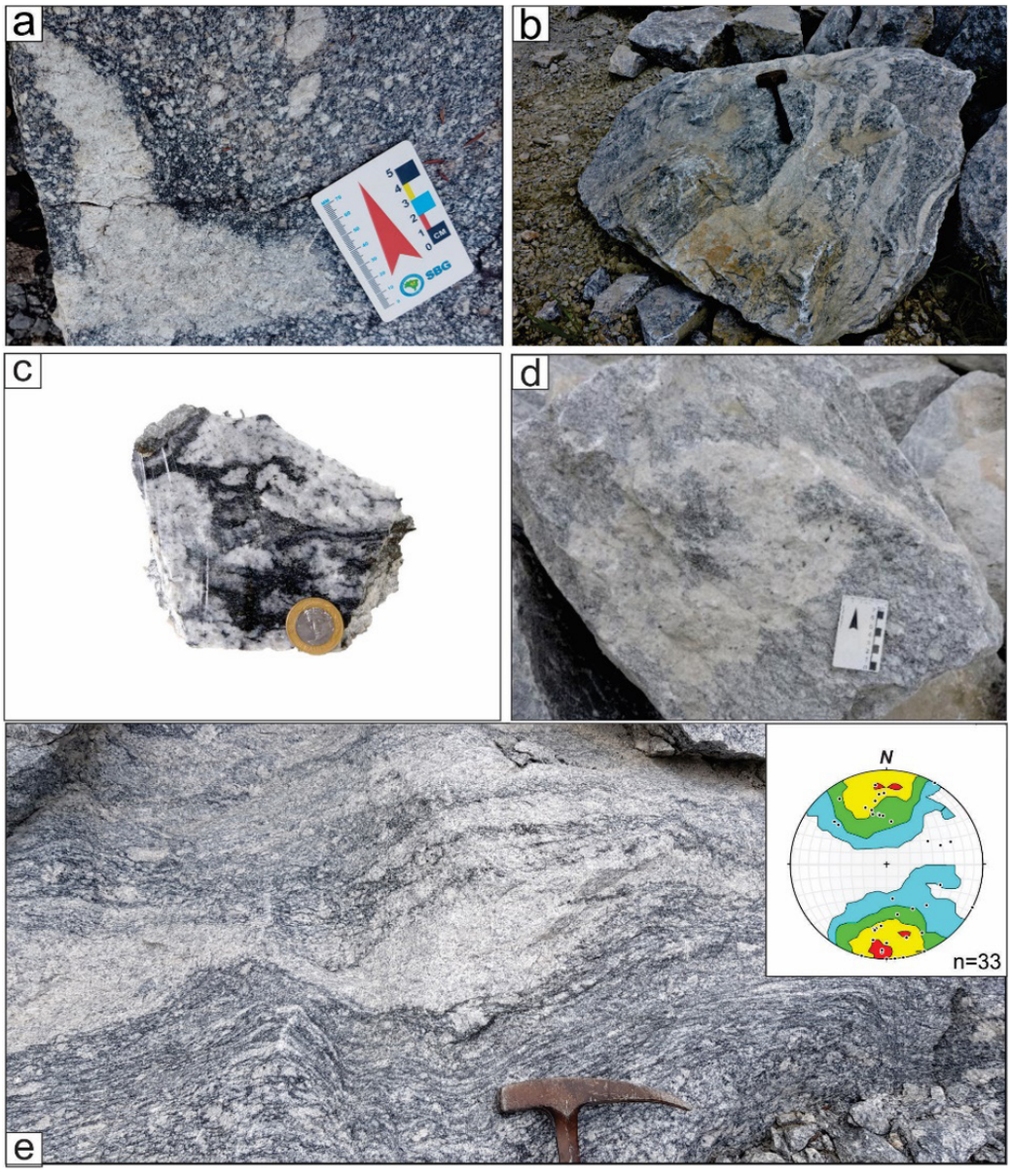


Figura 1 - Aspectos macroscópicos de migmatitos da SMP. a) Migmatito em patch, destaque para o limite difuso entre bolsão e a rocha encaixante; b) Injeções de veios leucograníticos (leucossoma) paralelamente a foliação indicando o controle da migração do fluido produzido; c) Migmatito com estrutura em schlieren; e) Migmatito estromático com leucossomas inseridos paralelamente à foliação e dobrados; f) Migmatito nebulítico com agregado de máficos resistatos (melanossoma)

DISCUSSÕES

Utilizando a análise petrográfica, dados da química mineral e critérios de Sawyer (2001; 2008; 2010) foi possível identificar e propor reações de fusão. Os minerais reagentes, apresentam-se com formas arredondadas, bordas corroídas ou embainhadas envoltas por cristais neoformados. Os minerais produtos das reações apresentam-se de forma intersticiais e com contatos em cúspide (Figura 2a e 2b). Com base nos critérios descritos acima, foram propostas duas reações de fusão:

(R1) KF-1 + Qtz-1 + Pl-1 + H2O = Melt;

(R1) KF-1 + Qtz-1+ Pl-1+ Bt +H2O = Melt ± Tnt-2.

R1 ocorre sem a contribuição da quebra da biotita, logo nesses casos a biotita têm limites retos e contínuos. Porém, R2 ocorre com a contribuição da biotita que é parcialmente consumida e ocorre a formação de titanita (Tnt-2) além da produção do melt (Sawyer 2010). Na Suíte Martins Pereira o melt é representado pelos cristais intersticiais de KF-2 + Qtz-2 + Pl-2 e pelos filmes de feldspatos que se infiltram nos limites entre cristais (Figura 2c e 2d).

Um segundo evento de migmatização foi observado de forma mais expressiva nos neossomas. Na análise petrográfica foram identificadas duas gerações de plagioclásio (Pl-2 e Pl-3), dois tipos texturais de biotita (Bt-2 e Bt-3) e de KF (KF-2 e KF-3. Texturalmente os leucossomas apresentam evidências de fusão parcial agindo sobre os cristais neoformados (KF-2, Pl-2 e Bt-2) e a cristalização de novas fases minerais (KF-3, Pl-3 e Bt-3) reconhecidas e diferenciadas textural e composicionalmente, no caso dos plagioclásios. Considerando as paragêneses geradas, bem como, as texturas observadas, o segundo evento ocorreu sob condições similares ao primeiro (620 – 650ºC). As reações de fusão propostas são as mesmas do evento anterior, porém R2 ocorre sem a cristalização de Tnt.

Tendo em vista que os dois eventos compartilham muitas semelhanças e são pouco férteis para a geração de novos minerais, torna-se difícil distinguí-los em campo.

O primeiro evento de migmatização é datado de 1,90 Ga, idade obtida por Almeida *et al*. (2007) para a cristalização dos leucossienogranito, que ocorre como lentes no Martins Pereira, e é aqui caracterizado como leucossomas, produto da migmatização da Suíte Metamórfica Martins Pereira.

O segundo evento de migmatização pode ainda estar associado ao evento térmico que gerou o primeiro evento de migmatização. Isso é possível, durante um mesmo ciclo térmico, no processo de *water-fluxed melting*, pois o fluxo de água é variável no tempo e no espaço podendo resultar em múltiplos eventos de fusão (; Sawyer. 2010). Outra possibilidade é que este segundo evento, esteja associado a eventos de migmatização mais novos. Almeida *et al*. (2008), descreve um importante evento tectônico, mais jovem, de 1,72 Ga, o qual denominou de Evento Itã e que está associado a implementação ou reativação da Falha do Itã com direção NE-SW a E-W. Este sistema de falha marca o limite entre o Domínio Uatumã-Anauá e Guiana Central. Oliveira *et al*. (2019), na região que denominou de Faixa Gnaisse-Granulito Barauana, ao Norte da Falha do Itã, descreve um evento de migmatização mais jovem, datado por meio de idades U-Pb em zircão, com idade de 1,42 Ga para cristalização de um leucossoma metassienogranítico sintectônico. Ambos os eventos se apresentam relacionados a zona de cisalhamento com direção aproximada E-W e foram gerados pelo processo de *Water fluxed melt*.

CONCLUSÕES

A interpretação dos dados de campo, microtexturais e de química mineral da Suíte Martins Pereira (SMP) permitiram inferir dois eventos de migmatização com temperaturas próximas, ambos relacionados ao processo de *water-fluxed melting*. Este processo se evidencia pelo fato do leucossoma gerado não apresentar minerais peritéticos anidros e mostrar contatos difusos com a encaixante; a massiva presença de biotita no melanossoma indicando que a fonte do fluido não pode ser a desidratação da biotia, pois ela está resistiu a fusão, sem estar corroída; e pela baixa temperatura de fusão 620º-650ºC.

As zonas de cisalhamento com direções E/NE-W/SW controlaram a entrada de água, possibilitando o processo de *water fluxed melt* gerando dois eventos de migmatização que podem estar relacionados a eventos tectono-metamórficos distintos devido a reativações posteriores (1,9 Ga e 1,7 Ga (?)) ou por processo contínuo de fusão, devido ao fluxo de água temporalmente descontínuo podendo causar múltiplas fusões relacionadas a um mesmo evento térmico.

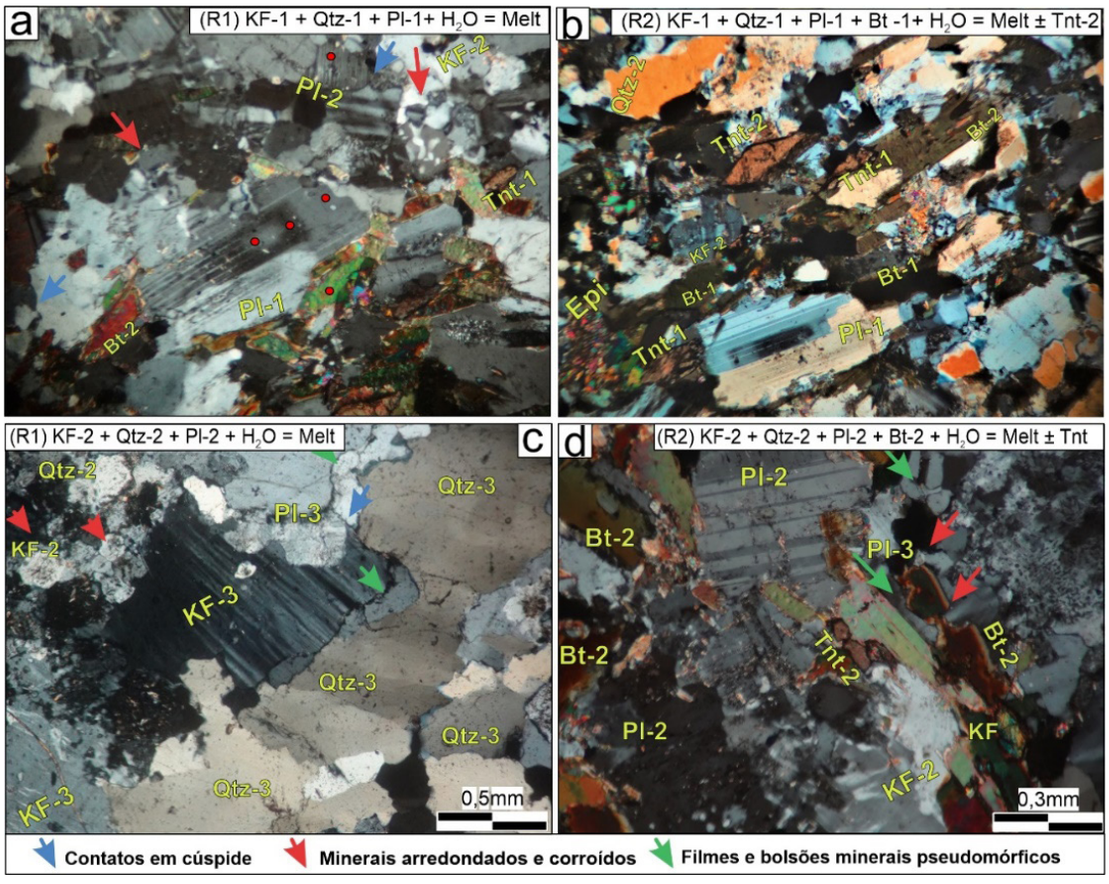


Figura 2 - Microtexturas de fusão parcial e reações de fusão: a) Lamina P6C, destaque para Pl-1 zonado com An42 no núcleo e An28 na borda do cristal e Pl-2, anedral, não zonado com contatos em cúspide, composição An26; b) Lâmina P6C, destaque para Tnt-2, euedral, alinhada segundo a foliação; c) Lâmina PI-15-3-Leuco: destaque para bolsões de melt em contato com domínio Qtz e KF; d) Destaque para Bt-2 embainhada e com bordas arredondadas e Pl-3 como infiltração na lateral do cristal de Bt-2.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, M. E.; Macambira, M. J. B.; Oliveira, E. C. 2007. Geochemistry and zircon geochronology of the I-type high-K calc-alkaline and S-type granitoid rocks from southeastern Roraima, Brazil: Orosirian collisional magmatism evidence (1.97-1.96 Ga) in central portion of Guyana Shield. Precambrian Research, v. 155, p. 69-97

Almeida, M. E.; Macambira, M. J.; Valente, S. C. 2008. New geological and singlezircon Pb evaporation data from the Central Guyana Domain, southeastern Roraima, Brazil: Tectonic implications for the central region of the Guyana Shield. Journal of South American Earth Sciences, v. 26, n. 3, p. 318-328.

Almeida, M. E.; Macambira, M. J. B. 2007. Geology and petrography of paleoproterozoic granitoid rocks from Uatumã-Anauá Domain, central region of Guyana Shield, southeastern Roraima, Brazil. RBG, v. 37, n. 1, p. 237-256.

Hasalová, P.; Schulmann, K.; Lexa, O.; Štípská, P.; Hrouda, F.; Ulrich, S.; Haloda, J.; Týcová, P. 2008. Origin of migmatites by deformation-enhanced melt infiltration of orthogneiss: a new model based on quantitative microstructural analysis. Journal of Metamorphic Geology, v. 26, n. 1, p. 29–53.

Oliveira, A. C. S.; Goulart, L. E. A.; Lopes, P. R. S.; Almeida, M. E.; Costa, I. S. L.; Rodrigues, J. B. 2019. Orogenia intracontinental K'mudku: Estudo estrutural, geofísico e geocronológico da faixa granulítica Barauana, Escudo das Guianas, Região central de Roraima. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, SBG. Anais… SBG.

Sawyer, E. W. 2008. Atlas of migmatites. Ottawa: NRC Research Press.

Sawyer, E. W. 2010. Migmatites formed by water-fluxed partial melting of a leucogranodiorite protolith: microstructures in the residual rocks and source of the fluid. Lithos, v. 116, n. 3-4, p. 273-286.

Weinberg, R. F.; Hasalová, P. 2015. Water-fluxed melting of the continental crust: A review. Lithos, v. 212, p. 158-188.

CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL DE ROCHAS PARADERIVADAS NA SERRA DO CAURANE - AMAJARI-RR

Ana Vitória Alburquerque da Silva[1]; Rielva Solimairy Campelo do Nascimento[1]; Antônio Charles da Silva Oliveira[2]; Ivaldo Rodrigues da Trindade[1]; Túlio Amós de Araújo Mendes[2]; Mayara Fraeda Barbosa Teixeira[1]

[1]Universidade Federal do Amazonas; [2] Serviço Geológico do Brasil

ana165899@gmail.com; rielva@ufam.edu.br; Charles.oliveira@sgb.gov.br; ivaldo@ufam.edu.bre; tulio.mendes@sgb.gov.br; mayarafraeda@ufam.edu.br

RESUMO

O Grupo Cauarane configura-se como uma faixa sinuosa e descontínua, localizada na porção norte do estado de Roraima. Essa unidade geológica é composta por rochas metassedimentares e metavulcânicas, que registram evidências de múltiplas fases metamórficas e deformacionais. Este trabalho teve como objetivo caracterizar o padrão de deformação das rochas supracrustais do Grupo Cauarane, por meio de análises estruturais na Serra do Cauarane, com ênfase nas fases de dobramento e em sua cinemática associada. A metodologia envolveu o levantamento de dados estruturais em campo, registro fotográfico e coleta de amostras, com posterior tratamento dos dados utilizando o software Stereonet para análise cinemática e geométrica. Na Serra do Cauarane predominam paragnaisses com intercalações de quartzitos, anfibolitos e rochas calciossilicáticas, todas com alto grau de intemperismo. Foram reconhecidas duas fases principais de deformação: Dn, associada à foliação Sn e dobras isoclinais; e uma fase $D_{n+1,}$ marcada por dobras suaves com eixos mergulhando para ENE. Também foram identificadas estruturas S-C sinistrais e planos de falha relacionados a zonas de cisalhamento tardias. As evidências indicam deformação inicial em regime dúctil e em alta temperatura (mínimo fácies anfibolito), posteriormente retrabalhadas em níveis crustais mais rasos. Os resultados sugerem múltiplos eventos tectônicos e contribuem para a compreensão da evolução geodinâmica do Grupo Cauarane na região de Amajari-RR.

PALAVRAS-CHAVE: Grupo Cauarane; Deformação; Metamorfismo; Dobras Isoclinal.

INTRODUÇÃO

Os estudos estruturais desempenham um papel fundamental na compreensão da evolução geotectônica e das reconstruções paleoambientais. Na porção norte do Escudo das Guianas, os dados estruturais são apresentados de forma regional em mapas produzidos pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB), baseados em lineamentos estruturais obtidos por sensoriamento remoto e dados aerogeofísicos. Como consequência, pouco se conhece sobre o padrão estrutural das unidades, sendo a grande maioria dos dados restrita a padrões de orientações obtidos em dados de lineamentos e de algumas medidas estruturais em campo.

Subdivisão de Domínios e Cinturões têm sido propostos com base na megaestruturação e idades das unidades (Reis *et al.* 2003; Fraga *et al.* 2009, Fraga *et al.* 2024). Todavia, faltam estudos detalhados de campo com descrição do padrão estrutural, obtenção sistemática de medidas e detalhamento do mecanismo de deformação das rochas. Nesse contexto, o presente trabalho visa caracterizar o padrão de deformação das rochas supracrustais do Grupo Cauarane, aflorante na Serra do Cauarane. O objetivo é descrever o padrão de deformação das rochas supracrustais dessa unidade e correlacioná-lo com dados disponíveis na literatura. A escolha do Grupo Cauarane deve-se à sua relevância para a compreensão da evolução do Cinturão Cauarane-Coeroeni (CCC). Este trabalho é parte do projeto de PIBIC desenvolvido pela primeira autora no âmbito da UFAM com apoio do Serviço Geológico do Brasil – Superintendência Manaus.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia incluiu coleta de dados estrutrais na Serra do Cauarane de forma sistemática, visando uma análise geométrica e cinemáticas das estruturas. Os dados estruturais de planos e linhas foram tratados no Stereonet. Foram coletados amostras e registro das estruturas em fotografias. O levantamento estrutural foi realizado na face SE-NW da serra.

RESULTADOS

A Serra do Cauarane apresenta morros arredondados, com topos convexos e vertentes de inclinação suave a moderada. Possui orientação preferencial NNW-SSE e cota máxima de até 170m.

Afloram na serra níveis de paragnaisses com intercalações de quartzitos fortemente alterados. Também ocorrem, como matacões rolados, anfibolitos, calciossilicáticas e quartzitos, observados principalmente na base da serra. O pacote é exposto em patamares inclinados, com direção NW-SE (Figura 1).

Os paragnaisses são as rochas predominantes no afloramento, apresentando alto grau de intemperismo. Em algumas porções, exibem coloração cinza claro, granulação média e foliação/ bandamento com espessura variando entre 1 e 2 cm. Os quartzitos apresentam coloração cinza, estrutura maciça, granulometria grossa e mineralogia composta predominantemente por quartzo. Ocorrem como intercalações nos paragnaisses, e juntos definem o acamamento primário da sequência metassedimentar. Também ocorre como blocos rolados, os quais apresentam menor grau de intemperismo.

Os anfibolitos e as rochas calciossili-cáticas ocorrem em blocos rolados encontrados principalmente na base da serra. Os anfibolitos apresentam coloração preto-esverdeada e foliação bem desenvolvida. As rochas calciossilicáticas possuem coloração esbranquiçada, granulometria fina e foliação sutil. Intercalados a essas rochas, ocorrem diques de pegmatito com formato tabular e até 4 metros de espessura.

Duas fases de deformação estruturam as rochas da Serra do Cauarane:

D_n responsável pela geração da foliação (Sn), paralela ao acamamento sedimentar (S0), com atitudes médias de 125/33 NE, em um padrão de dobramento isoclinal predominantemente não cilíndrico (Figura 1b). Esta fase de deformação também é vista em blocos rolados de quartzito, com dobras centimétricas isoclinais de flancos rompidos (Figura 1b). Associadas a este evento, também são observadas dobras em S, Z e M (Figura 2a), indicativos do dobramento isoclinal em maior escala. Os diques de pegmatitos mostram-se concordantes com a foliação Sn.

D_{n+1} gerou dobras abertas a suave (Figura 1c e Figura 2b), com flancos abertos e planos axiais médio segundo 073/72 SE (Figura 2c). Os eixos das dobras apresentam mergulhos suaves, entre 22 a 38°, para azimute entre 068° a 082°.

O padrão de interferência gerado pelas estruturas Dn e Dn+1 ao tipo 3 de Ramsay (1967). É observada foliação S-C nos gnaisses, indicando cinemática sinistral (Figura 2d), provavelmente relacionada a ZC posteriores.

Também foram descritas foliações S-C nos gnaisses, reforçando a indicação de cinemática sinistral, possivelmente reflexo de zonas de cisalhamento transtracionais. Entretanto, as estruturas observadas sugerem que outras fases deformacionais atuaram após a deformação Dn+1.

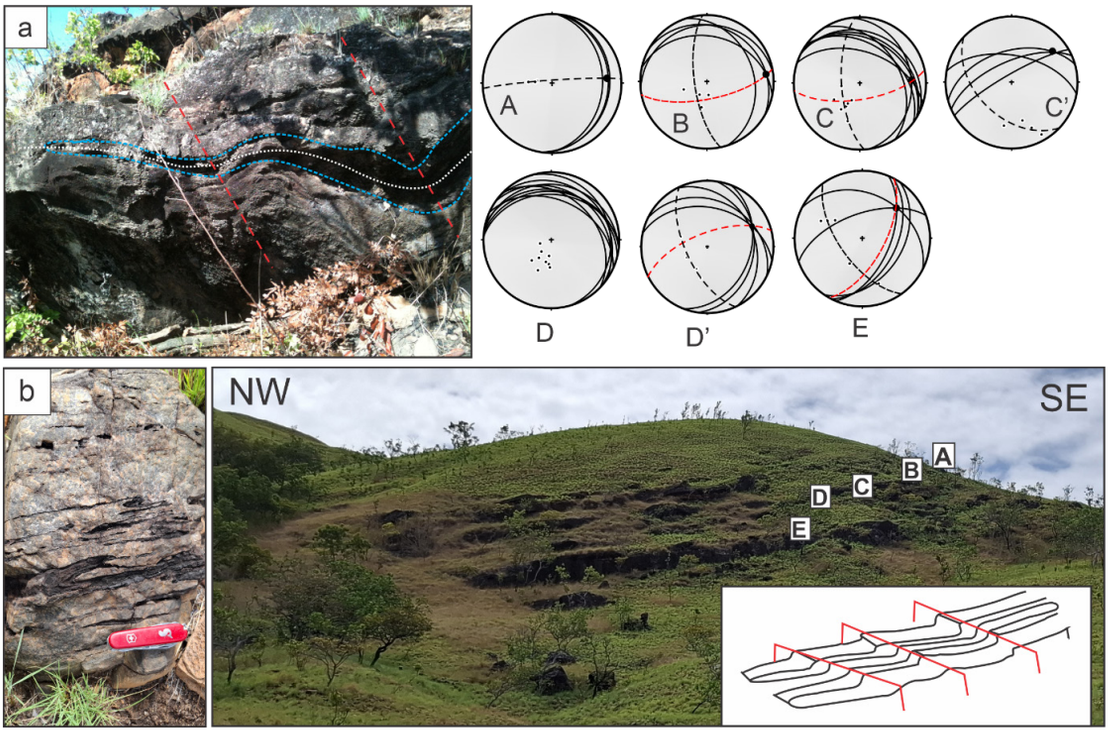


Figura 1 – Aspectos estruturais do Grupo Cauarane na Serra do Cauarane: a) Dn, gerando dobras isoclinais em paragnaisses intercalados com quartzitos, redobradas em padrão em laço pela fase Dn+1; b) Dobras isoclinais rompidas em bloco de quartzito; c) Vista frontal da serra, com a localização das medidas estruturais e os respectivos diagramas estereográficos (Stereonet).

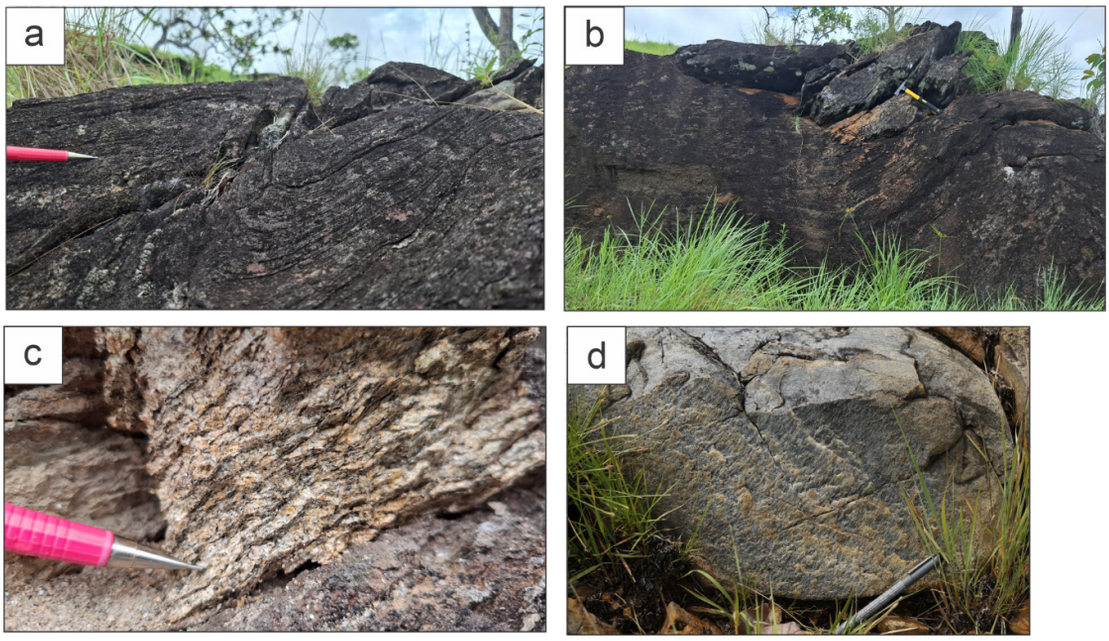


Figura 2 – a) Dobra parasítica em Z, associada às dobras isoclinais de D; b) Dobra aberta da fase Dn+1; c) Foliação S-C no gnaisse, indicando cinemáticas sinistral; e d) Plano de falha em bloco de quartzito.

DISCUSSÕES E CONCLUSÃO

A caracterização estrutural das rochas do Grupo Cauarane revela um contexto geológico complexo. Os lineamentos estruturais identificados, com orientação NE-SE e NW-SE, sugerem que a região passou por diferentes fases de compressão, com a geração de dobramentos e retrabalhamento posteriores por zonas de cisalhamento dúcteis e, tardiamente, por cisalhamento rúptil.

Fraga *et al.* (2010) descreve, pelo menos três fases de deformação para as supracrustais do Grupo Cauarane: D1, relacionada à foliação S1, marcada por dobras isoclinais com eixos de alto ângulos de caimento para SE; D2 visualizado por dobras fechadas com eixos subparalelos aos eixos D1, sendo esta a principal feição do Grupo Cauarane na região da Vila Amajari; e D3 redobrando o pacote anterior, por meio de dobras abertas a fechadas, com eixos mergulhando para NW e foliação de plano axial variando de discreta a, muito localmente, bem desenvolvida.

Neste trabalho foram bem caracterizadas duas fases de deformações, a Dn, que gerou a foliação principal (Sn), associadas a dobras isoclinal e, portanto, correlata a fase D1 de Fraga *et al.* (2010), e a segunda fase Dn + 1 que redobrou essas estruturas, formando dobras suaves assimétricas, muito bem marcadas na Serra do Cauarane, que pode ser tentativamente correlacionado com a fase D3 de Fraga *et al.* (2010). A fase D2 descrita por Fraga *et al.* (2010) não foi identificada na Serra do Cauarane. Ainda foram identificadas feições relacionadas a cisalhamentos sinistrais, cuja geometria pode ser definida devido ao grau de alteração das rochas, o que impossibilitou a identificação da lineação de estiramento. Bem como planos de falhas em regimes rúpteis em blocos rolados de quartzitos.

As estruturas geradas nos litotipos aflorantes na serra sugerem, inicialmente, um regime dúctil em alta temperatura (no mínimo nas fácies anfibolito), e deformações posteriores numa crosta mais rasa.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Iniciação Científica da FAPEAM, pela bolsa concedida à primeira autora; ao Projeto VIP Amazônia, pelo apoio financeiro, e ao Serviço Geológico do Brasil (SGB), pelo suporte técnico, ambos essenciais para a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Dreher, A.M., Fraga, L.M., Ragatky, D., Grazziotin, H. (2009). O Grupo Cauarane na Folha Vila de Tepequém, Roraima. Anais XI Simpósio de Geologia da Amazônia, Manaus, Resumos Expandidos.

Fraga, L.M., N.J, Dall'Agnoal, R. (2009). Cauarane-Coeroeni Belt: The Main Tectonic Feature of the Central Guyana Shield, Northern Amazonian Craton. *XI Simpósio de Geologia da Amazônia, Manaus, Resumos Expandidos.*

Fraga, L.M., Dreher, A.M, Grazziotin, H., Reis, N.J., Farias, M.S.G., Ragatky, D. (2010). Geologia e Recursos Minerais da Folha Vila de Tepequém –NA.20-X-A-III Estado de Roraima, Escala 1:100.000. Manaus: CPRM – Serviço Geológico do Brasil. *Programa Geologia do Brasil; Projeto Cartografia da Amazônia, 182p.*

Fraga, L.M., Cordani U., Dreher AM., Sato, K., Reis, N.J., Nadeau S., Roever D. E., Kroonenberg. S., Maurer, V.C., (2024). Early Orosirian belts of the central Guiana Shield, northern Amazonian Craton: U-Pb geocrhronology and tectonic implications. *Precambria Research 407, p.1-27.*

Ramsay, J.G. (1967). Folding and fracturing of rocks. *International Series in the Earth and Planetary Sciences. McGraw-Hill, New York, 568p.*

Reis, N.J., Fraga, L.M., Faria, M.S.G., Almeida, M.E. (2003). Geodiversidade do Estado de Roraima. Manaus: *CPRM-Serviço Geológico do Brasil, p.15-30.*

MECANISMO DE DEFORMAÇÃO EM MICROESCALA DE ROCHAS DE ZONAS DE CISALHAMENTO DA REGIÃO SUL DE URUARÁ, PORÇÃO NOROESTE DO DOMÍNIO BACAJÁ, PROVÍNCIA TRANSAMAZONAS

Loane Catete de Carvalho[1]; Williamy Queiroz Felix[1,2]; Luciano Ribeiro da Silva[1]

[1]Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA;
[2]Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica (PPGG - UFPA)

loane.carvalho@discente.ufopa.edu.br; williamy@ufpa.br; luciano.rs@ufopa.edu.br

RESUMO

Este trabalho visa investigar as condições de temperatura de deformação de rochas miloníticas localizadas nos arredores de zonas de cisalhamento do Complexo São José, região sul de Uruará, na porção noroeste do Domínio Bacajá, Província Transamazonas, Cráton Amazônico. A área estudada registra uma história tectônica complexa, influenciada por eventos do Ciclo Transamazônico (2,2–1,95 Ga), caracterizada pela presença de zonas de cisalhamento NW-SE, com cinemática transpressiva sinistral. As foliações tectônicas são concordantes ao *trend* regional de direção NW-SE, com mergulhos entre 52° e 70° para NE. Dois principais domínios deformacionais foram identificados. Um representado por rochas de baixo *strain*, levemente anisotrópicas, caracterizadas por protomilonitos com 10–20% de matriz recristalizada. E outro representado por rochas de médio a alto *strain*, fortemente anisotrópicas e intensa recristalização dinâmica, caracterizada por protomilonitos a milonitos com 30–60% de matriz recristalizada. As principais feições de recristalização são extinção ondulante, rotação de subgrãos (*subgrain rotation* – SGR) e migração de limite de grãos (*grain boundary migration* – GBM), sugerindo temperaturas de deformação compatível com fácies anfibolito (> 500 °C).

PALAVRAS-CHAVE: Complexo São José; Zona de Cisalhamento; Deformação; Cráton Amazônico.

INTRODUÇÃO

No contexto do sudeste do Cráton Amazônico, mais especificamente na região sul do município de Uruará, o Domínio Bacajá (Figura 1) se destaca por registrar uma história tectônica complexa, marcada por processos de acreção, colisão e posterior reativação, principalmente durante o Ciclo Transamazônico (2,2–1,9 Ga) (Vasquez *et al*., 2008; Macambira *et al*., 2009). O Complexo São José, definido por Vieira *et al.* (2022), antes descrito como uma unidade ígnea preservada, foi reinterpretado por Fernandes (2025) como uma unidade metamórfica composto por biotita metagranitoides, metagranitoi-

des com granada, metatonalitos com hornblenda e metagranodioritos com muscovita, associados a lentes de formações ferríferas bandadas, anfibolitos e óxidos de ferro maciço. Nesta área, Braga *et al.* (2024) identificaram e caracterizaram um sistema de zonas de cisalhamento de direção NW-SE e cinemática transcorrente sinistral, que são responsáveis por deformar unidades mais antigas, resultando na formação de rochas protomiloníticas a miloníticas. Apesar do avanço no conhecimento geológico, aspectos relacionados à caracterização mineralógica e evolução microestrutural dessas rochas e sua relação com zonas de baixo e alto *strain* permanecem pouco explorados. Esse tipo de abordagem é fundamental, pois reflete os mecanismos de deformação, na intensidade de *strain* e na eficiência dos processos de recristalização dinâmica. Sendo assim, este trabalho visa uma caracterização dos mecanismos de deformação em microescala e a inferência das condições de temperatura das rochas miloníticas da área de estudo.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido a partir dos resultados da disciplina de Geologia de Campo – Mapeamento Geológico II (2024) da Universidade Federal do Oeste do Pará (Ufopa). Neste estudo foram selecionadas 11 amostras do Complexo São José, que foram coletadas nos arredores das zonas de cisalhamento regionais (NW-SE) para a confecção de lâminas polidas no Laboratório de Laminação da Universidade Federal do Pará (UFPA). A petrografia foi realizada no Laboratório de Mineralogia e Microscopia da UFOPA. O mapa geológico foi elaborado no *software* QGIS (v.3.28.14) e os estereogramas foram gerados no *software OpenStereo* (v.2.0b).

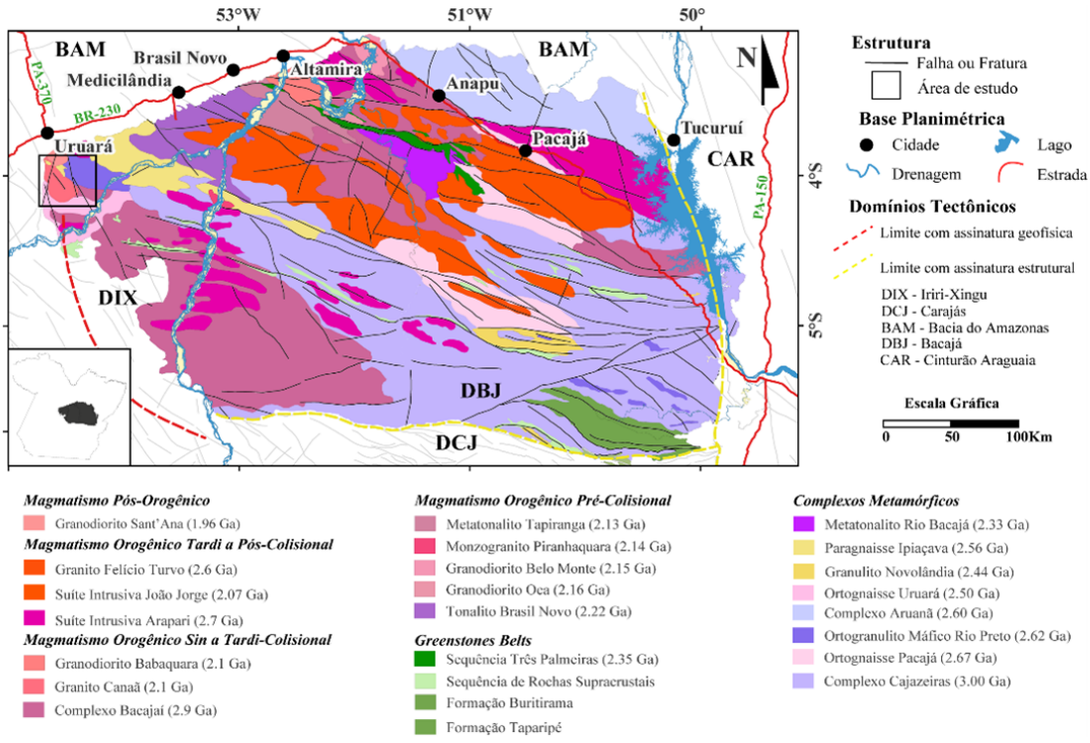


Figura 1 – Mapa geológico regional do Domínio Bacajá, Província Transamazonas, com destaque para a área de estudo. Adaptado de Vasquez *et al*. (2008).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O Complexo São José faz contato sul com o Ortognaisse Uruará e é intrudido pelos granitos Canaã e Sant'Ana na porção oeste e noroeste, respectivamente (Figura 2). Essas rochas são caracterizadas por uma foliação tectônica que segue o *trend* regional NW-SE, com mergulho de 52–70° para NE, que transpõem os limites das unidades e são concordantes as zonas de cisalhamento (Figura 2). Para esse estudo, as amostras selecionadas foram classificadas com base na intensidade de deformação em: (i) baixo *strain*; e (ii) médio a alto *strain*.

As rochas de baixo *strain* variam de metatonalitos a metagranodioritos levemente anisotrópicos, leucocráticos (M'=10–15), com textura inequigranular hipidioblástica (Figura 3a–b). São mineralogicamente compostas por plagioclásio, quartzo e microclínio, tendo biotita como principal mineral varietal. Zircão, epidoto e apatita formam os minerais acessórios. Em microescala, são escassas as feições de deformação dúctil, mas essas rochas apresentam em torno de 10–20% de quartzo recristalizado na matriz. A maior raridade dessas estruturas, se comparado as rochas de médio a alto *strain*, sustenta o caráter levemente anisotrópico destas rochas.

Em baixo *strain*, o plagioclásio ocorre como cristais médios, idioblásticos a hipidioblásticos, com contatos retilíneos com microclínio, quartzo e minerais acessórios. Podem apresentar maclamento tipo albita, sericitização e inclusões de opacos, zircão e apatita.

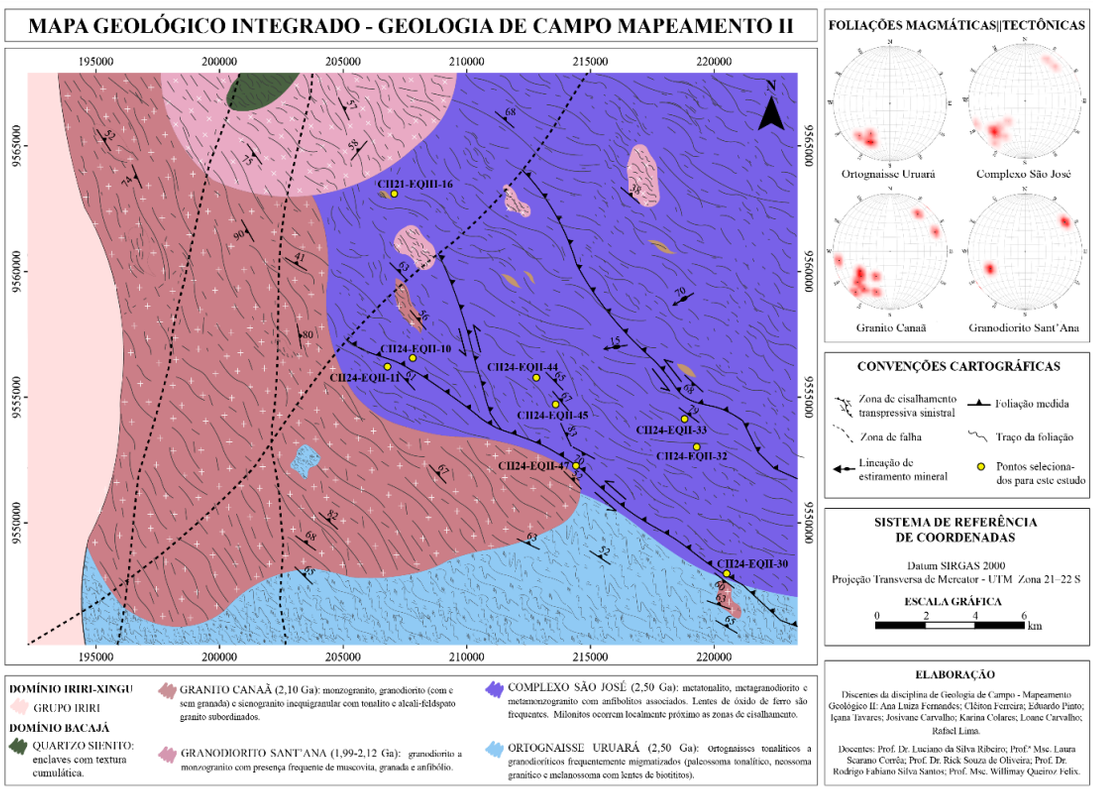


Figura 2 – Mapa geológico local produzido pela integração de dados da disciplina de Geologia de Campo – Mapeamento Geológico II (2024) da Ufopa. Na porção direita superior foram inseridos estereogramas (igual-área) com dados de foliação tectônica das principais unidades mapeadas, indicando o *trend* regional NW-SE.

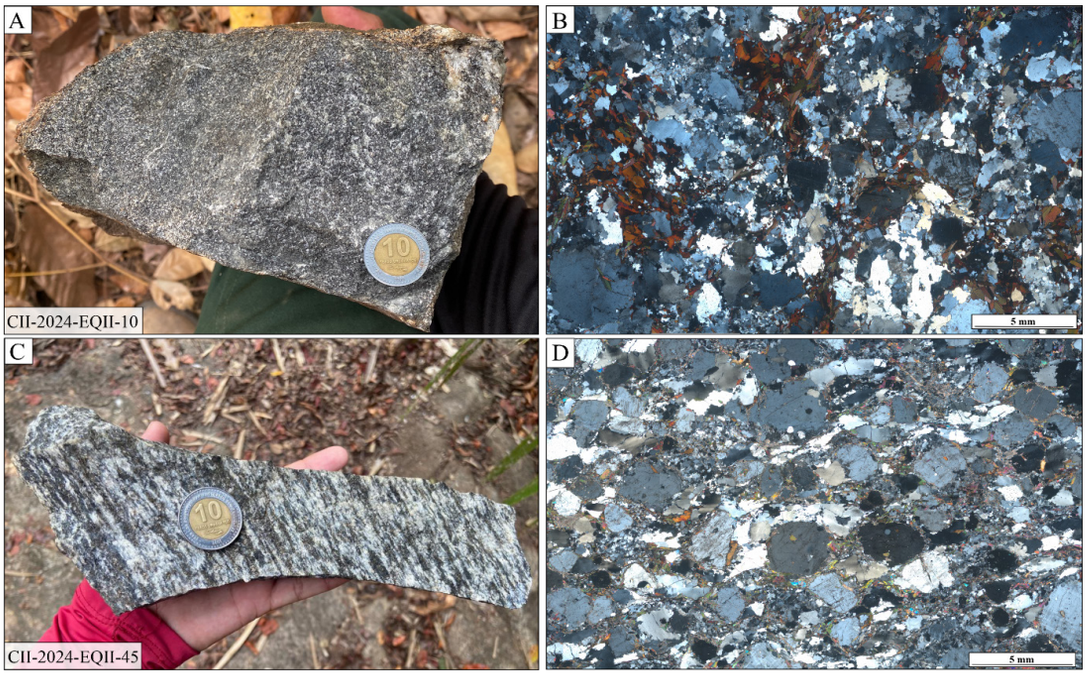


Figura 3 – Aspectos texturais macroscópicos e microscópicos do Complexo São José. (a) Tonalito representativo dos domínios de baixo *strain*; (b) mosaico de fotomicrografias do tonalito de baixo *strain*; (c) tonalito milonítico representativo dos domínios de médio a alto *strain*; e (d) mosaico de fotomicrografias de tonalito protomilonítico representativo dos domínios de médio a alto *strain.*

O quartzo ocorre na forma de cristais xenoblásticos a hipidioblásticos, de granulação fina a média, com contatos serrilhados e irregulares entre si e lobados com os demais minerais. Também está presente na forma de inclusões em outros minerais. São reconhecidos dois tipos texturais: **Qtz$_1$**, formado por cristais xenoblásticos, de granulação média, com fraca extinção ondulante e fraturas localizadas; e **Qtz$_2$** constituído por cristais xenoblásticos, de granulação fina, definindo textura mirmequítica.

O microclínio ocorre na forma de cristais xenoblásticos a hipidioblásticos, de granulação fina a média. Os contatos entre si e com os demais minerais são predominantemente sub-retilíneos a lobados. Apresenta maclamento tipo xadrez bem desenvolvido. Alteração parcial para argilominerais é frequente. As bordas desses cristais são, comumente, marcadas por textura mirmequítica.

Médio a alto *strain*

As rochas caracterizadas por médio a alto *strain* são metatonalitos e metagranodioritos, fortemente anisotrópicas com textura inequigranular de granulação média a grossa (Figura 3c-d). Os minerais essenciais são plagioclásio, microclína e quartzo. Biotita ocorre como principal mineral varietal. Entre os acessórios primários estão epidoto, titanita, apatita, zircão e minerais opacos. Minerais secundários, como argilominerais e sericita, são produtos da alteração dos feldspatos. Esses agregados de minerais máficos definem a foliação milonítica. Os milonitos possuem matriz composta por quartzo e microclína de granulação fina (<1 mm), caracterizada por fitas de quartzo e orientação de biotita que definem a foliação milonítica. Porfiroclastos de feldspatos comumente tem

granulação média e são contornados pela matriz recristalizada, que perfaz em torno de 30–60% da rocha.

Os cristais de quartzo variam desde pouco ou não recristalizados até altamente recristalizados, com granulação entre 0,5 e 2,5 mm. Esses cristais apresentam contatos suturados e extinção ondulante moderada. Com base nessas características, é possível classificá-los em três tipos texturais distintos. O primeiro tipo textural é o **Qtz_1** que corresponde a núcleos da textura núcleo-manto, de granulação média, com contatos interlobados e moderada extinção ondulante (Figura 3d), bordejado por um manto de quartzo tipo 2 e 3. O **Qtz_2** é caracterizado por recristalização do tipo *subgrain rotation* (SGR) sob temperatura moderada (>400°C). O **Qtz_3**, apresenta granulação fina, textura xenoblástica e ocorre predominantemente na matriz ou mantos de recristalização, formando agregados. Esses agregados exibem contatos suturados, indicativos de recristalização por migração de limite de grãos (*grain boundary migration – GBM*). Essa microestrutura sugere temperaturas de deformação elevadas (>500°C), conforme critérios de Passchier e Trouw (2005). O **Qtz_2** e **Qtz_3** passam a predominar em zonas de médio a alto *strain*, refletindo a heterogeneidade da deformação que afetou essas rochas.

O plagioclásio ocorre na forma de porfiroclastos (Figura 3d), idioblásticos a hipidioblásticos, de granulação média a grossa (2–5 mm), apresentando maclamento albita bem desenvolvido, além de microfraturas, por vezes preenchidas. Esses porfiroclastos, são envoltos por cristais finos da matriz, principalmente quartzo, microclínio, biotita e muscovita. É frequente a presença de porfiroclastos rotacionados.

Os cristais de microclínio ocorrem tanto na forma de porfiroclastos quanto na matriz recristalizada, permitindo sua classificação em dois tipos texturais: **Mc_1** preserva características tipicamente magmáticas, maclamento xadrez difuso e intercrescimento pertítico bem desenvolvido. Possuem hábito prismático, faces hipidioblásticas e granulação média a grossa (2–6 mm). Os contatos são retos entre si e com os demais minerais primários. Alteração parcial para sericita é uma feição comum. O **Mc_2** corresponde aos cristais de granulação fina, recristalizado por *bulging* (BLG), podendo definir estruturas do tipo núcleo-manto (Figura 3d), que indica temperaturas de deformação acima de 500°C (Passchier & Trouw, 2005).

CONCLUSÕES

A análise microestrutural das rochas do Complexo São José permitiu identificar rochas de baixo *strain* e de médio a alto *strain*: (i) domínios de baixo *strain*, caracterizados por protomilonitos com 10–20% de matriz, e (ii) domínios de médio a alto *strain*, representados por protomilonitos a milonitos, caracterizados por 30–60% de matriz recristalizada. Essas rochas exibem foliação milonítica e estruturas que indicam deformação cristal-plástica, destacando-se a recristalização dinâmica do quartzo por GBM+SGR, sugerindo temperaturas >500 °C. Nos domínios de médio a alto *strain*, os feldspatos podem apresentar textura núcleo-manto, com o desenvolvimento de recristalização do tipo-BLG, que também ocorre em temperaturas acima de 500 ºC. A distribuição textural reflete a heterogeneidade da deformação e variações térmicas, indicando

que essas rochas foram deformadas e recristalizadas em condições de médio a alto grau, sob fácies anfibolito (>500 °C), provavelmente durante o cenário colisional do Ciclo Transamazônico.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA) pela infraestrutura dada para a realização do mapeamento geológico e ao Laboratório de Mineralogia e Microscopia do Instituto de Engenharia e Geociências (IEG-UFOPA). Às equipes I (Eduardo Pinto, Içana Tavares, Josivane Carvalho e Rafael Lima) e II (Clêiton Chaves, Ana Luiza e Karina Colares, equipe da autora) de 2024 pela disponibilidade de dados da disciplina Geologia de Campo – Mapeamento Geológico II. Além disso, agradecemos às contribuições de um revisor anônimo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Braga, A. A. De J., Santos, F. H. Dos, Dorabiato, M. D., Farias, E. M. B., Cabral, E. Da S., & Silva, C. G. C. (2024). Identificação e caracterização de zonas de cisalhamento no noroeste do Domínio Bacajá, Cráton Amazônico. *Geologia USP. Série Científica*, **24**(2): 53-69.

Fernandes, A. L. D., Geologia e petrografia do Complexo São José, região sul de Uruará, porção Oeste do Domínio Bacajá, Província Transamazonas. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Oeste do Pará.

Macambira, M.J.B.; Vasquez, M.L.; Silva, D.C.C. Da.; Galarza, M.A.; Barros, C.E. De M.; Camelo, J. De F. 2009. Crustal growth of the central- 34astern, Paleoproterozoic domain, SW Amazonian craton: Juvenile Accretion vs. *Reworking. Journal of South American Earth Sciences* **27**: 235–246.

Passchier, C. W. & Trouw, R. A. J. 2005. Microtectonics. Spinger Berlim New York, 366p.

Trouw R.A.J., Passchier C.W., Wiersma, D.J. 2010. *Atlas of Mylonites - and Related Microstructures*. Berlim, Germany: Springer.

Vasquez, L.M.; Rosa-Costa L.T. 2008. *Geologia e Recursos Minerais do Estado Do Pará: texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais do estado do Pará, escala 1:1.000.000. Programa Geologia do Brasil (PGB). Integração e Difusão de Dados da Geologia do Brasil*. Belém: CPRM.

Vieira, C.S.; Amaral, W.S.; Santos F.H. 2022. Petrography, geochemistry and zircon U-Pb geochronology of the Siderian-Rhyacian granitoids of NW Bacajá Domain, Amazonian Craton. *Journal of the Geological Survey of Brazil*, **5**(3): 145-176.

REGISTROS DE ESTRUTURAS TECTÔNICAS EM SEDIMENTOS: MANAUS - AM

Thais Alessandra de S. Oliveira[1]; Carlos Alejandro Salazar[1] & Marta Edith Velásquez David[1]

[1]Universidade Federal do Amazonas - UFAM

thais.oliveira@ufam.edu.br; csalazar@ufam.edu.br; edith@ufam.edu.br

RESUMO

Na região de Manaus afloram rochas sedimentares da bacia do amazonas encobertas por sedimentos siliciclásticos. Em esses sedimentos se desenvolveram durante o Neogeno perfis de intemperismo com horizontes de laterito e/ou linha de pedra. Em estes materiais geologicos se registram evidências de deformação de origem tectônica a qual influenciou a modelagem do relevo. Particularmente o desenvolvimento do padrão da rede de drenagem, das geoformas e o perfil de intemperismo. Este estudo mostra como estruturas de origem neotectônica incidem na formação da paisagem. Propõe um modelo descritivo que explica a origem e a hierarquia dessas estruturas. Os resultados da pesquisa integram informações estruturais indiretas, resultado de tratamento de dados e interpretação de imagens de sensores remotos, evidencias observadas em campo e correlações em escala local. Destaca-se o modelo estrutural interpretativo e a importância das características geológicas, dentre elas, sua utilidade no planejamento urbano.

PALAVRAS-CHAVE: Estruturas em zona de cisalhamento, deformação de sedimentos, Neotectônica.

INTRODUÇÃO

A cidade de Manaus (AM) está inserida no contexto geotectônico da Bacia do Amazonas, resultado de sinéclise instalada no Cráton Amazônico durante o Paleozoico (Cunha *et al.,* 2007). Afloram sedimentos estratificados areno-argilosos intercalados com finas camadas argilosas e areno-conglomeráticos para a base. Processo supergênicos em esses sedimentos formam perfis de intemperismo com horizontes de latossolo, de crostas lateríticas, e linhas de pedra. Estruturas tectônicas rúpteis deslocam tanto horizontes como estratos desses materiais sedimentares, e determinam alinhamentos dos eixos principais das redes de drenagem e de interflúvios (Costa *et al.,* 1996). Na região de Manaus observam-se estruturas rúpteis, acompanhadas por estruturas com feições plásticas, que dão origem a um sistema dominado por grabens e horsts, com falhamento lístrico, dobras de arrastro e de rollover. Zonas de cisalha-

mento com dobramento por arrasto de limites de estratos, e formação de estruturas conjugadas. Várias dessas estruturas influenciam as formas do relevo, da drenagem e em geral da paisagem da cidade. Na análise estrutural da deformação foram usados referentes de deslocamento estratigráficos como horizontes lateriticos, linhas de pedra (*stonelines), e* estratificação de sedimentos (Dos Santos *et al*., 2025). Essa análise sugere evidências de registros neotectônicos. Deformações relacionadas a zonas de cisalhamento registradas em pulsos.

A relevância espacial desse arcabouço estrutural, e sua incidência na formação da paisagem impõe fatores restritivos ao uso adequado do solo. Em este contexto esta pesquisa mostra a influência da neotectônica na evolução das geoformas na região de Manaus a qual é potencialmente restritiva para o desenvolvimento urbanístico. Segundo o Serviço Geológico do Brasil (SGB), Manaus conta com mais de 70 mil pessoas vivendo em situação de risco, e em 2023 o número de habitantes em áreas de risco geológico aumentou em 82% de março a outubro. Além disso, acidentes em áreas comerciais, como o deslizamento de terra massivo no Porto Chibatão em 2010, evidenciam a vulnerabilidade dessas regiões. Estas vulnerabilidades podem ser causadas, além de outros fatores naturais e antrópicos, pela configuração estrutural da cidade, em que zonas de fraqueza (falhas, fraturas e dobras) contribuem para uma aceleração da erosão.

Os **objetivos desta pesquisa consistem em: E**ntender o registro da deformação tectônica e sua influência no desenvolvimento geomorfológico da região de Manaus. Explicar a origem e distribuição das estruturas mediante modelo descritivo. Aprimorar o entendimento das dinâmicas geológicas locais e suas prováveis implicações ambientais. Para atingir estes propósitos, foram aplicados **os seguintes métodos: i)** reconhecimento e caracterização de aspectos morfoestruturais e morfométricas a partir de imagens de sensores remotos. Ii) colheita de dados geológico estruturais in situ. Iii) processamento e tratamento de dados geológicos e estruturais. Iv) Análise e integração de informações geológicas e estruturais.

RESULTADOS E DISCUSSÂO

Na área de estudo afloram sedimentos não consolidados que exibem para a base, estratos de areia espessuras entre 40 e 120 cm, que exibem estratificação cruzada acanalada, e ocorrem intercalados com estratos de areia com seixos de argila na base. Para o topo da sequência estratigráfica, ocorrem estratos de argila lenticular de até 10 cm de espessura intercalados com estratos de areia com até 20 cm de espessura.

Análise de imagens de sensores remotos, de modelo digital de elevação e informações de campo, destacam elementos morfológicos que se relacionam com uma morfogênese influenciada por deformação tectônica de sedimentos. Em escala local, a área de estudo apresenta altitudes variando entre 18 m e 127 m, com as cotas mais elevadas situadas na porção nordeste e as mais baixas na porção sudoeste. As drenagens podem ser caracterizadas de acordo com a metodologia de Soares e Fiori (1976), Cox, (1984). Apresentam um padrão de densidade média, caracterizando porções dendríticas e predominantemente retilíneas, ressaltando a declividade do terreno e a influência do

controle estrutural no modelamento da região (Figura 1). Dos aspectos geológicos associados à evolução da paisagem natural, se destacam:

i) i) Relevos com máxima elevação para o norte da área de trabalho (figura 1). São definidos por interflúvios com formas planas (platô) que separam as nascentes das principais microbacias dos Igarapés Educandos, Mindú e parte baixa do Tarumã Acú. Para montante dessas microbacias os vales das bacias exibem encostas íngremes, retas com fundo estreito em formato de V. o perfil de intemperismo localmente desenvolve horizonte laterítico com espessura entre 0,4 e 0,8 m. Para o sul (a jusante) os vales exibem interflúvios estreitos, fundos mais largos e encostas onduladas, curtas.

ii) Morfogênese associada a estruturas tectônicas pode ser inferida analisando a assimetria de bacias. Para a o Igarapé Educandos o fator de assimetria da microbacia varia de 59 % na nascente para 04 % no centro e até 61% na foz. Mostrando baixa assimetria no centro e intermediaria nos extremos. Similares parâmetros de assimetria são observados na microbacia do Mindú. O fator de assimetria em estas microbacias está relacionado com acentuado desenvolvimento de drenagens internas na margem norte, cujos vales se alinham para a direção 020°. As microbacias dos Igarapés do Mindú e do Educandos possuem forma subretangular, mais estreitas do centro para as nascentes e se alargam do centro para a foz (Figura 1A). ii) A linha média dessas microbacias (Keller & Pinter, 1996) não coincide com o eixo principal da microbacia.

iii) Na área de estudo, se observam lineamentos que podem estar relacionados a estruturas tectônicas: rios como o Urubu, o Uatumá e o Igarapé Puraquequara (desaguam no rio Amazonas), têm vales retos, paralelos e orientados para 300° e 340° azimuth. Esses lineamentos, são paralelos ao leito do baixo rio Negro, e em particular ao eixo da bacia constituída pelo arquipélago das Anavilhanas. Ao interior das microbacias dos Igarapés do Mindú e do Educandos, variações na altura, da forma do relevo, assim como interflúvios e vales de drenagens subordinadas, alinhadas, mostram tendencias contínuas para a direção 300° (Figuras 1ª, B).

iv) As microbacias Tarumã Açú, Mindú e Educandos, desaguam no Rio Negro (Figura 1A), têm vales com eixo maior alinhados para as direções 020° e 070°. Esta última direção é paralela ao eixo do Rio Amazonas, no seu trecho dentro da área de estudo.

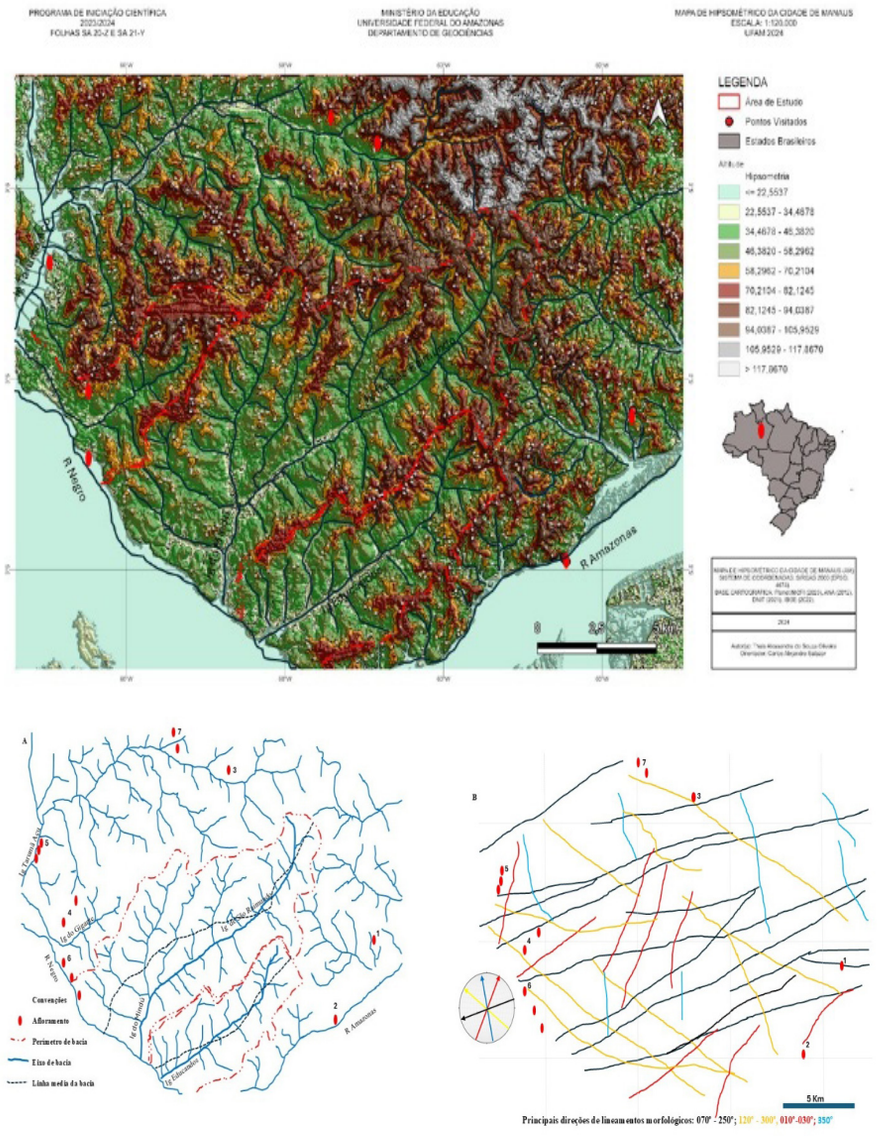


Figura 1. Localização da área de pesquisa. A) Rede de drenagem, e afloramentos. Simetria das bacias dos igarapés Educandos e Mindú B) afloramentos e lineamentos morfológicos.

As estruturas tectônicas observadas em campo (Figura 1B, afloramento 3 Santa Etelvina, 7 avenida flores, 4 do turismo, e 6 orla da pronta Negra), são apresentadas na figura 2. Os afloramentos 3 e 7 são taludes entre 4 e 12 de altura, em encosta de vale onde o solo e sedimentos são deslocados por deformação ruptil (Figuras 2A, B). Trata-se de zonas de cisalhamento (ZC): i) ZC1 com cinemática sinistral transtensiva, sinuosa com largura de até 30 cm, possui atitude dominante 250°/60° (strike/dip) variando para 270°/65°. Desenvolve: sigmoides, rotação de blocos, deslocamento normal de estrato e de horizonte laterítico. Estruturas conjugadas sintéticas, ocorrem orientadas para 230°/60°. II) ZC2 corresponde a um segmento sinuoso com cinemática sinistral de baixo ângulo de mergulho. Está orientada para 300°/70°, associada a ela ocorrem estruturas lístricas tensivas ZC3 que promovem a geração de dobras de rollover, de arrasto de limites de estratos, horsts e gravens (Figura 2A). A relação espacial dessas estruturas e das seas estrturas conjugadas é resumida no modelo da Figura 2B. Este modelo estrutural, é compatível com o proposto por Costa *et al* (2002), e mais precisamente com o de

Passos *et al*., (2020), para a região. Domínios estruturais onde a cinemática das estruturas varia, podem ocorrer em zonas de cisalhamento sinuosas. Isso pode explicar o comportamento transtensivo sinistral das zonas de cisalhamento ZC2 e ZC3 nas figuras 2A, B. Nas Figuras 2C, D, observa-se zona de cisalhamento dextral transpressiva orientada 256°/76° e duas estruturas sintéticas transtensivas, orientadas para 114°/68° e 189°/65°.

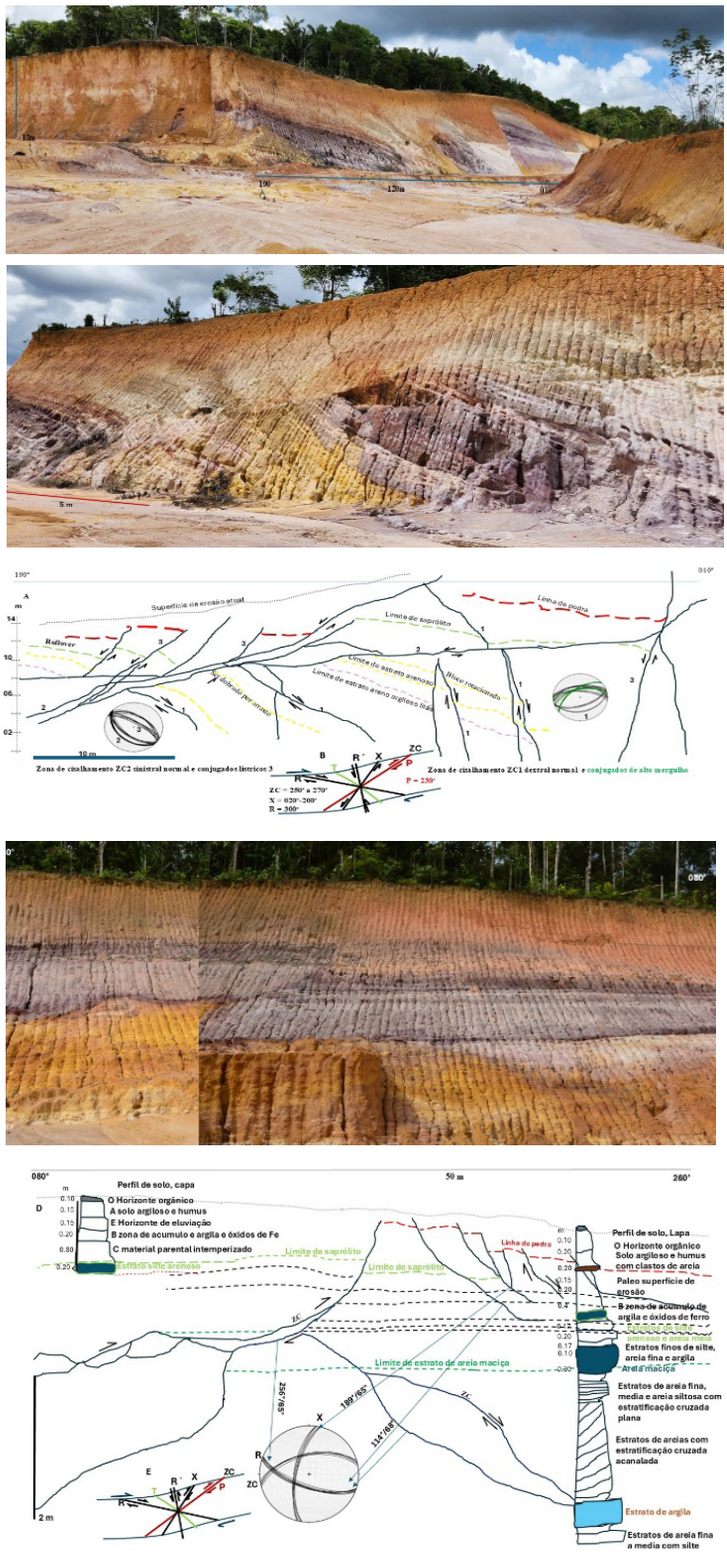


Figura 2. Afloramento 3, Santa Etelvina A) Estruturas neotectônicas. B) modelo interpretativo de cisalhamento local. C) Afloramento 6, Av Flores. D) Zona de cisalhamento dextral transpressiva e estruturas conjugadas. E) Modelo interpretativo de cisalhamento local.

Relações espaciais, estratigráficas envolvendo deslocamento de guias estratigráficas confiáveis como horizontes de perfil de intemperismo, e de estratos de sedimentos, mostram que as evidências de deformação observadas se relacionam ao registro de estruturas de cisalhamento simples em regime ruptil envolvendo reativação tectônica. O modelo estrutural interpretativo apresentado (Figuras 2), apoia e valida a hipótese de que a deformação tectônica influenciou os processos morfogênicos a evolução da paisagem natural e a configuração do relevo atual, na área estuda. Em esse contexto, essa estruturação tem implicações significativas para o desenvolvimento urbano e para a gestão ambiental do território.

A compreensão da tectônica na região amazônica oferece diferentes interpretações sobre os eventos neotectônicos. Franzinelli e Igreja (1990) sugerem um regime transcorrente dextral E-W, com falhas normais NW e mergulho NE, vinculado à rotação da Placa Sul-Americana. Wanderley Filho (1991) propõe um regime distensivo no Paleógeno seguido por um regime transcorrente dextral no Mioceno, que resultou em falhas normais e compressivas. Fernandes Filho (1997) descreve esforços compressivos no Mioceno que geraram falhas inversas e soerguimento dos perfis lateríticos, seguidos por deformações transtensivas no Pleistoceno.

Em esse contexto, para a área de pesquisa o presente estudo esclarece: I) Os materiais geológicos rochas, e sedimentos recentes, foram deformados por sistema de cisalhamento simples conjugado, sinuoso, com cinemática dextral principalmente transtensiva. Assim, tanto a cinemática como a vergência da deformação local dependem, do tipo de estruturas registrado. II) A diversidade de estruturas é registrada em escala regional tanto pelo desenvolvimento da rede de drenagem (bacias assimétricas devido a controle estrutural), como pelo registro estratigráfico incluindo o perfil de intemperismo recente. III) na região de Manaus evidencias de deformação tectônica ocorrem em domínios estruturais específicos.

CONCLUSÕES

As contribuições desta pesquisa sobre o conhecimento geológico estrutural para a região de Manaus, oferece uma visão mais precisa de potenciais restrições geológicas ao desenvolvimento urbano. As principais restrições incluem: Erosão concentrada é incentivada pelas remoções do perfil de intemperismo em encostas. Estruturas de origem tectônica promovem instabilidade em vertentes íngremes de vales. O desenvolvimento urbano deve incorporar essas restrições visando prováveis efeitos futuros na segurança e na estabilidade da infraestrutura civil.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa teve fomento da FAPEAM (Projeto Posgrad 2024-2025). Bolsa de Iniciação Cientifica 2023-2024 FAPEAM. Programa de redução de assimetrias da CAPES, PRAPG. Edital 014/2023.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Costa J.B.S., Bemerguy R.L., Hasui Y., Borges M.S., Ferreira Júnior C.R.P., Bezerra P.E.L., Costa M.L., Fernandes J.M.G. 1996. Neotectônica da região Amazônica: aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. Geonomos, 4:23-24.

Costa, J.B.S.; Hasui, Y.; Bemerguy, R.I.; Soares Junior, A.V.; Villegas, J.M., 2002. Tectonic and Paleogeography of the Marajó Region, Northern Brazil. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 74, p. 519-531.

COX, R.T. 1984. Analysis of drainage-basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possibleQuaternary tilt-block tectonics: An example from the Mississippi Embayment. Geological Society of american Bulletin, V. 106. No6, P571-581. Doi: GSA Bulletin (1994) 106 (5): 571–581.https://doi.org/10.1130/0016-7606(1994)106<0571:AODBSA>2.3.CO;2

Cunha, P. R. C; Melo, J. H. G. Silva, O. B. Bacia do Amazonas. Boletim de Geociências. Petrobrás, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 227-251, 2007.

Dos Santos a, mf; Horbe, A M C; Gautheron, C; V, Cavalcante JG; Val, P; Pinna-Jamme, R; **Calazar, C A**. (U Th)/He Geochronology of Fe and Fe Al Lateritic Duricrusts and Bauxites in Central-Northern Amazonia: Implications for Paleoclimate and Landscape Evolution. CHEMICAL GEOLOGY, v. 689, p. 122835, 2025.

Fernandes Filho L.A., Costa M.L., Costa J.B.S. 1997. Registros neotectônicos nos lateritos de Manaus-Amazonas. Geociências, 16:9-33.

Franzinelli, E. & Igreja, H.L.S. 1990. Utilização de sensoriamento remoto na investigação na área do baixo Rio Negro e grande Manaus. In: VI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1990, Manaus. Anais. 1990. v. 3: 641-648.

Keller, E.A. and Pinter, N. (1996) Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape. Prentice Hall.

Passos, M S; Soares, E A A; Tatumi, S H; Yee, M; M, Ramirez J C; Hayakawa, E H; Salazar, C A. Pleistocene-Holocene sedimentary deposits of the Solimões-Amazonas fluvial system, Western Amazonia. *Journal Of South American Earth Sciences*, v. 98, p. 102455, 2020

Soares, P. C.; Fiori, A.P. 1976. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. Notícia Geomorfológica, Campinas, v.16, n.32, p.71-104.

Wanderley Filho, JR. Evolução estrutural da Bacia do Amazonas e sua relação com o embasamento. Orientador: João Batista Sena Costa. 1991. 125 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1991. Disponível em: http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/11738. Acesso em:18/06/2025.

CARACTERIZAÇÃO DE FÁCIES DO VULCANO-PLUTONISMO CALIMIANO DA REGIÃO SUDESTE DO AMAZONAS

Sirlan S. D. Carmo[1]; Mayara F. B. Teixeira[1,2]; Raphael D. C. S. D. Santos[1,2]; Victor C. Barbosa[2]; Carlos E. S. D. Oliveira[3]; Miquéas. B. Silva[3]; Leandro M. Betiollo[3]; Antônio C. D. S. Oliveira[3,4]; Maely D. C. Dias[1]

[1]Programa de Pós-graduação em Geociências da Universidade Federal do Amazonas (UFAM); [2]Departamento de geociências da UFAM; [3]Serviço Geológico do Brasil; [4]PPG-Geociências, UNICAMP.

sirlancarmo@gmail.com; mayarafraeda@ufam.edu.br; *raphaelsantos@ufam.edu.brvictorcassianobar@gmail.com*; carlos.oliveira@sgb.gov.br; *miqueas.silva@sgb.gov.br*; *leandro.betiollo@sgb.gov.br*; charles.oliveira@sgb.gov.br; *carvalhodias13@gmail.com*

RESUMO

O mapeamento geológico (escala 1:40.000), na porção sudeste do Amazonas, permitiu a individualização de quatro principais fácies na Suíte Serra da Providência: granitos rapakivi, granitos híbridos, álcali-feldspato granitos e gabros. Os granitos rapakivi são representados por biotita-sienogranitos e monzogranitos com textura porfirítica, enquanto os granitos híbridos mostram maior conteúdo máfico e presença de enclaves. Os álcali-feldspato granitos exibem textura equigranular média a grossa, e os gabros exibem texturas ofíticas e subofíticas. No Grupo Serra do Gavião foram reconhecidas as Formações Morcego e Igarapé Beija-Flor, compostas por riolitos porfiríticos e lapilli-tufos de cristal, respectivamente, ambos com mineralogia predominantemente félsica e ocorrência de textura rapakivi nos riolitos. Além dessas unidades, foram descritas rochas basálticas, com duas distintas litofácies: olivina-augita basalto e augita-basalto. A ocorrência de basaltos abre novas perspectivas sobre o caráter bimodal do vulcanismo na região. A relação espacial entre as litologias, a sobreposição de fácies e a presença da textura rapakivi, nas rochas plutônicas e vulcânicas, reforça a hipótese de um sistema magmático geneticamente relacionado.

PALAVRAS-CHAVE: Vulcano-Plutonismo; Suíte Serra da Providência; Granitos rapakivi.

INTRODUÇÃO

Granitos tipo-A são rochas ígneas félsicas tradicionalmente associadas a ambientes anorogênicos e intraplaca. Contudo, estudos recentes têm demonstrado que esses granitos podem ser gerados em regimes tectônicos orogênicos e riftes continentais (Condie *et al*. 2023).

Nesse contexto, granitos rapakivi foram definidos por Haapala & Rämö (1992) como granitos tipo-A caracterizados por batólitos com grande variedades de granitos mostrando a textura rapakivi. No Paleo e Mesoproteorozoico, um volume significativo de Granitos tipo-A rapakivi intrudiram diferentes províncias do Cráton Amazonas (CA). Na Província Rondônia-Juruena, porção sul do CA, destacam-se granitos *strictu sensu*, rapakivis, mangeritos, charnoquitos e rochas básicas pertencentes à Suíte Serra da Providência (1606-1511 Ma; Bettencourt *et al*., 1999). Na região sudeste do Estado do Amazonas, Oliveira *et al*. (2019) descreram uma variedade de rochas graníticas, incluindo granitos rapakivis e rochas vulcânicas, atribuídas à Suíte Serra da Providência e ao Grupo Serra do Gavião, respectivamente.

Este trabalho tem como objetivo caracterizar e relacionar as litofácies do vulcanoplutonismo, na porção sudeste do Amazonas, através de mapeamento geológico e aspectos petrográficos.

MATERIAIS E MÉTODOS

O mapeamento geológico realizado consistiu na descrição de afloramentos, individualização de litofácies e produção de mapa geológico da área de estudo (Fig. 1). Além disso, 35 lâminas polidas de rochas coletadas em campo foram descritas e classificadas, de acordo com a composição mineral de cada litologia (Streckeisen, 1967). De modo especial, as rochas vulcânicas explosivas foram classificadas de acordo com o diagrama de Fisher (1966).

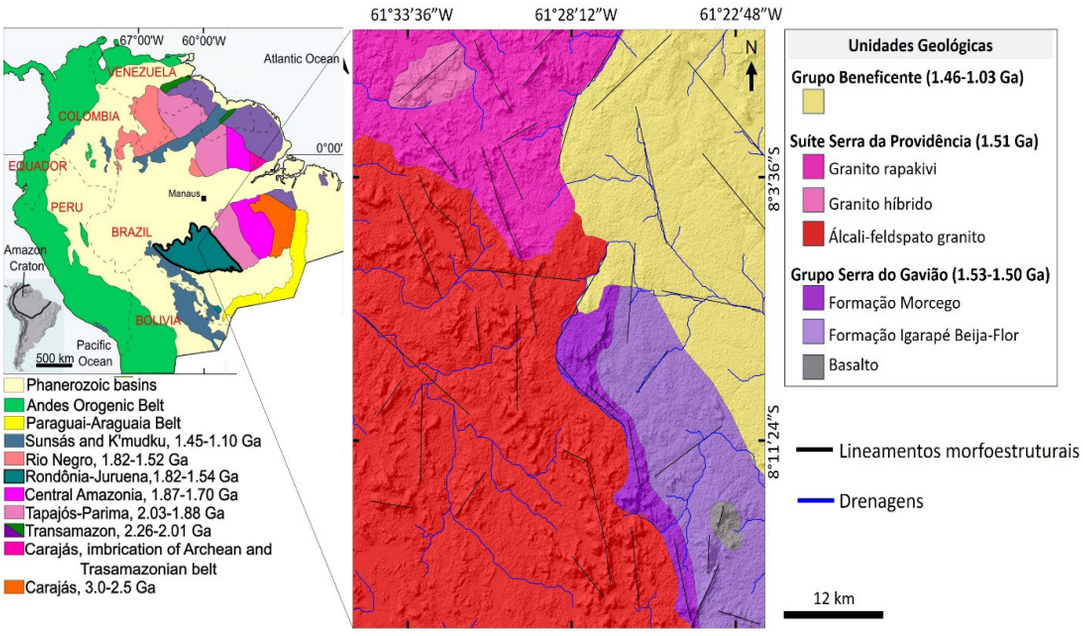


Figura 1: Mapa de localização - a) Compartimentação do CA por Santos *et al*. (2006); B) Mapa geológico produzido neste trabalho, com auxílio de imagem Alos Palsar e coluna estratigráfica de Oliveira *et al*. (2019).

RESULTADOS

A área mapeada está localizada na região sudeste do Estado do Amazonas, entre os municípios de Manicoré e Novo Aripuanã. Neste trabalho, foram identificadas rochas graníticas da Suíte Serra da Providência e rochas vulcânicas do Grupo Serra do Gavião, além de rochas basálticas, que serão apresentadas a seguir.

Suíte Serra da Providência

A parte ocidental da área de estudo apresenta morros de declividade moderada e regiões planas, onde foram descritas rochas expostas em lajedos, blocos rolados e *in situ*. Quatro principais fácies foram identificadas: granito rapakivi, granito híbrido, álcali-feldspato granito e gabro.

Granitos rapakivi

Esta fácies é representada por biotita-sienogranitos e biotita-monzogranitos esbranquiçados e rosados de textura porfirítica que, frequentemente, exibem a textura rapakivi (Fig. 2A). Os pórfiros de plagioclásio e K-feldspato (microclínio e ortoclásio) são subédricos e anédricos (Fig. 2B). Os cristais de quartzo exibem extinção ondulante e, por vezes, subgrãos. O índice de minerais máficos varia entre 8-11%, com a biotita sendo seu principal representante. A mineralogia acessória é composta por opacos, titanita, allanita, fluorita, zircão e apatita.

Granitos híbridos

Associados aos granitos rapakivi, afloram biotita-monzogranitos (Fig. 2C) e biotita-hornblenda granodiorito. Com frequência, essa fácies exibe textura rapakivi, maior índice de minerais máficos que os granitos rapakivi e manteamento de biotitas em feldspatos e quartzo. Também foram observados enclaves máficos de até 20 cm. Plagioclásio, microclínio e ortoclásio são subédricos e anédricos. Foram observados intercrescimentos granofíricos entre feldspatos e quartzo. O conteúdo de minerais máficos varia entre 10-23%, com a biotita frequentemente associada a minerais opacos, titanita e hornblenda (Fig. 2D). A assembleia acessória também contém apatita, zircão, fluorita e allanita.

Álcali-feldspato granitos

Nas partes centro, sul e oeste da área de estudo afloram álcali-feldspato granitos avermelhados, de textura equigranular média com pórfiros subordinados, por vezes com textura rapakivi (Fig. 2E). A fácies é definida por intenso intercrescimento granofírico de K-feldspato, quartzo e, em menor frequência, plagioclásio (Fig. 2F). Teor de minerais máficos não excede 5% e a biotita é seu principal componente. A mineralogia acessória tem fluorita, opacos, zircão e apatita.

Gabros

As rochas gabróicas afloram na porção central da área de estudo, apresentam textura equigranular média, e estão espacialmente associados aos álcali-feldspatos granitos (Fig. 2G). Esses gabros possuem texturas ofíticas e subofíticas entre cristais subédricos e anédricos de plagioclásio e augita (Fig. 2H). Minerais opacos ocorrem associados aos piroxênios.

Grupo Serra do Gavião

Nas regiões sudeste e centro da área de estudo, dois corpos se destacam: o primeiro é definido por alinhamentos de morros (Formação Morcego), o segundo corpo tem revelo dominantemente plano (Formação Igarapé Beija-Flor).

Formação Morcego

Nessa formação, afloram riolitos porfiríticos, avermelhados e rosados (Fig. 3A). A textura rapakivi também está presente. Destacam-se pórfiros de quartzo, plagioclásio e K-feldspato em matriz fina e devitrificada (Fig. 3B). A biotita é o principal mineral máfico. Opacos e fluorita completam a mineralogia acessórias.

Formação Igarapé Beija-Flor

Nessa formação, foram identificados lapilli-tufos de cristal avermelhados e esbranquiçados (devido ao intemperismo). Apresentam textura porfirítica e matriz equigranular fina (Fig. 3C). Mineralogicamente, são compostos por K-feldspato, quartzo e plagioclásio (Fig. 3D). A biotita é o principal mineral máfico. A assembleia acessória é composta por fluorita, opacos e zircão. Também foram observados fragmentos de rocha e púmice.

Basaltos

Nas partes norte e sudeste da área de estudo, pequenos corpos basálticos afloram em morros e terrenos rebaixados, onde duas litologias foram identificadas: I) O olivina-augita basalto é composto por pórfiros de plagioclásios, olivina e augita completamente substituídos por clorita e opacos (Fig. 3E e 3F). A matriz varia entre vítria e devitrificada. Amígdalas compostas por carbonatos e quartzo são frequentes. II) O augita-basalto (Fig. 3G) exibe pórfiros de augita, por vezes, uralitizada (Fig. 3H). A matriz é equigranular fina e apresenta processo de uralitização em diminutos cristais de clinopiroxênios(?), além de minerais opacos dispersos na rocha.

Brecha vulcânica

A brecha vulcânica está localizada na parte sudeste da área de estudo e é caracterizada por exibir cristais tabulares de plagioclásio, amídalas preenchidas por quartzo, matriz vítria e fraturas perlíticas. Também incorpora fragmentos do olivina-augita basalto que aflora na mesma região.

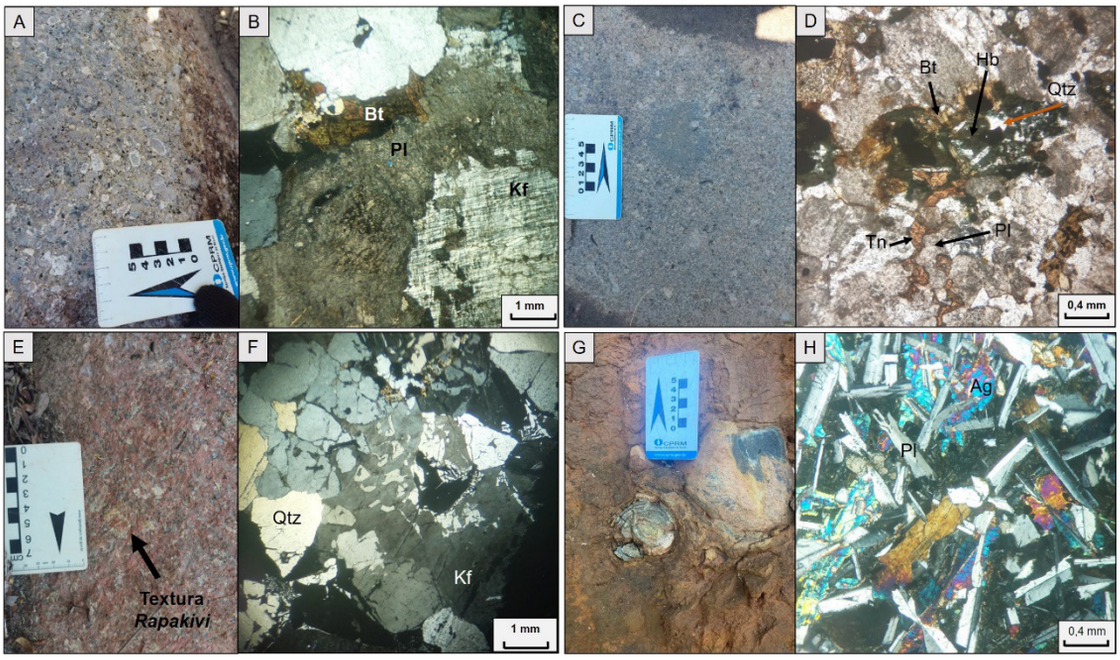


Figura 2 – Suíte Serra da Providência; a) biotita-monzogranito porfirítico com cristais de K-feldspato manteados por plagioclásio; b) pórfiro de K-feldspato manteado por plagioclásio em granito rapakivi; c) Biotita-monzogranito com pórfiros de feldspatos dispersos e enclaves máficos; d) Agregados máfico apresentando intercrescimento entre cristais de hornblenda (Hb), titanita (Tn), quartzo (Qtz) e plagioclásio (Pl); e) Álcali-feldspato granito com textura rapakivi; f) Intercrescimento granofírico entre K-feldspato e quartzo em álcali-feldspato granito; g) Gabro equigranular de coloração escura; h) Gabro equigranular exibindo texturas ofíticas e subofíticas entre augita (Ag) e plagioclásio (Pl).

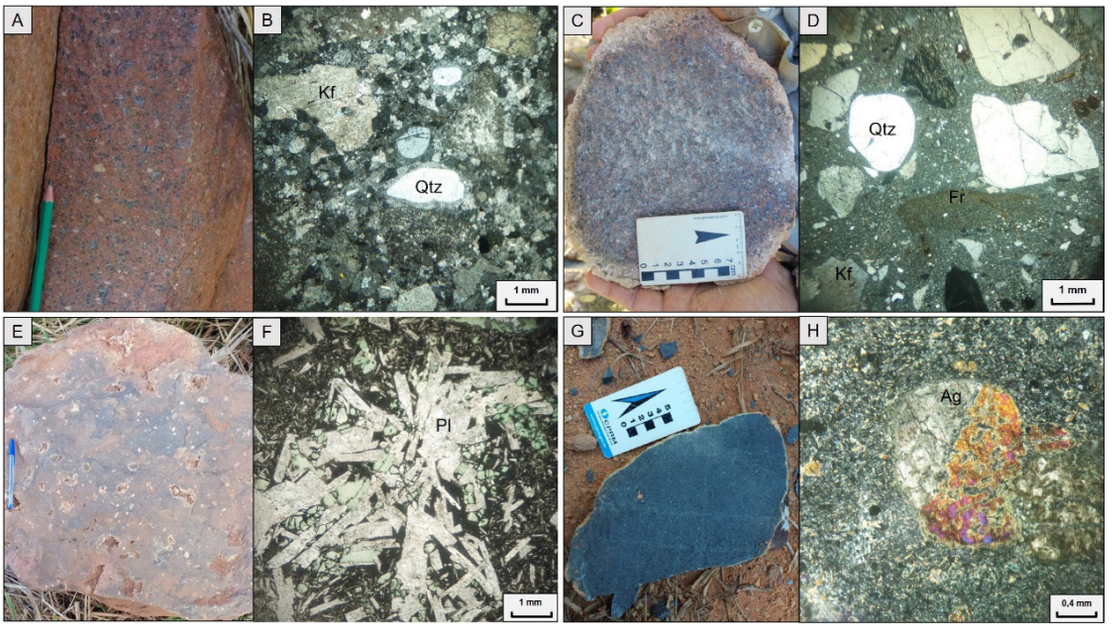


Figura 3 – Grupo Serra do Gavião; a) Riolito porfirítico com matriz afanítica; b) Fotomicrografia da amostra anterior destacando pórfiros de quartzo e K-feldspato em matriz devitrificada; c) Lapilli-tufo de cristal avermelhado e porfirítico; d) Lapilli-tufo de cristal com fragmento de rocha (Fr), pórfiros de quartzo (Qtz) e K-feldspato (Kf) imersos em matriz fina; e) Olivina-augita basalto com amígdalas preenchidas por quartzo e carbonatos; f) Olivina-augita basalto porfirítico com matriz vítria e pórfiros de plagioclásio, olivina e piroxênio substituídos para clorita; g) Augita-basalto porfirítico; h) Fotomicrografia do Augita-basalto porfirítico destacando o pórfiro de augita imerso em matriz..

DISCUSSÕES

Na área de estudo, Reis *et al*. (2016) associaram os granitos rapakivi e álcali-feldspato granitos à Suíte Serra da Providência, enquanto Oliveira *et al*. (2019) atribuiu as rochas vulcânicas do Tipo-A ao Grupo Serra do Gavião. Os dados de campo e aspectos petrográficos de rochas descritas neste trabalho convergiram com essas duas unidades. No entanto, estudos geoquímicos, isotópicos e geocronológicos devem ser aplicados para confirmar possíveis relações entre as rochas analisadas. A associação de termos híbridos e granitos rapakivi, descrita neste trabalho, é uma característica comum observada por Haapala & Rämö (1999). A presença de basaltos na área de estudo é uma informação inédita que indica duas possibilidades: I) presença de termos máficos do Grupo Serra do Gavião, confirmando o vulcanismo bimodal na região; II) presença de vulcanismo máfico ainda não identificado na área de estudo.

CONCLUSÕES

De acordo com os dados expostos, algumas considerações foram extraídas: I) O mapa produzido neste trabalho possui escala de 1:40.000, consistindo um nível de detalhe até então não utilizado por outros autores na área de estudo; (II) A relação espacial definida entre gabros e álcali-feldspato granitos sugere que essas duas fácies interagiram pouco para formar termos híbridos; III) A presença de riolitos com textura rapakivi, bem como sua proximidade espacial com álcali-feldspatos granitos, sugere a relação genética entre as duas litologias; IV) Associações espaciais de campo entre rochas da Suíte Serra da Providência e do Grupo Serra do Gavião, bem como suas similaridades texturais, mineralógicas e feições de mistura, indicam uma relação genética entre as duas unidades.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa contou com auxílio financeiro do CNPq através da Chamada CNPq/MCTI No 10/2023- Faixa A - Grupos Emergentes; do Instituto Serrapilheira através da 7 chamada de apoio a ciência; a CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado; Serviço Geológico do Brasil; Departamento de Geociências UFAM. Faz parte do grupo *Vital Insights Into Precambrian Amazonia* (VIP-Amazonia).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bettencourt, J.S.; Tosdal, R.M.; Leite Jr, W.B.; Payolla, B.L. (1999). Mesoproterozoic rapakivi granites of the Rondônia Tin Province, southwestern border of the Amazonian Craton, Brazil - I. Reconnaissance U–Pb geochronology and regional implications. Precambrian Research 95, 41–67.

Condie, K.C.; Pisarevsky, S.A.; Puetz, S.J.; Roberts, N.M.W. (2023). A-type granites in space and time: Relationship to the supercontinent cycle and mantle events. Earth and Planetary Science Letters 610, 118125.

Dall'Agnol, R.; Costi, H.T.; Leite, A.A.D.S.; de Magalhães, M.S.; Teixeira, N.P. (1999). Rapakivi granites from Brazil and adjacent areas. Precambrian Research 95, 9–39.

Fisher, R.V. 1966. Rocks composed of volcanic fragments. Earth Science Reviews. 1128 International Magazine for Geo-Scientists, 1, 287–298.

Haapala, I.; Rämö, O.T. Rapakivi granites and related rocks: an introduction. (1999). Precambrian Research 95, 1–7.

Haapala, I.; Rämö, O.T. (1992). Tectonic setting and origin of the Proterozoic rapakivi granites of southeastern Fennoscandia. Trans. R. Soc. Edinburgh: Earth Sci. 83, 165-171.

Oliveira, A.A.; Oliveira, A.C.D.S.; de Souza, A.G.H.; Aguiar, L.; Almeida, M.E.; de Lira, R.R.C.; Costa, U.A.P. Geologia e recursos minerais da Folha Rio Roosevelt – SC.20-X-B: 3. Litoestratigrafia. Estado do Amazonas, escala 1:250.000. Organização de Antônio C. D. S. Oliveira, Rafaelly R. C. D. Lira – Manaus: CPRM, 2019.

Oliveira, A.C.D.S. Geologia e recursos minerais da Folha Rio Roosevelt – SC.20-X-B: 6. Conclusões e Recomendações. Estado do Amazonas, escala 1:250.000. Organização de Antônio C.D.S. Oliveira, Rafaelly R.C.D. Lira. Manaus: CPRM, 2019.

Reis, N.J.; Bahia, R.B.C.; Almeida, M.E.; Costa, U.A.P.; Betiollo, L.M.; Splendor, Fábio. Geologia e recursos minerais da Folha Sumaúma SB.20-Z-D: 4. Unidades Litoestratigráficas. Estado do Amazonas, escala 1:250.000. Organização de Marcelo E. Almeida, Antônio C.D.S. Oliveira, Ulisses A.P. Costa. Manaus: CPRM, 2016.

SANTOS, J.O.S.; Hartmann, L.A; Faria, M.S.; Riker, S.R.; Souza, M.M.; Almeida, M.E.; McNaughton, N.J. (2006). A Compartimentação do Cráton Amazonas em Províncias: Avanços ocorridos no período 2000-2006. *In*: Simpósio de Geologia da Amazônia, n° 9, Anais. Belém: SBG Núcleo Norte, 156-159.

STRECKEISEN, A. L. Classification and nomenclature of igneous rocks. Final report of an inquiry. Neues Jahrbuch fur Mineralogie, Abhandlungen, v. 107, p 144-240, 1967.

VULCANISMO DA SUÍTE SERRA DA PROVIDÊNCIA NO CENTRO LESTE DE RONDÔNIA E SUAS RELAÇÕES COM O VULCANISMO ESTATERIANO NA PROVÍNCIA RONDÔNIA-JURUENA

Marco Aurélio Piacentini Pinheiro [1]; Dalton Rosemberg Valentim da Silva[2]; Gustavo Negrello Bergami [3] Carlos Eduardo Santos de Oliveira[4]; Carlos Augusto Silva Provezano[5]

[1]Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM, Centro de Geociências Aplicada (CGA), Rio de Janeiro; [2]Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM, Núcleo de Natal;[3] Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM, Núcleo de Curitiba;
[4]Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM, Residência de Porto Velho;
[5]Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM, Superintendência de Porto Alegre

marco.pinheiro@sgb.gov.br; dalton.rosemberg@sgb.gov.br; gustavo.bergami@sgb.gov.br; carlos.oliveira@sgb.gov.br; carlos.provenzano@sgb.gov.br

RESUMO

No domínio centro-oeste da Província Rondônia-Juruena (PRJ), sudoeste do Cráton Amazônico, ocorre expressivo volume de rochas ácidas tanto plutônicas quanto vulcânicas. Embora na porção central da PRJ (estado de Mato Grosso), essas rochas se expressam através de uma província magmática estateriana, na sua porção centro-oeste (leste de Rondônia), tais rochas são pouco compreendidas. Esse trabalho aborda rochas vulcanogênicas - vulcânicas e vulcanoclásticas, dessa região através de análises de litogeoquímica e isotopia U-Pb (SHRIMP, em zircão). Os resultados revelaram dois grupos de vulcanitos para a região, um estateriano, com ca de 1745 Ma (Grupo Roosevelt), e outro mesoproterozoico, ca de 1535 a 1544 Ma (Suíte Serra da Providência). O estateriano abrange riolitos à andesitos com assinaturas meta à peroaluminosas, ferroanas à magnesianas e álcali-cálcicas à cálcio-alcalinas e estaria associado a extensão ocidental da província ígnea magmática da parte central da PRJ. Por outro lado, os vulcanitos mesoproterozoicos abrangem essencialmente riolitos à álcali-riolitos, com assinaturas meta a peroaluminosas, ferrroanas e álcali-cálcicas. Eles estariam relacionados as manifestações vulcânicas, até então sem precedentes no centro-leste de Rondônia, integradas a Suíte Serra da Providência, que representa um expressivo magmatismo anorogênico calimiano na borda sudoeste do Craton Amazônico. Elementos menores e traços normalizados sugerem uma fonte magmática comum para essas rochas, com as mesoproterozoicas mais fracionadas e evoluídas em relação as estaterianas, sugerindo processos prolongados de magmatismo e metassomatismo mantélico, com pulsos atuantes do estateriano ao Mesoproterozoico. Esses

dados adicionam novos elementos para a reconstrução geodinâmica do proterozoico na borda sudoeste do Cráton Amazônico, com implicações para o entendimento da evolução do Supercontinente Colúmbia.

PALAVRAS-CHAVE: Cráton Amazônico; Vulcanismo; Suíte Serra da Providência; Grupo Roosevelt.

INTRODUÇÃO

Na região centro-oeste da Província Rondônia-Juruena (PRJ), sudoeste do Cráton Amazônico, ocorrem rochas de origem vulcânica, em sua maioria, riolitos, granófiros e vulcanoclásticas diversas, que se manifestam como a extremidade oriental de uma extensa província ígnea estateriana, caracterizada em sua porção central (Rizzoto *et al*., 2019; Almeida *et al*., 2023). Essas rochas definem corpos irregulares, que, embora deformados, preservam suas estruturas e relações primárias. Embora na região esses vulcanitos sejam recorrentes, ainda há necessidade de maiores estudos sobre suas caracterizações petrogenéticas, assim como naturezas, fontes e idades.

Na área estudada, afloram rochas estaterianas gnáissicas a migmatíticas da Supersuíte Juruena (corpo São Romão), metavulcanossedimentares do Grupo Roosevelt e granitos subvulcânicos da Suíte Zé do Torno. Essas rochas são intrudidas pelo expressivo magmatismo anorogênico calimiano da Suíte Serra da Providência, incluindo granitos profiríticos leucocráticos a mesocráticos, isotópicos a foliados (protomiloníticos a miloníticos). Além, de rochas máficas à ultramáficas da Suíte Cacoal. As vulcânicas são comumente associadas aos grupos Roosevelt e Colíder, ocorrentes à leste (Almeida *et al*., 2023; Kunifoshita *et al*., 2014). Porém, Bergami *et al*. (2025) apresentaram a ocorrência de rochas vulcânicas associadas ao magmatismo da Suíte Serra da Providência, na região de Espigão do Oeste, Rondônia. No presente trabalho, apresentamos novas evidências deste vulcanismo, ao comparar a assinatura geoquímica e isotópica destas rochas com os vulcanitos paleoproterozoicos presentes na área.

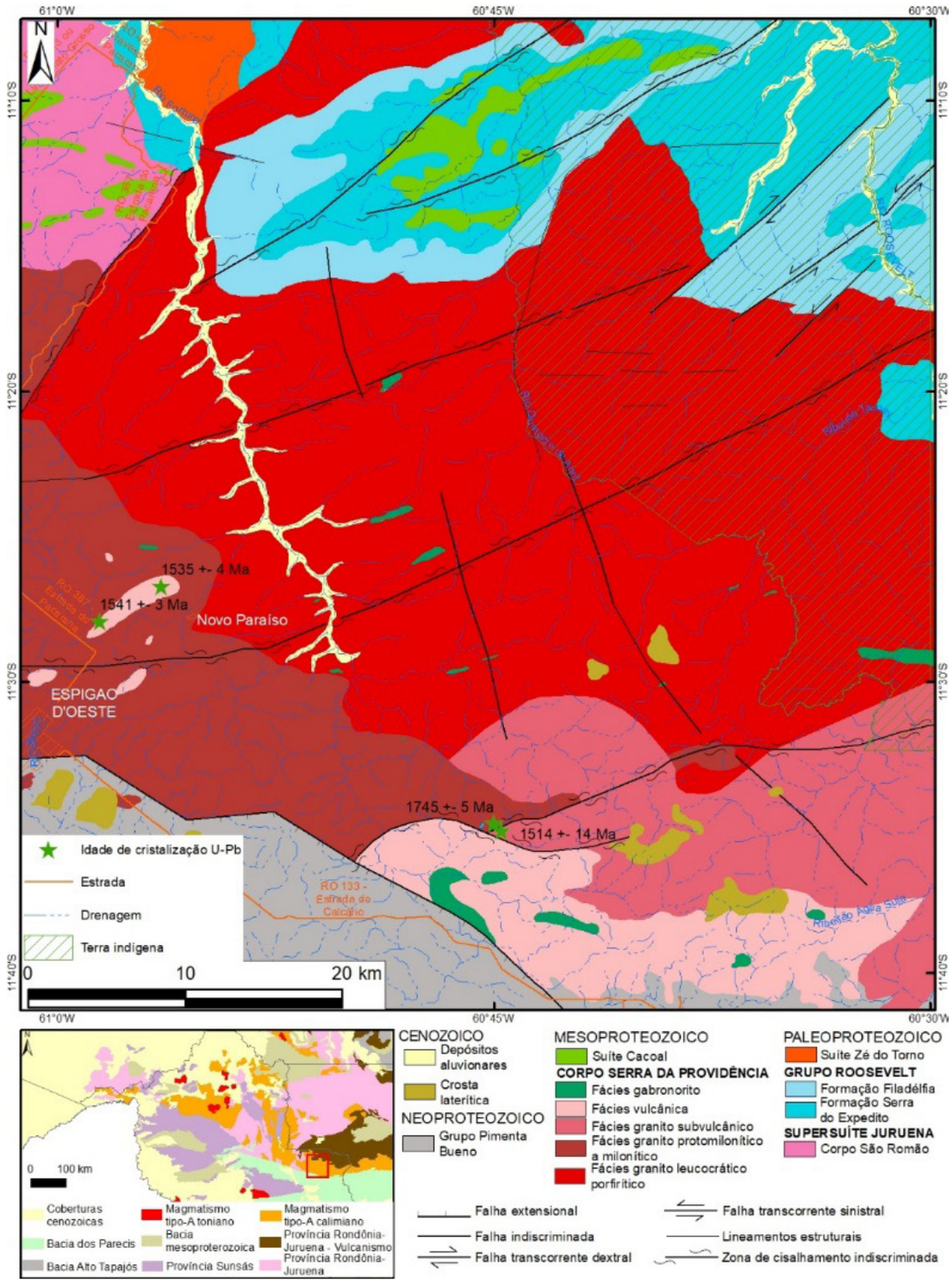


Figura 1 – Contexto geológico simplificado e localização das unidades vulcânicas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram selecionadas 39 amostras de vulcanitos, aflorantes nas proximidades de Espigão do Oeste, Rondônia, para análises de litogeoquímica, executadas pelo laboratório da SGS Geosol. Os elementos maiores foram dosados por Fluorescência de Raios-X e os menores e traços por ICP-OES, com os pacotes de referências XRF79C e ICM14B.

Três amostras foram selecionadas para geocronologia U-Pb (SHRIMP II, em zircão), as quais foram realizadas no Laboratório de Geocronologia (CPGeo) do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (USP). Os procedimentos e as rotinas utilizadas estão descritos em Kei Sato (2014). Os dados foram processados com a utilização do *software* Isoplot (Ludwig, 1999).

RESULTADOS

Litogeoquímica

As análises de litogeoquímica permitiram separar as amostras em dois grupos; sendo, 20 associadas ao Grupo A (Suíte Serra da Providência) e 19 ao Grupo B (Roosevelt/Colider). As rochas do grupo A apresentam uma composição essencialmente riolítica à álcali-riolítica, com assinaturas meta a peraluminosas, ferrroanas e álcali-cálcicas, enquanto as rochas do grupo B, variam de riolitos à andesitos com assinaturas meta à peraluminosas, ferroanas à magnesianas e álcali-cálcicas à cálcio-alcalinas (De la Roche *et al*., 1980; Frost *et al*., 2008). Elementos menores e traços normalizados para o Manto Primitivo (PM) apresentaram um mesmo padrão para ambos os grupos, com expressivo enriquecimento em elementos imóveis incompatíveis de íon grande (LILE), moderado para os de alta carga (HFSE) e expressivas anomalias negativas de Nb, Ta, Ti e P (Figura 2A). Embora, de maneira similar, os Elementos Terras Raras (ETR) normalizados ao PM apresentam um comportamento semelhante entre os grupos, delineando um padrão negativo do La ao Lu, embora mais acentuados nos ETR leves com anomalias negativas de Ce e Eu (Figura 2B), os grupos se apresentam distintos. O grupo A se apresenta mais enriquecido e fracionado em ETR, com conteúdo total médio em 610 ppm ($\mu\sum_{ETR;}$ 325 a 1760 ppm), $\mu La/Sm_N$ em 2,8, $\mu Gd/Lu_N$ em 1,5 e anomalias de Eu mais pronunciadas; média de Eu/Eu* em 0,30. O grupo B, por outro lado, apresenta conteúdos totais menores de ETR ($\mu\sum_{ETR}$: 183 ppm; 80 a 330 ppm), com valores médios de La/Sm_N e Gd/Lu_N em 3,9 e 1,7, respectivamente. Suas anomalias de Eu são menos expressivas, com média em 0,66 (Figura 2B). Diagramas de campos discriminantes agruparam as rochas dos grupos A e B em campos distintos. As do grupo A incidiram em campos específicos de rochas anorogênicas intracrustais, enquanto as do grupo B incidiram em campos transicionais de rochas de arcos vulcânicos a intraplacas (Figura 2C).

Geocronologia

Das três amostras selecionadas para geocronologia (U-Pb, SHRIMP em zircão), duas são do grupo A e uma do grupo B. As amostras do grupo A contemplaram, respectivamente, riolito microporfirítico, e rocha vulcanoclástica (ignimbrito) de matriz riolítica portfirítica, cujas análises de centros de grãos de zircões prismáticos e zonados forneceram idades concórdias em 1535 ± 4 Ma (CE-159) e 1541 ± 4 Ma (PP-155) (Figuras 2E e F). Essas idades estão em acordo com a idade U-Pb em zircão de 1514 +- 14 Ma, apresentada por Bergami *et al*. (2025), obtida para um riolito, localizado na mesma área. Do grupo 2 foi analisado núcleo de grãos zonados de zircão de um riolito foliado (PP-18C), os quais forneceram uma idade concórdia em 1745 ± 5 (Figura 2F).

DISCUSSÕES

Os dados obtidos para as rochas vulcanogênicas – vulcânicas e vulcanoclásticas, da porção centro-ocidental da província Rondônia-Juruena (PRJ), sugerem vulcanismo diacrônico, no mesoproterozoico (1,53-1,54 Ga) e estateriano (1,75 Ga), derivados de uma fonte magmática quimicamente semelhante, diante da similaridade apresentada pelos padrões de seus elementos traços e menores normalizados (Figuras 2A e B).

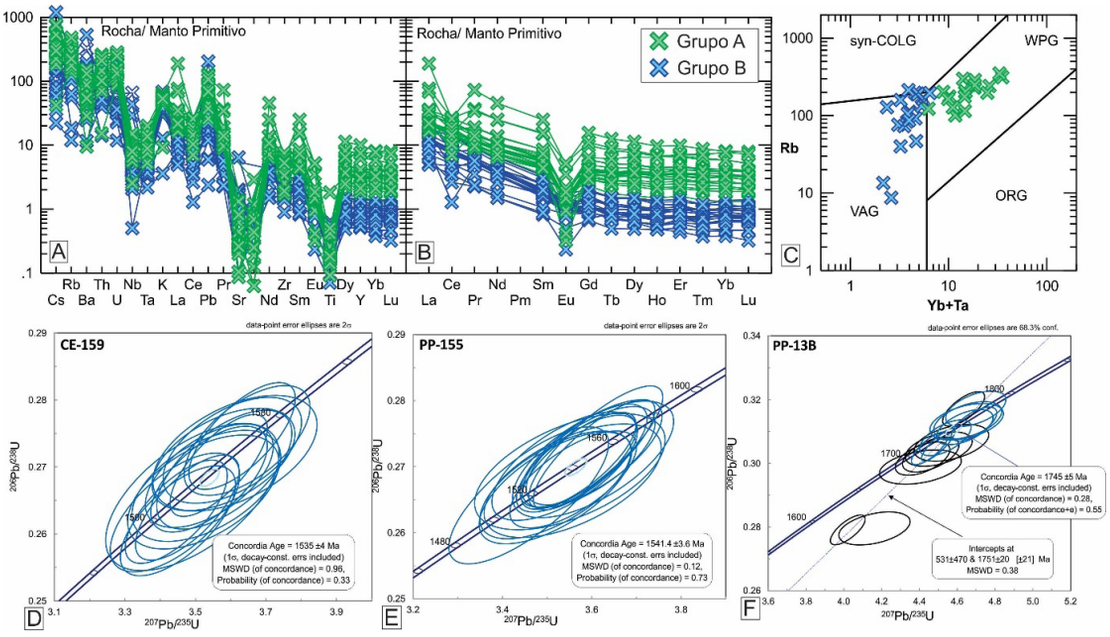


Figura 2 – Diagramas químicos dos vulcanitos analisados do grupo A e B: A) Elementos menores e traços normalizados para o Manto Primitivo (McDonough e Sun, 1995); B) Elementos Terras Raras normalizados para o Manto Primitivo (McDonough e Sun, 1995); C) Rb - Yb+Ta (Pearce *et al*., 1984); Diagramas com as idades de concórdia (U-Pb, SHRIMP, em zircão) de: D) Riolito porfirítico (CE-159); E) Riolito porfirítico (PP-155); e, F) Riolito foliado (PP-13B).

O Grupo B apresenta semelhanças químicas e uma cronocorrelação com rochas vulcânicas e vulcanogênicas da porção central da PRJ, agrupadas nos grupos Colider e/ou Roosevelt (Santos *et al*., 2019; Almeida *et al*., 2023; Funikoshita *et al*., 2024). A esse Grupo é admitido um magmatismo com fonte mantélica intraplaca, metassomatizada, com atividade magmática entre 1,84 e 1,74 Ga (Funikoshita *et al*., 2024). Ainda, representaria a parte vulcânica de uma de uma extensa província magmática (Rizzoto *et al*., 2019; Almeida *et al*., 2023). As rochas do Grupo B, com idade obtida em ca de 1,53 a 1,54 Ga e assinatura intraplaca, sugerem representantes vulcânicos de um importante período de magmatismo anorogênico mesoproterozoico, expresso pela Suite Serra da Providência (1,60 a 1,51 Ga; Scandolara *et al*., 2013), no sudoeste do Cráton Amazônico. As suas assinaturas químicas e padrões enriquecidos e fracionados, com expressiva anomalia de Eu, em relação as rochas do grupo B, permitem admitir, por ora, que ou essas rochas representem membros mais evoluídos de uma suíte fracionada/diferenciada, com seus membros primitivos ainda não identificados e se assemelham as rochas do grupo B, ou representam os líquidos extraídos de uma fonte rejuvenescida, ou mesmo, metassomatizada, após a extração das rochas do grupo B, cuja identidade química permaneceu preservada. Portanto, os dados apresentados sugerem atividades magmáticas

anorogênicas, com extração e metassomatismo em coluna mantélica comum, com geração de vulcanitos no estateriano e no caliminiano, revelando novos elementos para o entendimento da evolução proterozoica no sudoeste do supercontinente Colúmbia.

CONCLUSÕES

Os dados obtidos revelaram a existência de dois eventos vulcanogênicos associados a atividade magmáticas anorogênicas na porção centro-ocidental da Província Rondônia-Juruena (PRJ), sudoeste do craton Amazônico: um estateriano, abrangendo riolitos à andesitos com assinaturas meta à peroaluminosas, ferroanas à magnesianas e álcali-cálcicas à cálcio-alcalinas com idade de metarriolito em 1745 ± 5 Ma e associados a continuidade ocidental de uma extensa província ígnea estateriana; o outro evento é, essencialmente riolítico à álcali-riolítico, com assinaturas meta a peroaluminosas, ferrroanas e álcali-cálcicas. Amostras desse grupo forneceram idades em 1535 ± 4 Ma e 1541 ± 4 Ma, revelando os componentes vulcânicos, até então não identificados, da Suíte Serra da Providência, a expressão máxima de um magmatismo anorogênico mesoproterozoico do sudoeste do cráton amazônico.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Serviço Geológico do Brasil, no âmbito do Projeto Geologia e Recursos Minerais do Centro-Leste de Rondônia, pelos recursos e apoio na execução do trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, B. S., Sommer, C. A., Chemale, F., Paes de Barros, A. J., Geraldes, M. C. (2023). The 1800-1770 Ma Colider silicic large igneous province in the Amazonian craton: crustal evolution using zircon in situ REE compositions, U-Pb ages and Hf isotope analyses. *International Geology Review*,65(4), 546-562.

Bergami, G.N., Silva, D.R.V., Pinheiro, M.A.P., Provenzano, C.A.S., Oliveira, C.E.S. (2025). Rochas vulcânicas da Suíte Serra da Providência associadas a mineralizações de manganês, estanho, cobre, ouro e ETR, leste de Rondônia. IX Simpósio de Vulcanismo e ambientes associados. GEOMINE 2025. Foz do Iguaçu/PR.

De la Roche, H.D., Leterrier, J.T., Grandclaude, P., Marchal, M. (1980). A classification of volcanic and plutonic rocks using R1R2-diagram and major-element analyses—its relationships with current nomenclature. *Chemical geology*, 29(1-4), 183-210.

Frost, C.D., Frost, B.R. (2011). On ferroan (A-type) granitoids: their compositional variability and modes of origin. *Journal of petrology*, 52(1), 39-53.

Kunifoshita, A.M.U., dos Santos, F.H., Mesquita, M.J. (2024). The Colíder Paleoproterozoic felsic volcanism: New insights into stratigraphy and petrogenesis in the southern Amazonian Craton. *Geoscience Frontiers*, 15(2), 101722.

Ludwig K.R. (1999). User's Manual for Isoplot/Ex version 2.05, A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center, Special Publication. (1a) 48p.

McDonough, W.F., Sun, S.S. (1995). The composition of the Earth. Chemical geology, 120(3-4), 223-253.

Pearce, J.A., Harris, N.B., Tindle, A.G. (1984). Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. Journal of petrology, 25(4), 956-983.

Rizzotto, G.J., Alves, C.L., Rios, F.S., Barros, M.A. D.S.A. (2019). The Western amazonia igneous belt. *Journal of South American Earth Sciences*, 96, 102326.

Santos, F.S., Pierosan, R., Barros, M.A.D.S.A., Geraldes, M.C., Lima, M. F. (2019). Petrology of the Colíder Group volcanic successions in the northernmost Mato Grosso, Brazil: A contribution to the knowledge of the felsic volcanism of the Alta Floresta Gold Province. *Journal of South American Earth Sciences*, *89*, 10-29.

Scandolara, J.E., Fuck, R.A., Dall'Agnol, R., Dantas, E.L. (2013). Geochemistry and origin of the early Mesoproterozoic mangeriteecharnockitee

rapakivi granite association of the Serra da Providência suite and associated gabbros, central-eastern Rondônia, SW Amazonian Craton, Brazil. Journal of South American Earth Sciences 45 (2013) 166-193.

Sato, K., Tassinari, C.C.G., Basei, M.A.S., Júnior, O.S., Onoe, A.T., Souza, M. D. (2014). Microssonda Iônica de Alta Resolução e de Alta Sensibilidade (SHRIMP IIe/MC) do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, Brasil: método analítico e primeiros resultados.*Geologia USP. Série Científica*, *14*(3), 3-18.

PETROGRAFIA E LITOGEOQUÍMICA DA SUÍTE RIO URUBU NA REGIÃO DA SERRA DA LUA, RORAIMA

Brenda de Andrade Feitosa [1, 2]; Mayara Fraeda Teixeira[3]; Túlio Amós de Araújo Mendes [2]; Bruna Yumi Iimori Macêdo[1, 2]; Antonio Charles da Silva Oliveira [2]; Leonardo Aguiar[2]; Michele Zorzetti Pitarello[2]

[1]Universidade Federal Rural do Rio De Janeiro - UFRRJ; [2]Serviço Geológico de Brasil - SGB; [3]Universidade Federal do Amazonas - UFAM

brenddandrad@gmail.com; mayarafraeda@ufam.edu.br; tulio.mendes@sgb.gov.br; yumi_iimori@hotmail.com; charles.oliveira@sgb.gov.br; leonardo.aguiar@sgb.gov.br; michele.pitarello@sgb.gov.br

RESUMO

O Orógeno Akawai, situado no centro do Escudo das Guianas, é formado por sistemas de arcos e cinturões paleoproterozoicos, dentre os quais destaca-se o Cinturão Rio Urubu (CRU). A Suíte Rio Urubu (SRU), principal unidade que compõe o CRU, na área de estudo, foi subdividida em três fácies: Vilhena (FV), Igarapé do Fogo (FIF) e Felix Pinto (FFP). São metagranitos a ortognaisses, deformados por zonas de cisalhamento sinistrais NE-SW. A FV é marcada por *augen* gnaisses com porfiroclastos de K-feldspato e foliação milonítica. A FIF reúne metagranitos e migmatitos leucocráticos com textura inequigranular e foliação incipiente. A FFP é hololeucrática, de coloração rosada, textura média a grossa, raramente apresentando fenocristais. A partir da classificação geoquímica, a SRU abrange sienogranitos, monzogranitos e granodioritos, além de enclaves máficos de composição gabroica. A FV e FIF são alcalinas, metaluminosas a subordinadamente peraluminosas, enquanto a FFP é calcioalcalina fortemente fracionada e peraluminosa. No diagrama geotectônico, as amostras se distribuem entre os campos de granitos tipo-A, *slab failure* e arco. Os enclaves máficos se associam a ambiente de arco. Os dados sugerem que as fácies Vilhena e Igarapé do Fogo podem ter evoluído por cristalização fracionada, e que a fácies Felix Pinto representa um magmatismo com evolução distinta.

PALAVRAS-CHAVE: *Augen* gnaisse; análise geoquímica; zonas de cisalhamento; anomalia de Eu.

INTRODUÇÃO

Segundo Fraga *et al.* (2024) o Orógeno Akawai, situado na porção central do Escudo das Guianas, é constituído pelo sistema de arcos Trairão-Anauá (2,04-2,03 Ga) e os cinturões Cauarane-Coeroeni (2,02-2,00 Ga), Orocaima (1,99-1,96 Ga) e Rio Urubu (1,96-1,92 Ga). O Cinturão Rio Urubu (CRU), definido por Fraga *et al.* (2017), corresponde metagranitoides e ortognaisses calcioalcalinos e granitos tipo-A (e.g. Suíte Igarapé Miracelha; Lopes *et al*., 2021), associados a um magmatismo pós-colisional. Enquanto Fraga *et al*. (2024) admite idades de cristalização para os ortognaisses de 1,96 -1,92 Ga, Scalabrin *et al*. (2025) admite idades de ~2.0 Ga para metatexitos do CRU.

O CRU foi afetado pelo Orógeno Intracontinental K'Mudku no Mesoproterozoico (1,45-1,10 Ga; Santos *et al*., 2006), que causou a milonitização em baixa a moderada temperatura (Fraga *et al*., 2009).

A Suíte Rio Urubu (SRU) que integra o Cinturão homônimo, foco deste trabalho, foi definida por Fraga *et al*. (1999) para englobar os ortognaisses aflorantes no Rio Urubu, sendo caracterizada por biotita-(hornblenda) gnaisses e leucognaisses subordinados. Lopes *et al*. (2021) subdividiu essa unidade em fácies e, com base nessa classificação, na área de estudo foram identificadas as fácies Vilhena (FV), Igarapé do Fogo (FIF) e Felix Pinto (FFP).

Este trabalho tem como objetivo apresentar os dados recém obtidos em um mapeamento na região da Serra da Lua, no leste de Roraima. Foram reunidos dados de campo, petrográficos e geoquímicos com objetivo de caracterizar as rochas da Suíte Rio Urubu na área de estudo.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo fica localizada no centro-leste de Roraima, fronteira com a Guiana, e engloba as folhas Manoá-Pium, Fazenda Waterloo, Serra do Murupu e Serra da Lua (Fig. 1). Os dados foram obtidos a partir de mapeamento na escala de 1:100.000 realizado pelo Serviço Geológico do Brasil no Projeto Serra da Lua. A área apresenta 181 estações da SRU, 57 seções delgadas e 32 análises geoquímicas.

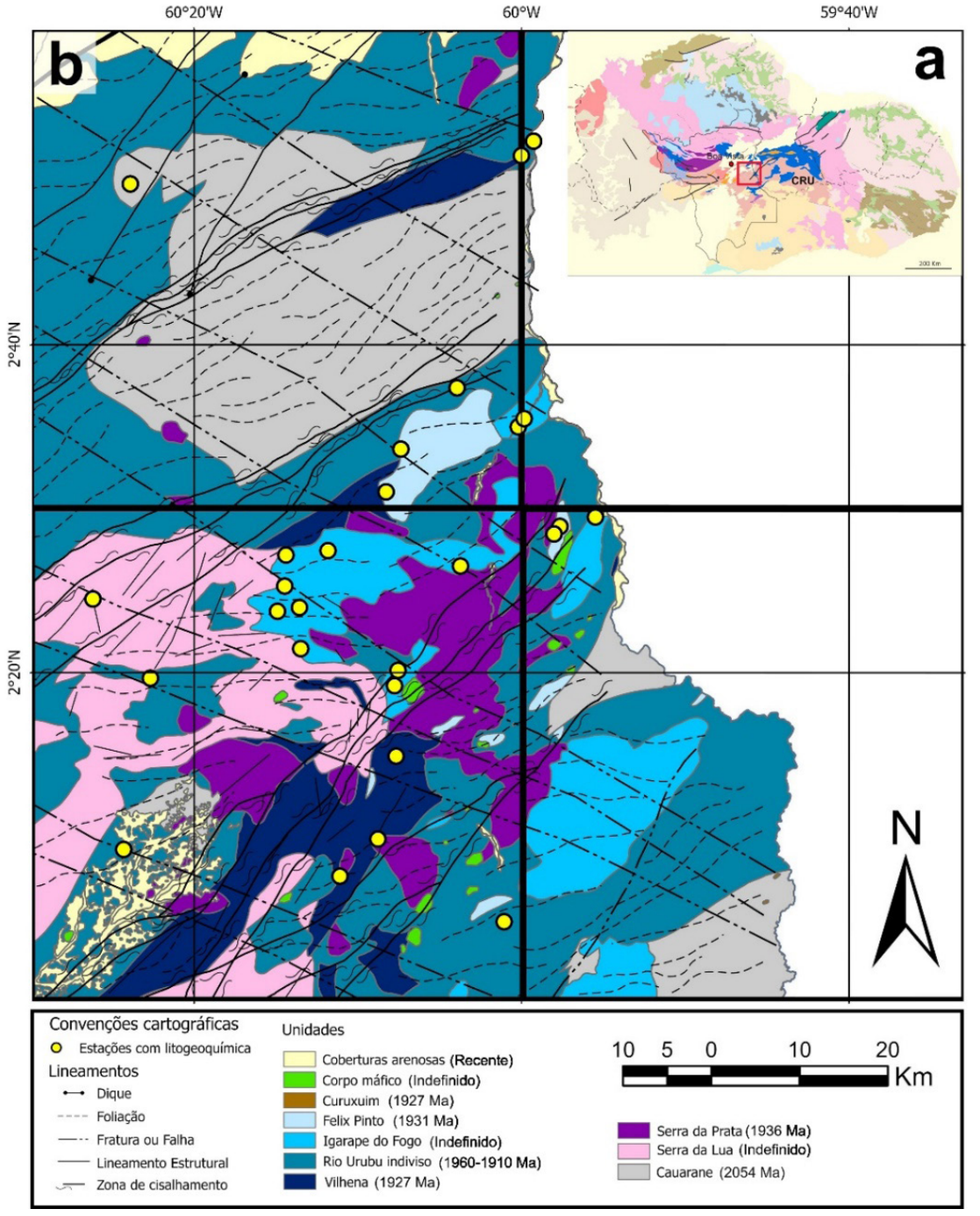


Figura 1 – a) Modelo geotectônico de Fraga *et al.* (2024) com destaque para a área de estudo e para o CRU; b) Mapa geológico preliminar simplificado com as estações com litogeoquímica utilizadas neste trabalho.

RESULTADOS

Aspectos de campo e petrográficos

As rochas da SRU afloram como lajedos e matacões, e predominam biotita-(hornblenda) ortognaisses de composição granítica. Apresentam variação textural e no grau de deformação, relacionada a zonas de cisalhamento sinistrais de direção NE-SW que cortam boa parte da área. As FV e FIF apresentam enclaves máficos.

A FV é composta por *augen* gnaisses (Fig. 2a) e metagranitos, com porfiroclastos de K-feldspato (Kfs; 10 – 30%) com dimensões de 2 – 10 cm, leucocrática (25 – 30% de máficos). Apresentam várias feições de deformação, predominando a foliação milonítica. São descritos porfiroclastos dobrados e estirados, além de indícios de fusão parcial. Em seção delgada apresentam Kfs, quartzo (Qz), plagioclásio (Pl), biotita (Bt) e anfibólio (Anf), além de allanita (Aln), titanita (Ttn), epidoto (Ep), apatita (Ap), opacos (Opq) e zircão (Zrn).

A FIF é composta por metagranitos (Fig. 2b), gnaisses e migmatitos. São rochas leucocráticas (10 – 20% de máficos), textura inequigranular média a grossa, com fenocristais de Kfs de 1 a 2 cm (50 – 60%) e foliação incipiente nas rochas menos deformadas. Microscopicamente apresenta Pl, Kfs, Qz, Anf e Bt. Além disso, ocorre Ttn, Opq, Ep, Ap, Aln e Zrn.

A FFP reúne rochas hololeucráticas (4 – 10% de máficos), de coloração rosada (Fig. 2c), textura equigranular a inequigranular média a grossa, raramente apresentando fenocristais de Kfs. Em seção delgada é composta por Kfs, Qz e Pl. A Bt é o máfico principal (2 – 5%). Os acessórios são Opq, Zrn e Ap. Os traços são muscovita (secundária), Aln e Ep.

Os enclaves máficos ocorrem nas FV e FIF como corpos isolados boudinados ou como diques em chamas apresentando contatos interdigitados e fenocristais assimilados da encaixante. São metagabros a anfibolitos mesocráticos (cerca de 60% de máficos), com textura equigranular média e foliação bem desenvolvida. Em seção delgada apresentam mineralogia principal dada por Anf, Pl e, por vezes, Bt. Ep, Ttn e Opq como acessórios. Ap é o principal traço.

Em relação às microestruturas, as principais encontradas correspondem a *bulging*, rotação de subgrão, por vezes migração de bordas de grão e textura poligonal, caracterizando deformação milonítica de baixa a média temperatura.

Figura 2 – Fotografias das fácies da SRU: a) *Augen* gnaisse da FV com fenocristais de Kfs fortemente estirados em uma foliação milonítica; b) FIF com textura inequigranular e concentração de fenocristais; c) Leucognaisses da FFP com forte estiramento mineral.

Litogeoquímica

A SRU apresenta sienogranitos, monzogranitos a raros granodioritos. Os enclaves máficos possuem composições gabroicas (Fig. 3a). As FV e FIF são alcalicálcicas a calcioalcalinas (Fig. 3b), ferroanas a magnesianas (Fig. 3c), metaluminosas, e subordinadamente peraluminosas (Fig. 3d). A FFP tem afinidade calcioalcalina fortemente fra-

cionada (Fig. 3b e 3e), ferroana (Fig. 3c) e peraluminosa (Fig. 3d). Os enclaves máficos são calcioalcalinos (Fig. 3b), magnegianos (Fig. 3c) e metaluminosos (Fig. 3d).

No diagrama Sr/Ba *versus* Rb/Sr (Fig. 4a) estas fácies não apresentam *trend* bem definido, e as fácies FIF e FFP apresentam um *gap* composicional da razão Rb/Sr. No diagrama Yb *versus* Sr/Y a FIF é mais enriquecida em Yb, e empobrecida na razão Sr/Y (Fig. 4b). Já a FFP é empobrecida em Yb e na razão Sr/Y (Fig. 4b). No diagrama geotectônico de Whalen e Hildebrand (2019), as amostras caem na intersecção de granitos tipo-A, arco e *slab failure* (Fig. 4c), com as rochas da FFP plotando majoritariamente no campo de *slab failure*, enquanto que as FIF e FV plotam majoritariamente no campo tipo-A. Os enclaves máficos possuem alta razão Sr/Ba, e Sr/Y e plotam no campo geotectônico de arco.

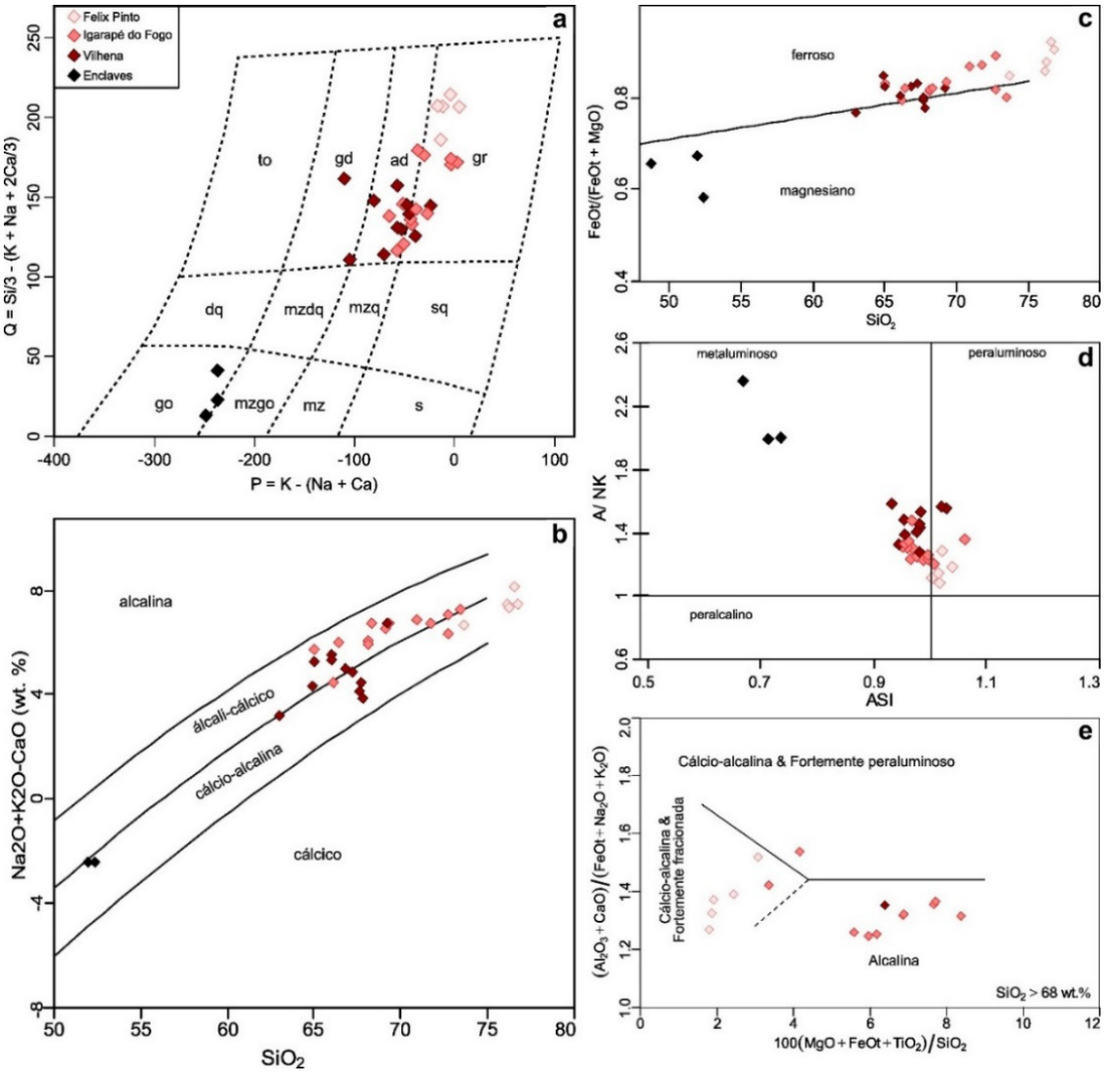


Figura 3 – a) Diagrama de classificação P-Q de Debon e Lefort (1983). As siglas correspondem a: go – gabro, mzgo – monzogabro, mz – monzonito, s – sienito, dq – quartzo diorito, mzdq – quartzo monzodiorito, mzq – quartzo monzonito, sq – quartzo sienito, to – tonalito, gd – granodiorito, ad – adamelito e gr – granito; b) SiO_2 *versus* MALI (=) de Frost e Frost (2008); c) Diagrama SiO_2 vs $FeO_t/(FeO_t+MgO)$; d) Diagrama A/CNK *versus* A/NK de Shand (1943) e; e) Diagrama de definições de séries magmáticas de Sylvester (1989).

DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

As composições químicas dos ortognaisses estudados discriminam pelo menos duas séries magmáticas: A FFP corresponde a rochas calcioalcalinas fortemente fracionadas, ferroanas e peraluminosas. As FIF e FV, são rochas alcalinas, ferroanas a subordinadamente magnesianas, e metaluminosas. Essas rochas apresentam forte anomalia negativa de Eu (Fig. 4d), sugerindo que o feldspato teve um papel importante na fonte desse magmatismo, e variáveis razões La/Yb. A FFP tem alta razão La/Yb variando entre 0,89 e 3,50, enquanto as FIF e FV tem razões moderadas, entre 0,83 e 2,52. Esse dados sugerem as FIF e FV podem ter origem similar e estarem relacionadas por cristalização fracionada. Já a FFP, deve se tratar de um magmatismo com evolução diferente. Enquanto os dados geoquímicos dos enclaves máficos corroboram para uma origem e fonte distinta dos gnaisses. Contudo, os dados apresentados são preliminares e necessitam de análise mais detalhada acerca da composição química dessas rochas, e interpretações petrogenéticas mais consistentes.

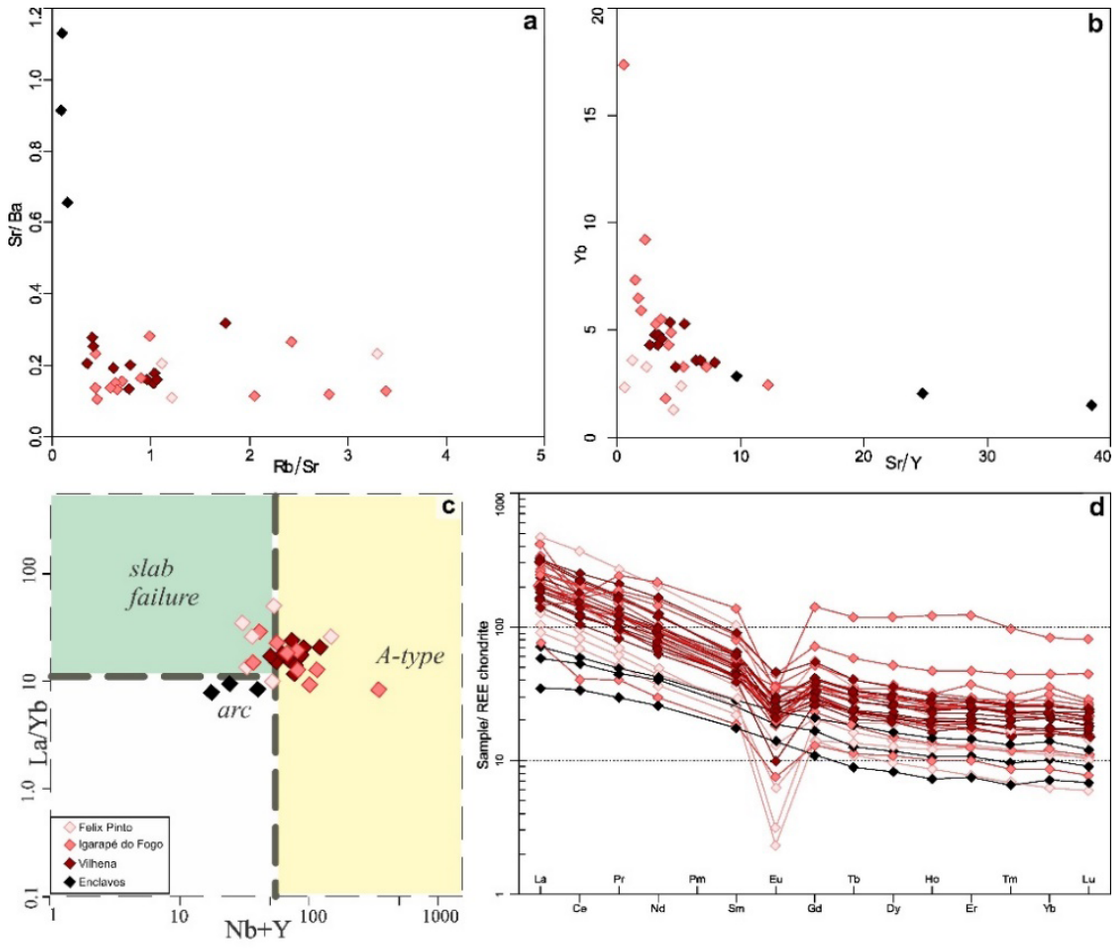


Figura 4 – a) Diagrama da razão Sr/Ba *vs* Rb/Sr e; b) Yb *vs* Sr/Y; c) Diagrama de classificação geotectônica de Whalen & Hildebrand (2019); d) Diagrama de ETR's normalizado em Boynton (1984).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Debon, F.; Le Fort, P. A chemical–mineralogical classification of common plutonic rocks and associations. Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh, v. 73, n. 3, p. 135-149, 1983.

Fraga, L. M. B. *et al*. 1.94-1.93 Ga charnockitic magmatism from the central part of the Guiana Shield, Roraima, Brazil: single zircon evaporation data and tectonic implications. Journal of South American Earth Sciences, v. 27, p. 247-257, 2009.

Fraga, L. M. B. *et al*. U–Pb SHRIMP: new data on the high-grade supracrustal rocks of the Cauarane–Coeroeni Belt – insights on the tectonic Eo-Orosirian evolution of the Guiana Shield. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 15., 2017, Belém. Anais. Belém: SBG, 2017b. p. 486-491.

Fraga, L. M. B.; Araújo, R. V.; Haddad, R. C. Suíte Metamórfica Rio Urubu. In: CPRM – Serviço Geológico Do Brasil (org.). Roraima Central. Estado de Roraima. Escala 1:500.000. Brasília: CPRM, 1999.

Frost, B. R.; Frost, C. D. A geochemical classification for feldspathic igneous rocks. Journal of Petrology, v. 49, n. 11, p. 1955-1969, 2008.

Lopes, P. R. S. *et al*. Mapa geológico do Centro-Sudeste de Roraima. Manaus: SBG-CPRM, 2021. 1 mapa. Escala 1:500.000. Projeto Centro-Sudeste de Roraima. Ação Levantamento Geológico e de Potencial Mineral de Novas Fronteiras. Programa Geologia, Mineração e Transformação Mineral.

Scalabrin, M.; De Lima Muniz, R.; Dos Santos, T. J. S. Zircon, monazite and titanite U-Pb geochronology revealing Orosirian metamorphic events within the Guiana Shield, Amazonian Craton. Precambrian Research, v. 422, p. 107766, 2025.

Shand, S. J. Eruptive rocks: their genesis, composition, classification, and their relation to ore-deposits with a chapter on meteorites. London: Thomas Murby & Co., 1943. 444 p.

Whalen, J. B.; Hildebrand, R. S. Trace element discrimination of arc, slab failure, and A-type granitic rocks. Lithos, v. 348, p. 105179, 2019.

PETROGRAFIA DO GRANITO SANT'ANA, NOROESTE DO DOMÍNIO BACAJÁ, SUL DE URUARÁ-PA

Alessandra Lorena Barbosa da Silva[1] Rodrigo Fabiano Silva Santos[2]; Williamy Queiroz Felix[3]

[1]Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA

lorenacobain15@gmail.com; rfssantos@ufpa.br; williamy.felix@ufopa.edu.br

RESUMO

O Granodiorito Sant'Ana (GrdSa) está localizado ao sul do município de Uruará, região oeste do estado do Pará. Geologicamente está inserido na porção noroeste do Domínio Bacajá, Província Transamazonas, no Cráton Amazônico. O GrdSa é um batólito de aproximadamente 120 km², aflorando em blocos que atingem até 4 m de altura. Suas rochas variam de levemente foliadas a isotrópicas, apresentando colorações rosadas e acinzentadas, holocristalinas, de textura fanerítica inequigranular grossa a média, leucocráticas a hololeucocráticas, índice de máficos (M') variando de 4,2% a 26,1%. Os granitoides incluem biotita monzogranito, biotita sienogranito, biotita granodiorito e biotita tonalito. A biotita é o único mineral ferromagnesiano varietal presente, enquanto os minerais acessórios incluem titanita, opacos, allanita, apatita, muscovita e zircão. Os produtos de alteração são clorita, epidoto, sericita e argilominerais. No litotipo biotita granodiorito, foram identificados xenólitos angulosos, hospedados aleatoriamente, classificados como anfibólio quartzo sienito, com textura cumulática, composto predominantemente por cristais grossos de anfibólio. No GrdSa, é possível identificar, em microescala, feições como extinção ondulante e formação de subgrãos em cristais de quartzo. Além disso, o GrdSa apresenta muitas feições ígneas preservadas.

PALAVRAS-CHAVE: Granodiorito Sant'Ana; Petrografia; Domínio Bacajá; Uruará.

INTRODUÇÃO

O presente trabalho apresenta dados petrográficos do Granodiorito Sant'Ana (GrdSa), aflorante no noroeste do Domínio Bacajá da Província Transamazonas, porção oriental do Cráton Amazônico. Embora tradicionalmente classificado como granodiorito (Vasquez e Rosa-Costa, 2008; Vieira *et al*., 2022), observações de campo e análises petrográficas recentes indicam predominância de litotipos graníticos, como monzogranitos e sienogranitos. Vieira *et al*. (2022) propuseram que o GrdSa se originou por fusão

parcial de rochas intermediárias da crosta inferior, em ambiente de arco continental. No entanto, a presença de muscovita primária, estruturas ígneas preservadas e ausência de anfibólio nas amostras analisadas neste estudo levantam questionamentos sobre essa interpretação. Assim, este trabalho busca caracterizar as fácies graníticas e xenólitos do GrdSa, interpretar suas microestruturas e discutir sua gênese e contexto tectônico à luz do magmatismo orogênico do Ciclo Transamazônico.

MATERIAL E MÉTODOS

As amostras foram coletadas durante atividades de campo da disciplina Geologia de Campo – Mapeamento II (UFOPA), realizadas nos anos de 2021, 2022 e 2024. O mapa geológico foi feito em escala de semidetalhe, elaborado no software QGIS 3.28.9. As lâminas foram confeccionadas no Laboratório de Laminação da Universidade Federal do Pará (UFPA) e estavam disponíveis no acervo da UFOPA, além dos dados compilados de Santos Filho (2017) e Vieira *et al*. (2022). Para análise e descrição das lâminas delgadas, utilizou-se o microscópio petrográfico de luz transmitida *Leica DM750P*, realizadas no Laboratório de Mineralogia da UFOPA. A composição modal foi estimada de forma semiquantitativa (visada). As rochas foram classificadas com base nas normas estabelecidas pela IUGS (*International Union of Geological Sciences*), conforme estabelecido por Le Maitre (2002).

RESULTADOS

O GrdSa ocorre como um batólito de forma subcircular alongada na direção NW-SE, área aflorante de aproximadamente 120 km², intrusivo nas rochas metamórficas do Complexo São José. (Fig. 1b). Em campo, os afloramentos ocorrem como blocos rolados de tamanhos centimétricos a métricos, com dimensões de até 4 m.

As fácies que constituem o GrdSa são essencialmente biotita sienogranito e biotita monzogranito (Fig. 2a), e subordinadamente biotita granodiorito e biotita tonalito. São rochas holocristalinas, inequigranulares médias a grossas, leucocráticas, cujos índices de cor M' variam de 4,2 a 26,1% (Tabela 1) com características ígneas relativamente bem preservadas. Variam de levemente foliados, como o monzogranito (Fig. 2b), a isotrópicos, como o monzogranito isotrópico (Fig. 2c). As cores variam de cinza (Fig. 2b,d) a rosa (Fig. 2c). Não foi possível em campo observar gradações ou contatos entre as fácies. O que diferencia as fácies é a variação do conteúdo de feldspatos e quartzo e algumas características deformacionais. Enquanto na fácies sienogranítica pode exibir localmente foliação protomilonítica, podem ser observadas feições isotrópicas (Fig. 2d). Localmente são encontrados xenólitos máficos e angulosos (Fig. 2e). Eles corres-

pondem a rochas cumuláticas, representadas por quartzo sienito com textura cumulática, cujos cristais de anfibólio, de cor verde escuro, variam de 0,5 mm a 1 cm. (Fig. 2e). O índice de cor (M′) é elevado, atingindo 78,5%, o que evidencia seu caráter marcadamente máfico.

Microscopicamente o GdrSa apresenta predominantemente textura inequigranular alotriomórfica foliada dada pela orientação dos finos cristais de biotita e quartzo que bordejam cristais de plagioclásio e álcali-feldspato (Fig. 2f). Localmente, exibe biotitas com formas sigmoidais (Mica *fish*; Fig. 2g). Biotita é o mineral varietal presente em todas as fácies, por vezes acompanhada de muscovita, enquanto os acessórios são titanita, opacos, epidoto, allanita, apatita e zircão. Já as fases secundárias são clorita, sericita e argilominerais. O xenólito de anfibólio quartzo sienito exibe, microscopicamente, textura cumulática, cristais de anfibólio subédricos a anédricos, geralmente prismáticos, tabulares e hexagonais, variando de 0,5 mm a 1 cm (Fig. 2h). É possível observar, com frequência, sua associação com epidoto e titanita, que, por ocorrerem com hábito granular e, por vezes, nas fraturas ou clivagens, são possivelmente fases secundárias (Fig. 2h).

Tabela 1 - Análises modais semi-quantitativas do Granodiorito Sant'Ana e xenólito.

Litotipo	**Granodiorito Sant'Ana**										**Xenólito**
Fácies	**Biotita sienogranito**		**Biotita monzogranito**			**Biotita granodiorito**				**Biotita tonalito**	**Horblenda quartzo sienito**
Amostra	**CII-2021-EQ2-P16A**	**FCF-02**	**CII-2021-EQ2-P13**	**CVM-07**	**CVM-21**	**CVM-25**	**CVM-07**	**CVM-16**	**FCF-06**	**CVM-22**	**CII-2021-EQ1-P06A**
Quartzo	20,08	31,00	27,68	30,00	34,00	35,00	28,16	31,86	30,00	29,00	3,10
Plagioclásio	9,32	16,00	26,67	26,00	26,00	38,00	48,10	35,56	35,00	43,00	3,90
Álcali-feldspato	53,37	49,00	28,83	39,00	35,00	20,00	16,61	18,34	14,00	—	14,45
Biotita	15,31	2,66	15,54	4,00	4,00	6,00	5,90	10,01	11,00	24,00	—
Hornblenda	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	64,95
Allanita	0,30	—	—	—	—	—	—	1,40	—	—	—
Epidoto	0,10	—	Tr	—	—	0,05	—	—	4,00	0,20	13,6
Zircão	Tr	—	Tr	—	—	0,11	—	—	0,10	0,10	Tr
Titanita	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,00	Tr
Opacos	—	0,11	0,51	0,20	0,40	0,05	0,25	0,93	4,00	1,00	Tr
Apatita	—	—	—	—	—	0,11	—	0,35	0,40	0,80	—
Muscovita	1,50	0,11	0,75	—	0,20	—	0,49	—	—	0,10	—
Recalculado para 100%											
Quartzo	24,26	32,29	33,28	31,58	35,79	37,63	30,32	37,15	37,97	40,28	14,45
Álcali-feldspato	64,48	51,04	34,66	41,05	36,84	21,51	17,89	21,39	17,72	0,00	67,37
Plagioclásio	11,26	16,67	32,06	27,37	27,37	40,86	51,79	41,46	44,30	59,72	18,18

Abreviações: Tr - Mineral traço com <0,1%; (—) Mineral ausente.

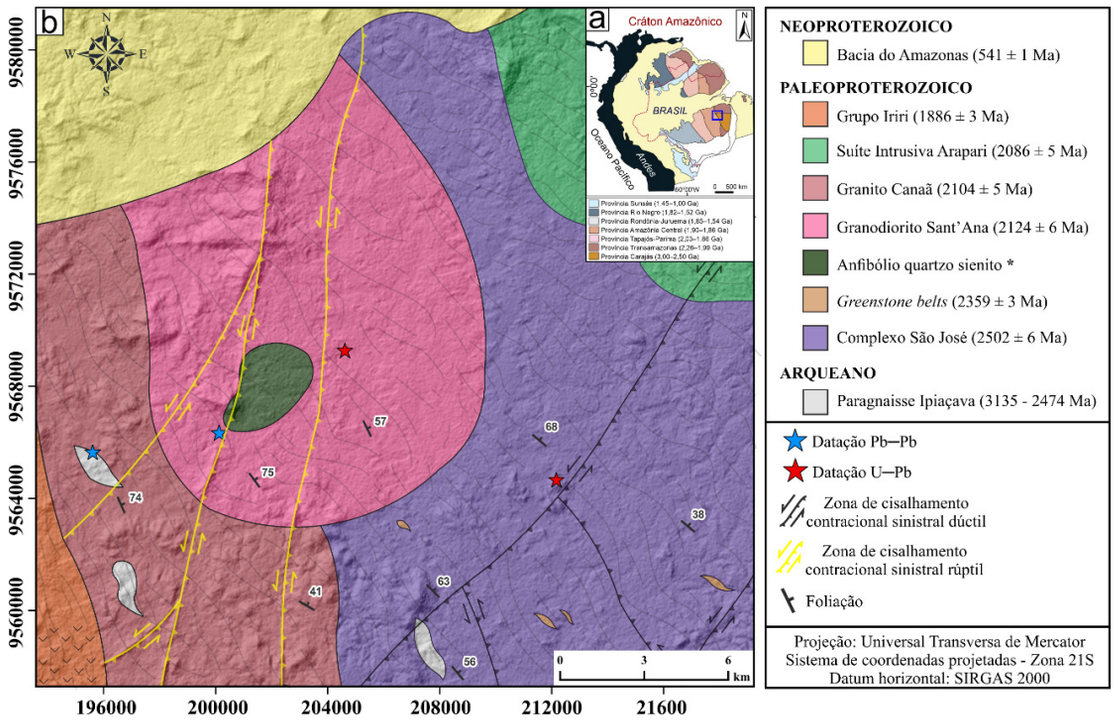


Figura 1 – Mapa geológico do Granodiorito Sant'Ana. **Fonte**: Silva (2025). Idades de acordo com Vasquez e Rosa-Costa (2008); (*) Idade inferida. Datações: Pb-Pb (Vasquez, 2006); U-Pb (Vieira *et al.,* 2022).

DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Embora seja classificado como granodiorito (Vasquez e Rosa-Costa, 2008; Vieira *et al*., 2022), o GrdSa é formado principalmente por monzo- e sienogranitos. Portanto, propomos que o Granodiorito Sant'Ana seja redefinido como Granito Sant'Ana.

A ausência de contatos ou transições graduais entre os diferentes granitoides do GrdSa pode indicar que esses litotipos não representam uma evolução contínua por cristalização fracionada a partir de um mesmo magma.

No litotipo biotita granodiorito, foram identificados xenólitos angulosos, hospedados de forma aleatória, classificados como um anfibólio quartzo sienito, com textura cumulática. A ausência de anfibólio em todas as variedades graníticas do GrdSa, sugere que esse mineral não esteve envolvido na cristalização primária do Granodiorito Sant'Ana. Além disso, a morfologia angulosa dos xenólitos e a ausência de feições de mistura de magmas sugerem que essas rochas não se formaram *in situ* na câmara magmática do GrdSa.

Vieira *et al*. (2022) sugeriram que o GrdSa foi gerado pela fusão parcial de rochas intermediárias da crosta continental inferior. As análises petrográficas deste trabalho, indicam a presença de muscovita primária no GrdSa. Essa característica pode indicar assimilação de rochas metassedimentares crustais durante sua ascensão, reforçando a ideia de uma origem predominantemente crustal, o que é comum em magmas graníticos que apresentam tais minerais (Jiang e Zhu 2017). Essa hipótese é condizente com os dados isotópicos de Nd ($\varepsilon_{Nd(1,99Ga)}$ de -8,9 e T_{DM} de 2,8 Ga) obtidos por Vasquez (2006) para o GrdSa, que sugerem uma contribuição significativa de material crustal Arqueano.

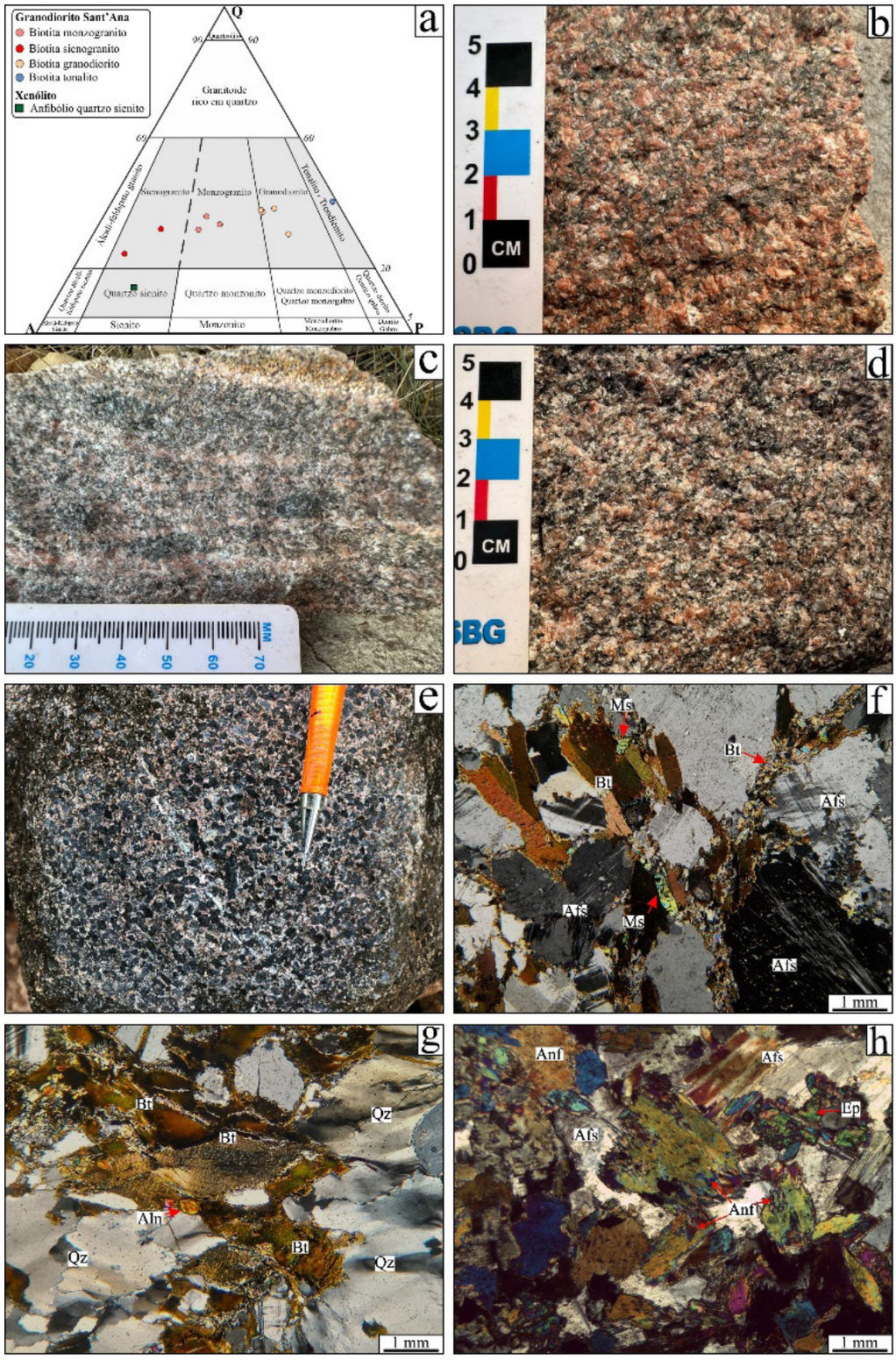


Figura 2 – Classificação modal e aspectos texturais do GrdSa: a) diagrama Q–A–P (Modificado de Le Maitre, 2002); b) biotita sienogranito inequigranular médio a grosso, cor rosa e incipiente foliação; c) biotita monzogranito cinza levemente foliado; d) biotita monzogranito inequigranular isotrópico; e) aspecto mesoscópico do anfibólio quartzo sienito cumulático mostrando anfibólio cumulático e *intercumulus* de álcali-feldspato; f) textura inequigranular alotriomórfica foliada dada pela orientação dos finos cristais de biotita e quartzo que bordejam plagioclásio e álcali-feldspato; g) textura granular porfiroclástica com biotitas com forte extinção ondulante na forma de mica *fish* e quartzos mostrando extinção ondulante; h) textura cumulática no anfibólio quartzo sienito com cumulados de anfibólio e *intercumulus* de álcali-feldspato.

Embora Vasquez *et al*. (2005) tenha obtido a idade de cristalização de 1986 ± 5 Ma por meio de evaporação de Pb em zircão e ter considerado o GrdSa representante do magmatismo pós-orogênico, Vieira *et al*. (2022), dataram, pelo método U-Pb em zircão, e apontaram uma idade de cristalização de 2124 ± 6 Ma, sugerindo que o GrdSa se formou em um ambiente de arco continental, com evidências de processos sin- e pós-colisionais. Nesse trabalho, adotamos a idade obtida por Viera *et al*. (2022) como sendo a cristalização.

O GrdSa apresenta também estruturas ígneas relativamente bem preservadas, características de rochas colocadas em ambiente sin- a tardi-colisional. Portanto, sugerimos que o Granodiorito Sant'Ana é representante do magmatismo pós-colisional relacionado ao Ciclo Transamazônico.

O Granodiorito Sant'Ana apresenta uma série de evidências que sugerem sua colocação em um contexto tectonicamente ativo, tais como: (i) feições estruturais como foliações, textura porfiroclástica, extinção ondulante e subgrãos em quartzo; (ii) preservação de estruturas ígneas primárias, indicando colocação em níveis crustais rasos; e (iii) idade de cristalização de 2124 ± 6 Ma compatível com o auge da colisão continental Transamazônica. Diante desses elementos, propomos que o Granodiorito Sant'Ana represente uma suíte plutônica sin- a tardi-colisional, associada ao magmatismo do Ciclo Transamazônico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Jiang, Y. H., e Zhu, S. Q. (2017). Petrogenesis of the Late Jurassic peraluminous biotite granites and muscovite-bearing granites in SE China: geochronological, elemental and Sr–Nd–O–Hf isotopic constraints. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 172, 1–27.

Le Maitre, R. W. (Ed.). (2002). *Igneous rocks: A classification and glossary of terms* (2nd ed., 236 p.). Cambridge: Cambridge University Press.

Santos Filho, J. F. dos (2017). Caracterização petrográfica do Granodiorito Sant'Ana representante do magmatismo pós-orogênico do Domínio Bacajá, a sudeste do município de Uruará – Pará. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia), Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, 54 p.

Santos, J. O. S. (2003). Geotectônica do Escudo das Guianas e Brasil-Central. In Bizzi, L. A. *et al*. (Orgs.), *Geotectônica do Escudo das Guianas e Brasil-Central: texto, mapas e SIG* (pp. 169–226). Brasília: CPRM – Serviço Geológico do Brasil.

Silva, A. L. B. (2025). Granodiorito Sant'Ana: geologia, revisão petrográfica e implicações petrológicas para o Ciclo Transamazônico, noroeste do Domínio Bacajá, sul de Uruará–PA. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia), Instituto de Engenharia e Geociências, Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, 54 p.

Vieira, C. S., Amaral, W. S., e Santos, F. H. (2022). Petrography, geochemistry and zircon U–Pb geochronology of the Siderian–Rhyacian granitoids of NW Bacajá Domain, Amazonian Craton. *Journal of the Geological Survey of Brazil*, 5(3), 145–176.

Vasquez, M. L., Macambira, M. J. B., & Galarza, M. A. (2005). Granitoides Transamazônicos da região Iriri–Xingu, Pará – novos dados geológicos e geocronológicos. *Contribuições à Geologia da Amazônia*, 4, 254 p. Manaus: Sociedade Brasileira de Geologia – Núcleo Norte / UFAM.

Vasquez, M. L. (2006). Geocronologia em zircão, monazita e granada e isótopos de Nd das associações litológicas da porção oeste do Domínio Bacajá: evolução crustal da porção meridional da Província Maroni-Itacaiúnas – sudeste do Cráton Amazônico. Tese de Doutorado (Geoquímica e Petrologia), Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 212 p.

Vasquez, M. L., & Rosa-Costa, L. T. (Orgs.). (2008). *Geologia e recursos minerais do estado do Pará: sistema de informações geográficas – SIG: texto explicativo dos mapas geológico, tectônico e de recursos minerais do estado do Pará* (Escala 1:1.000.000). Belém: CPRM – Serviço Geológico do Brasil.

Tassinari, C. C. G., e Macambira, M. J. B. (2004). A evolução tectônica do Cráton Amazônico. In Mantesso-Neto, V. *et al*. (Orgs.), *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida* (pp. 471–485). São Paulo: DECA.

CRUSTAL REWORKING IN COLLISONAL SETTINGS: INSIGHTS FROM ZIRCON AND TITANITE U-Pb GEOCHRONOLOGY AND Hf-Nd ISOTOPES IN RHYACIAN HIGH-K CALC-ALKALINE GRANITES FROM SOUTHERN BACAJÁ DOMAIN

Arthur Santos da Silva Neri[1], Roberto Dall'Agonol[1], Gilmara Feio[2], José de Arimatéia Costa de Almeida[1]

[1]Universidade Federal do Pará;
[2]Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

(santosarthursilvaa@gmail.com, robdal@ufpa.br; gilmarafeio@unifesspa.edu.br;ari@ufpa.br)

ABSTRACT

Rhyacian granitoids of diverse compositions and ages are widely distributed across the Bacajá Domain, offering critical insights into the evolution of the Transamazonian Orogeny. The Alto Rio Preto granite is a WNW-elongated intrusion (~250 km²) emplaced immediately south of the Misteriosa transcurrent shear zone. It comprises three distinct facies: amphibole-biotite monzogranite to biotite monzogranite, and an independent biotite granodiorite-tonalite. Although derived from separate magma batches, all facies are cogenetic. Late-magmatic to solid-state deformational features define a structural framework marked by WNW-ESE to NW-SE foliation planes with moderate to subvertical dips to NE and SW, accompanied by a shallow-plunging mineral stretching lineation. The granite is metaluminous to slightly peraluminous, magnesian, and exhibits calc-alkaline to high-K calc-alkaline character. Zircon U-Pb suggest minimum crystallization ages at 2067±4.9 Ma, 2076±12 and 2098±11 Ma, while titanite U-Pb dating yielded ages of 2067±9.3 Ma and 2068.6±9.9 Ma, for BGrd and ABMzG facies respectively, interpreted as magmatic crystallization ages. Zircon displays subchondrict εHf(t) values (-10.2 to -6.3) and Paleo- to Mesoarchean Hf-T_{DM}^{c} (3.3 to 3.2 Ga). Whole-rock Nd isotopes provided negative εNd(t) (-8.96 to -2.84) and Meso- to Neoarchean model ages (2.90-2.56) Thermodynamic-geochemical modeling indicates that the parental magma of the mozogranitic facies was generated through dehydration melting of basaltic crust at 0.99 GPa and 865 ºC. The Alto Rio Preto granite represents a classic high-K calc-alkaline granite derived from the partial melting of lower mafic crust in a collisional setting.

KEY-WORDS: Collisional orogens; granites; geochronology; Rhyacian; Bacajá Domain.

INTRODUCTION

During the Paleoproterozoic (2500–1600 Ma), particularly between the Rhyacian and Orosirian (2300–1800 Ma), major orogenic belts formed globally as part of the Columbia supercontinent assembly (Zhao *et al.* 2002; Meert & Santosh, 2017; Brown & Johnson 2018; Grenholm *et al.* 2019). These belts, whether of collisional or accretionary origin, are characterized by widespread granitoid magmatism spanning pre- to post-collisional stages (Klein *et al.* 2012; Klaver *et al.* 2015; Eglinger *et al.* 2017a; Wu *et al.* 2022; Barros *et al.* 2023; Shi *et al.* 2025). Understanding the petrogenesis of such granitoids is key to reconstructing the evolution of collisional zones, as it provides crucial insights into crustal reworking and continental growth processes (Costa *et al.* 2018; Sun *et al.* 2019).

The Bacajá Domain located in the Maroní-Itacaiúnas or Transamazonian province in the Brazil Central shield (Fig. 1a, b). It is composed of Archean and Siderian fragments reworked during the Transamazonian Orogeny between ca. 2.26 and 1.99 Ga and Rhyacian to Orosirian granitoids related to orogenic magmatism (Vasquez and Rosa-Costa 2008; Macambira *et al.* 2009, 2022; Barros *et al*. 2023; Magalhães *et al.* 2023).

This work presents new field, petrographic, geochemical, and geochronological data of the Rhyacian high-K calc-alkaline Alto Rio Preto granite occurring in the Bacajá Domain, SE Amazonian craton. These data clarify the petrogenetic and emplacement processes of high-K calc-alkaline granites in collisional orogens, as well as provide insights into crustal reworking mechanisms these settings.

METHODS

Representative samples were analyzed for whole-rock geochemistry using inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-AES) and inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) at ALS.

Three samples were submitted for geochronological analyses. Zircon from one sample (ASM-01) was analyzed at the Laboratório de Estudos Geodinâmicos e Ambientais (LEGGA), Universidade de Brasília (UnB), using a Neptune Series High-Resolution Multicollector ICP-MS coupled with a NewWave Nd-YAG 213 nm laser ablation system. Titanite from two samples (AA-46 and AA-76) was analyzed at the Centro de Pesquisas em Geocronologia e Geoquímica Isotópica, Universidade de São Paulo (USP), using a Neptune ICP-MS coupled to an Analyte Excite excimer laser. Two additional analyses of the same samples (AA-46 and AA-76) were carried out at GeoLab/USP with a SHRIMP IIe system. Zircon from sample ASM-01 was also analyzed for Hf isotopes using LA-ICP-MS at Pará-Iso (UFPA).

Nine samples were analyzed for whole-rock Nd isotopes using an ID-TIMS mass spectrometer at LEGGA-UnB.

RESULTS

Field and strucutal aspects

The Alto Rio Preto granite is a ~250 km² WNW–ESE-trending intrusion composed mainly of granites, with subordinate granodiorites and tonalites, emplaced along the Serra Misteriosa shear zone (Fig. 1c). It includes two coalescent plutons and a minor stock, intruding Archean units and containing rare mafic enclaves and granulite xenoliths. It is crosscut by mafic dikes and intruded by the late peraluminous granites.

Field data show a dominant WNW–ESE to NW–SE foliation with NE dips, and east-plunging stretching lineation. Strain increases northward, with primary magmatic fabrics preserved in low-strain zones and overprinted by solid-state deformation in medium- to high-strain zones, culminating in mylonitic to ultramylonitic textures.

Geochemical classification

The Alto Rio Preto granitoids are classified as monzogranites or granodiorites (Debon & Le Fort, 1983), with metaluminous to slightly peraluminous compositions. They show calc-alkaline to high-K calc-alkaline affinities (Frost *et al.* 2001; Peccerillo & Taylor, 1976), are mainly magnesian, and plot between syn-collisional and volcanic arc fields (Pearce *et al.* 1984).

Zircon U-Pb-Hf and titanite U-Pb

Zircons display typical oscillatory zoning, while titanite show complex zoning, with rare oscillatory zoning. For sample AA-46 (biotite monzogranite), zircon analyses define an upper intercept age of 2067 ± 4.9 Ma, with a lower intercept at 452 ± 10 Ma, while titanite yielded a concordia age of 2067.1 ± 9.3 Ma. Sample AA-76 (amphibole-biotite monzogranite) shows a zircon upper intercept age of 2098 ± 11 Ma and a titanite age of 2068.8 ± 9.9 Ma. Sample ASM-01 (biotite granodiorite) provided a concordia ages of 2076 ±12. Inheritance from 2295±28 Ma to 3215 ± 37 Ma were observed in zircon. The titanite and zircon ages overlap or are slightly offset, indicating early magmatic crystallization.

Zircon Hf isotopes show subchondritic εHf(t) values from -10.2 to -6.3, with Meso- to Paleoarchean crustal model ages (Hf-TDMc) ranging from 3.2 to 3.3 Ga.

Nd isotopes

The granite exhibits evolved isotopic signatures with moderately to strongly negative $\varepsilon Nd_{(t)}$ (-2.84 to -8.96) and Meso- to Neoarchean model ages (2.54 to 2.90 Ga).

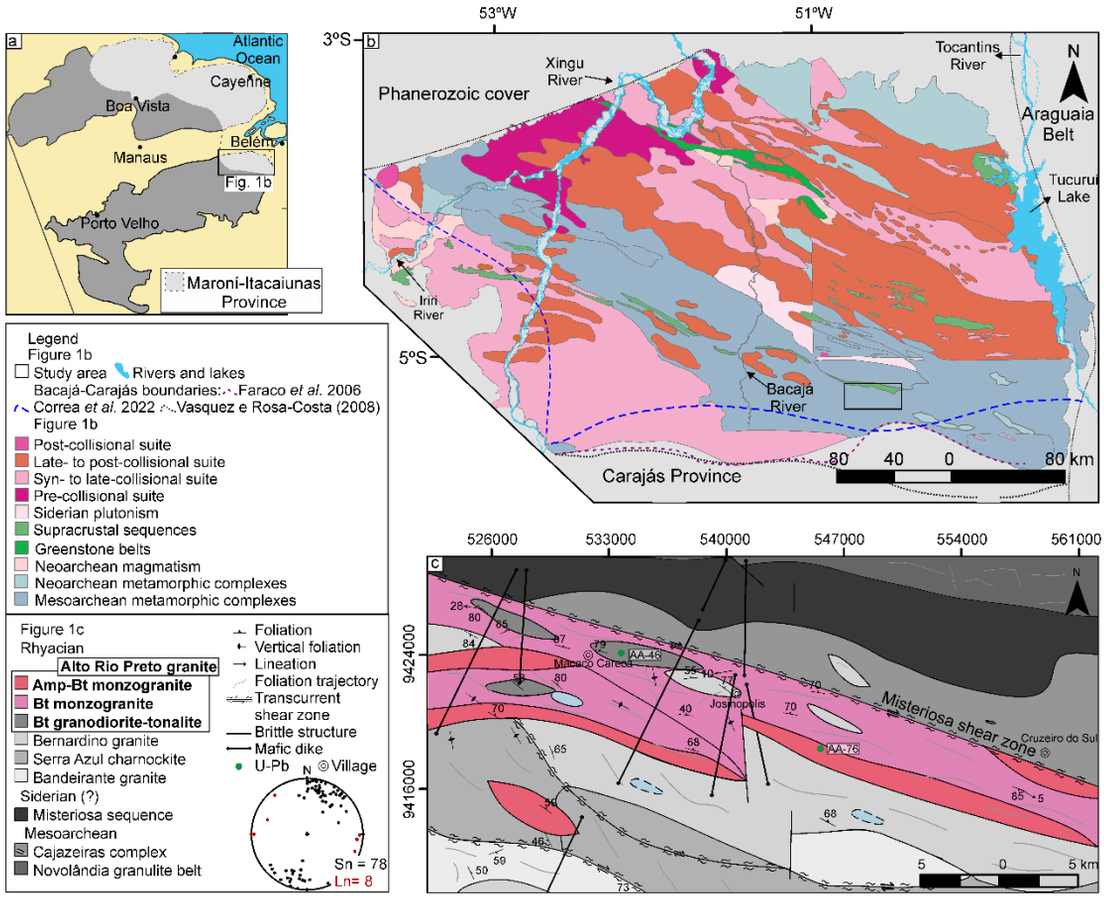


Figure 1 - (a) Amazonian craton and the location of the Bacajá Domain in the Maroni-Itacaiúnas Province (Tassinari and Macambira, 2004); (b) simplified geological map of the Bacajá Domain (Barros *et al*. 2007; Vasquez and Rosa-Costa 2008; Macambira *et al.* 2009; Barros *et al.* 2003; Macambira and Ricci 2015); (c) Geological map of the studied area (Neri *et al.* submitted).

DISCUSSION

Petrogenesis

The origin of the Alto Rio Preto granite can be explained the partial partial melting of high-K mafic to intermediate metaigneous rocks in the middle to lower crust, at pressures below 1.5 GPa (Roberts and Clemens 1993; Nandedkar *et al.* 2014, Zhang *et al.* 2006). Petrographic, geochemical, and isotopic evidence—such as high SiO_2 (up to 76.1 wt%), low Mg# (<0.41), negative $\varepsilon Nd_{(t)}$ and $\varepsilon Hf_{(t)}$, inherited Archean-Paleoproterozoic zircon cores, and REE patterns with negative Nb, Ti, and Eu anomalies, support a dominantly crustal source with minimal mantle contribution. Amphibole-biotite monzogranites and granodiorites are cogenetic but not co-magmatic. Source diagrams confirm derivation from mafic crustal rocks, with limited metasedimentary influence. Low to intermediate Sr/Y ratios and residual plagioclase signatures point to low-pressure melting conditions.

Thermodynamic-geochemical modeling suggests that the parental magma of the monzogranitic facies can be generated through partial melting of a source similar to a basaltic crust (Condie 1993) at 0.99 GPa and 865ºC leaving an amphibolite residue (amphibole, plagioclase, clinopyroxene and ilmenite).

Crustal evolution and regional implications

Crustal reworking and continental growth are fundamental to understanding the evolution of the continental crust (Brown & Rushmer 2008; Zheng *et al.* 2015). In collisional zones, granitoids may form by partial melting of pre-existing crust (reworking, no net growth) or by juvenile inputs from oceanic crust or mantle-derived magmas (crustal growth) (Moyen 2020). The Alto Rio Preto granite, located in the southern Bacajá Domain, formed in a Paleoproterozoic collisional zone between the Bacajá and Carajás provinces (Barros *et al.* 2023; Magalhães *et al.* 2023). In contrast to the northern Bacajá, where mantle input is significant, the southern domain records post-collisional magmatism linked to lithospheric delamination (Neri *et al.* submitted).

Petrological and geochemical data indicate that the Alto Rio Preto magmas were derived from partial melting of Archean basaltic lower crust, with minimal mantle contribution. The granitoids exhibit geochemical signatures consistent with crustal reworking, such as high SiO_2, low Mg#, enrichment in LILE and LREE, and negative Nb, Ti, εNd(t), and εHf(t) values. These features, along with zircon inheritance, confirm a crustal origin. Thus, the Alto Rio Preto granite represents a typical post-collisional, high-K calc-alkaline intrusion formed by reworking of continental crust without net crustal growth.

CONCLUSIONS

The Alto Rio Preto granite is a syn-tectonic intrusion, emplaced during progressive deformation from magmatic to solid-state conditions. U-Pb zircon and titanite ages indicate crystallization between 2098 ± 11 and 2067.1 ± 9.3 Ma. The granitoids are magnesian, metaluminous to slightly peraluminous, and belong to the calc-alkaline to high-K calc-alkaline series. Parental magmas formed by dehydration melting of basaltic crust at ~0.99 GPa and 865 °C, leaving an amphibolite residue. Geochemical and isotopic data support a crustal source, and the granite exemplifies high-K calc-alkaline magmatism generated by crustal reworking in a collisional to post-collisional tectonic setting.

REFERENCES

Barros, C.E. de M., Macambira, M.J.B., Santos, M.C. da C., Silva, D.C.C., Palmeira, L.C.M. and Sousa, M.M. 2007. Estruturas sinmagmáticas e idade de zircão de granitos (evaporação de Pb) paleoproterozóicos da parte leste do domínio Bacajá, Província Maroni-Itacaiúnas. *Revista Brasileira de Geociências*, **37**, 293–304,

Barros, C.E. de M., Besser, M.L. and Gouvêa Vasconcellos, E.M. 2023. Voluminous Paleoproterozoic plutonic belt of the Bacajá Domain in Amazon Craton: Petrology, geotectonic setting and Pb–Pb zircon evaporation ages. *Journal of South American Earth Sciences*, **130**, 104491

Brown, M. and Johnson, T. 2018. Secular change in metamorphism and the onset of global plate tectonics. *American Mineralogist*, **103**, 181–196

Brown, M. and Rushmer, T. 2008. *Evolution and Differentiation of the Continental Crust*, 1st ed.

Condie, K.C. 1993. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: Contrasting results from surface samples and shales. *Chemical Geology*, **104**, 1–37

Costa, F.G., Klein, E.L., *et al*. 2018. Geochemistry and U–Pb–Hf zircon data for plutonic rocks of the Troia Massif, Borborema Province, NE Brazil: Evidence for reworking of Archean and juvenile Paleoproterozoic crust during Rhyacian accretionary and collisional tectonics. *Precambrian Research*, **311**, 167–194,

Debon, F. and Le Fort, P. 1983. A chemical–mineralogical classification of common plutonic rocks and associations. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, **73**, 135–149,

Eglinger, A., Thébaud, N., *et al*. 2017. New insights into the crustal growth of the Paleoproterozoic margin of the Archean Kéména-Man domain, West African craton (Guinea): Implications for gold mineral system. *Precambrian Research*, **292**, 258–289,

Frost, B.R., Barnes, C.G., Collins, W.J., Arculus, R.J., Ellis, D.J. and Frost, C.D. 2001. A Geochemical Classification for Granitic Rocks. *Journal of Petrology*, **42**

Grenholm, M., Jessell, M. and Thébaud, N. 2019. A geodynamic model for the Paleoproterozoic (ca. 2.27–1.96 Ga) Birimian Orogen of the southern West African Craton – Insights into an evolving accretionary-collisional orogenic system. *Earth-Science Reviews*, **192**, 138–193,

Klaver, M., de Roever, E.W.F., Nanne, J.A.M., Mason, P.R.D. and Davies, G.R. 2015. Charnockites and UHT metamorphism in the Bakhuis Granulite Belt, western Suriname: Evidence for two separate UHT events. *Precambrian Research*, **262**, 1–19,

Klein, E.L., Rodrigues, J.B., Lopes, E.C.S. and Soledade, G.L. 2012. Diversity of Rhyacian granitoids in the basement of the Neoproterozoic-Early Cambrian Gurupi Belt, northern Brazil: Geochemistry, U–Pb zircon geochronology, and Nd isotope constraints on the Paleoproterozoic magmatic and crustal evolution. *Precambrian Research*, **220–221**, 192–216

Macambira, E.M.B. and Ricci, P.S.F. 2015. *Geologia e Recursos Minerais Da Folha Tucuruí – SA.22-Z-C, Estado Do Pará*, 1st ed.

Macambira, M.J.B., Vasquez, M.L., Silva, D.C.C. da, Galarza, M.A., Barros, C.E. de M. and Camelo, J. de F. 2009. Crustal growth of the central-eastern Paleoproterozoic domain, SW Amazonian craton: Juvenile accretion vs. reworking. *Journal of South American Earth Sciences*, **27**, 235–246

Macambira, M.J.B., Vasquez, M.L., Monteiro, P.C. and Armstrong, R.A. 2022. Neoarchean to Rhyacian crustal records along the Middle Xingu River area, Amazonian craton. *Brazilian Journal of Geology*, **52**,

Magalhães, L.B., Macambira, M.J.B., Macambira, E.M.B. and Ricci, P. dos S.F. 2023a. Crustal growth in the northeast portion of the Rhyacian Bacajá Domain, SE Amazonian craton, based on U-Pb, Lu-Hf, and Sm-Nd data. *Brazilian Journal of Geology*, **53**,

Meert J.G. & Santosh M. 2017. The Columbia supercontinent revisited. *Gondwana Research*, **50**: 67-83.

Moyen, J.-F. 2020. Granites and crustal heat budget. *Geological Society, London, Special Publications*, **491**, 77–100

Nandedkar, R.H., Ulmer, P. and Müntener, O. 2014. Fractional crystallization of primitive, hydrous arc magmas: an experimental study at 0.7 GPa. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **167**, 1015

Neri, A.S.S., Dall'Agnol, R., Dantas, E.L., Feio, G.R.L., Almeida, J.A.C., Galarza, M.A., Rhyacian magmatism in the southern Bacajá Domain: Implications for the crustal evolution of SE Amazonian Craton, Brazil. *Precambrian Research*, manuscript submitted for publication.

Pearce, J.A., Harris, N.B.W. and Tindle, A.G. 1984. Trace Element Discrimination Diagrams for the Tectonic Interpretation of Granitic Rocks. *Journal of Petrology*, **25**, 956–983,

Peccerillo, A. and Taylor, S.R. 1976. Geochemistry of eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **58**, 63–81

Roberts, M.P. and Clemens, J.D. 1993. Origin of high-potassium, talc-alkaline, I-type granitoids. *Geology*, **21**, 825,

Shi, Q., Shu, R.-X., *et al*. 2025. Paleoproterozoic granite in the Khondalite Belt, northern margin of the North China Craton: Response to the assembly of the Columbia supercontinent. *Precambrian Research*, **417**, 107640,

Sun, C., Xu, W., Cawood, P.A., Tang, J., Zhao, S., Li, Y. and Zhang, X. 2019. Crustal growth and reworking: A case study from the Erguna Massif, eastern Central Asian Orogenic Belt. *Scientific Reports*, **9**, 17671

Tassinari, C.C.G. and Macambira, M.J.B. 2004. A evolução tectônica do Craton Amazônico. *In*: Mantesso-Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C. D. R. and Brito Neves, B. B. (eds) *Geologia Do Continente Sul Americano: Evoluc¸ Ão Da Obra de Fernando Flávio Marques Almeida*. 471–486.

Vasquez, M.L. and Rosa-Costa, L.T. 2008. *Geologia e Recursos Minerais Do Estado Do Pará : Sistema de Informações Geográficas – SIG : Texto Explicativo Dos Mapas Geológico e Tectônico e de Recursos Minerais Do Estado Do Pará*, 1st ed

Wu, B., Long, X., Lan, C., Zhang, S., Zuo, R. and Wang, J. 2022. Paleoproterozoic tectonic evolution of the Khondalite Belt in the North China Craton: Constraints from the geochronology and geochemistry of 1.9–2.3 Ga felsic and basic intrusive rocks in the Jining area. *Precambrian Research*, **371**, 106570,

Zhao, G., Cawood, P.A., Wilde, S.A. and Sun, M. 2002. Review of global 2.1-1.8 Ga orogens: Implications for a pre-Rodinia supercontinent. *Earth-Science Reviews*, **59**, 125–162.

Zhang, Q., Wang, C.Y.W., Li, C.D., Wang, Y.L., Jin, W.J. and Jia, X.Q. 2006. Granite classification on the basis of Sr and Yb contents and its implications. *Acta Petrologica Sinica*, **22**, 2249–2269.

Zheng, Y., Chen, Y., Dai, L. and Zhao, Z. 2015. Developing plate tectonics theory from oceanic subduction zones to collisional orogens. *Science China Earth Sciences*, **58**, 1045–1069,

MAPEAMENTO GEOLÓGICO DO LESTE DA SERRA DA LUA, MUNICÍPIOS DE CANTÁ E BONFIM, LESTE DE RORAIMA, NORTE DO BRASIL

Guiecke Santos do Nascimento[1], Leandro Scapin[1]; Vitória Gardênia Vieria Silva[1]; Gabriel Araújo de Morais [1]; Rafael Guareschi[1]; Amanda Silva Neves dos Santos[1]; Railiene Oliveira Vieira[1]; Gisela Montenegro Petri[1]; Clínia da Silva Santana[1]; Gustavo Silva Zaranza[1]; Thalluan Coelho de Oliveira[1]; Stélio Soares Tavares Junior[1]; Samir do Nascimento Valcácio[1]; Ana Tayla Rodrigues Ferreira[1]

[1]Universidade Federal de Roraima - UFRR;

guieckee@gmail.com; scapin.72@gmail.com; vitoriagardenia07@gmail.com; gabrielb2k12@gmail.com; rafaelguareschi00@gmail.com; geoamandasilvaa@gmail.com; railieneov@gmail.com; giselapetri123@gmail.com; cliniafurtado@hotmail.com; gustavos.zaranza@hotmail.com; thalluanc@gmail.com; stelio.tavares@ufrr.br; samir.valcacio@ufrr.br; tayla.ferreira@ufrr.br

RESUMO

No leste de Roraima, a Serra da Lua é a principal feição litoestrutural do Cinturão Rio Urubu, cuja diversidade litológica é pouco estudada. Este trabalho teve como objetivo mapear a porção leste da Serra da Lua (municípios de Cantá e Bonfim) em escala 1:100.000, caracterizar petrograficamente as rochas e contribuir para o entendimento da correspondência litológica e estrutural da área com modelos teóricos vigentes. O geoprocessamento, integrando imagens Sentinel-1 e Sentinel-2 no ArcGIS Pro, permitiu a fotointerpretação da área e definição das principais unidades. O trabalho de campo coletou 120 amostras, resultando em 70 lâminas para análise petrográfica. O mapa final delimitou seis unidades: Rio Urubu 1 (metagranitóides), Rio Urubu 2 (augen gnaisses), Rio Urubu 3 (gnaisses migmatíticos), charnockitos da Suíte Serra da Prata, hornblenditos da Suíte Máfica-Ultramáfica Uraricaá e depósitos cenozoicos. Os metagranitóides (RU1) exibem quartzo xenomórfico, plagioclásio mirmequítico, feldspatos alcalinos, biotita lepidoblástica e hornblenda nematoblástica. Os augen gnaisses (RU2) apresentam ocelos decimétricos em matriz lepidonematoblástica e feições cinemáticas de deformação dextral e sinistral. Os migmatitos (RU3), no topo de colinas e margens de rios, mostram forte milonitização, com plagioclásio, quartzo, feldspato alcalino, biotita e anfibólio em texturas granoblásticas e lepidoblásticas. Os charnockitos contêm ortopiroxênio, plagioclásio, K-feldspato, quartzo, biotita e hornblenda, com texturas lepidonematoblásticas e mirmequíticas. Os hornblenditos são verdes escuros, maciços e serpentinizados, associados à Suíte Máfica-Ultramáfica

Uraricaá. A disposição das unidades indica aumento progressivo do grau metamórfico de leste (metagranitóides) para oeste (migmatitos), refletindo múltiplos eventos tectono-deformacionais, migmatização, milonitização e reativações em zonas de cisalhamento transpressivas dextrais e sinistrais.

PALAVRAS-CHAVE: Roraima; Rio Urubu; Serra da Lua

INTRODUÇÃO

O Evento Akawai apresentado por Fraga *et al*. (2024) é um modelo que discute gênese para a faixa central do Escudo das Guianas e Norte do Cráton Amazônico. Nesse modelo o Cinturão Cauarane-Coeroeni (CCC), o Cinturão Ígneo Orocaima (CIO) e o Cinturão Rio Urubu (CRU) se sucederam na colocação de suas litoestruturas entre 2,02 a 1,92Ga. No leste de Roraima, a Serra da Lua é a principal feição litoestrutural do CRU, todavia, a diversidade litológica da região foi pouco estudada e os trabalhos mais elaborados estão em escala regional dentre os quais Reis, Fraga e Almeida (2003); Fraga *et al*. (2009); Mendes *et al*. (2023).

Neste contexto, este trabalho teve por objetivos, realizar um mapeamento geológico básico, na escala 1:100.000, da porção leste da Serra da Lua, leste de Roraima; caracterizar a petrografia das rochas amostradas e contribuir para o entendimento da correspondência litológica e estrutural da área com os modelos teóricos vigentes.

2. METOLOLOGIA

A área de estudo situa-se a leste da Serra da Lua no polígono compreendido pelas coordenadas de latitudes (2° e 2°30'N) e longitudes (60° e 60°30'O). O acesso à Serra da Lua se deu a partir de Boa Vista-RR, pela BR-432 e RR 207, e localmente pelas vicinais dos municípios de Cantá e Bonfim-RR (Figura 1).

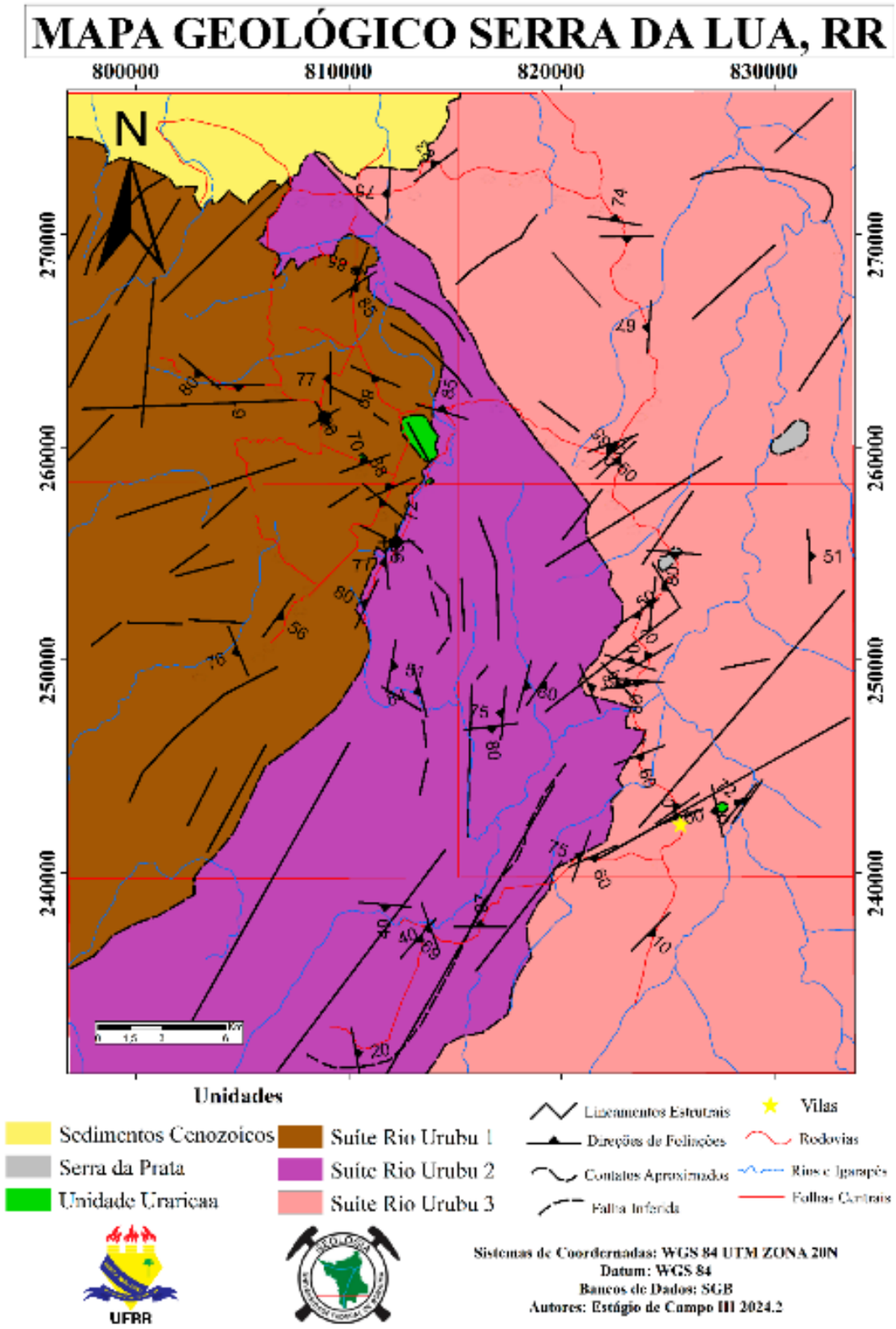


Figura 1 - Mapa geológico produzido ao fim do mapeamento na região da Serra da Lua, com as principais atitudes aferidas.

O geoprocessamento envolveu a geração do MDE por inSAR (Sentinel-1), tratado no ArcGIS Pro e integrado às bandas 8-4-3 do Sentinel-2 (Figura 2).

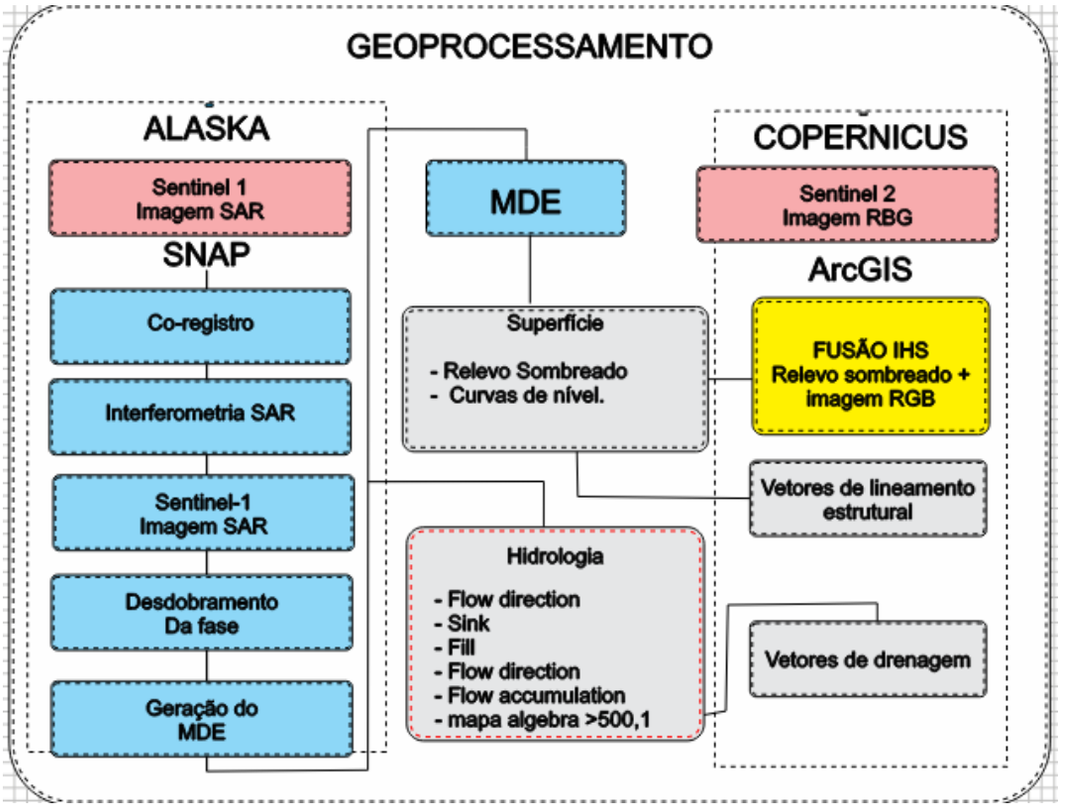


Figura 2 - Geoprocessamento de imagens SAR Sentinel-1 e imagens ópticas do satélite Sentinel-2 para a fotointerpretação da área de estudo.

Na etapa de Campo, foram visitados afloramentos ao longo das vicinais do leste de Cantá e sul de Bonfim-RR onde foram coletadas 120 amostras.

Na etapa de laboratório, foram confeccionadas 70 lâminas delgadas e realizadas análises petrográficas no Laboratório de Petrografia da UFRR, utilizando microscópio Zeiss AX10. A classificação macroscópica e microscópica seguiu os critérios de Streckeisen (1967) e Le Maitre (2002), com nomenclatura conforme a IUGS (Le Maitre *et al*., 2002) para rochas ígneas, Fettes & Desmons (trad. Reis Neto, 2014) para rochas metamórficas e Touret & Huizenga (2012) para charnockitos.

O mapa geológico básico final foi confeccionado em Arcgis PRO, na escala 1:100.000.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Integração de dados

A integração de dados pelo georreferenciamento e tratamento de imagens pelas técnicas de geração de MDE por inSAR com auxílio dos softwares ArcGis Pro e SNAP foram ferramentas de grande valia na interpretação das feições estruturais pré e pós campo. Associado a isso, os dados de campo e as análises laboratoriais, sugere que a

região da Serra da Lua é caracterizada por 6 unidades, sendo elas, aqui denominadas informalmente: Rio Urubu 1 (RU1) com metagranitóides, Rio Urubu 2 (RU2) com Augen gnaisses e Rio Urubu 3 (RU3) gnaisses migmatíticos; Serra da Prata, Máficas Uraricaá e Depósitos Cenozoicos.

Petrografia

RU1 - Metagranitóides

Encontrados na porção sudeste, nas proximidades da Vila Vilhena. Apresentam-se em forma de blocos rolados, in situ e lajedos com dimensões métricas a decamétricas. São rochas cinza claro esbranquiçadas a rosa, fortemente intemperizadas com granulação fina a média, com composição variando de sienogranítica a granodioríticas. Microscopicamente compostos por quartzo xenomórfico com extinção ondulante, plagioclásio com intercrescimento mirmequítico, feldspatos alcalinos com textura pertítica, biotita orientada em textura lepidoblástica e hornblenda com textura nematoblástica. (Figura 3).

Augen gnaisse

Sua ocorrência principal na região na porção mediana da área de estudo. Apresentam-se em forma de blocos e lajedos métricos a decamétricos. Rochas cinza claro a cinza médio acastanhadas, porfiroclásticas com ocelos deci-centimétricos, elípticos a semicirculares em matriz lepdonematoblástica. Kfs> Pl>Qtz e Bt>Hbl compõem a associação mineralógica principal (figura 3). São orto-derivados com composições variando entre sieno e monzograníticas. Os critérios cinemáticos tectono-deformacionais indicam componentes destrais e sinistrais. Nas microestruturas há indicação de orientação preferencial de agrupamentos de grãos, migração de borda de grãos e bulging, evidenciando que houve diferentes eventos atuando na colocação dessas rochas.

Migmatitos

Rochas cinza claro esbranquiçadas a com bandas cinza escuro, encontradas principalmente no topo das colinas e margens de rios, apresentam forte milonitização. Microscopicamente (Figura 3), a mineralogia essencial é composta por plagioclásio, quartzo, K-feldspato, biotita e anfibólio, além de epidoto como acessório. A rocha apresenta textura granoblástica com domínios lepidoblásticos e contatos interlobados, predominando cristais xenomórficos. Destacam-se plagioclásio hipo a xenomórfico, feldspatos alcalinos pertíticos, quartzo com extinção ondulante, biotita hipidiomórfica associada a óxidos de ferro e hornblenda em cristais isolados ou agregados.

A dispósição das três tipos litológicos da SMRU apresentaram um aumento de baixo (metagranitóides) para alto grau metamórfico (migmatitos), de leste para oeste. A complexidade das suas feições evidenciam a sucessão de eventos genéticos, metamórficos ductil-rupteis e finalmente rúpteis, estes provavelmentes provocados por reativações em zonas de cisalhamento com indicativos transpressivos. Nos topos das colinas, as rochas tendem a composição monzonítica e elevada milonitização, evidenciando augens esféricos a elipticos com sombras de pressão (Fig 3) migmatização com componentes cinemáticos sinistrais e dextrais.

Nas áreas arrasadas a tendência de rochas sienítica, por vezes com océlos alongados e fraturas indicando que houveram cisalhamentos NE/SW e NWN/ESW em diferentes momentos.

Charnockitos

Ocorrem em colinas alongadas na direção NE/SW. Suas rochas cinza escuras acastanhada estão fortemente intemperizadas e mostram composições variando de monzogranitos e quartzo monzogranitos com ortopiroxênio (charnockitos e quartzo-mangeritos), respectivamente. Microscopicamente, a mineralogia essencial é composta por plagioclásio, K-feldspato, quartzo, biotita, anfibólio (hornblenda) e ortopiroxênio, com apatita, epidoto e zircão como acessórios. A rocha apresenta textura lepidonematoblástica, mirmequita e quartzo recristalizado. Observam-se plagioclásio em intercrescimento mirmequítico com quartzo, feldspato alcalino xenomórfico, biotita hipidiomórfica associada a minerais opacos, quartzo com extinção ondulante, hornblenda e ortopiroxênio em cristais isolados ou agregados, além de epidoto em pequenos cristais arredondados a alongados.

Hornblenditos

Os hornblenditos foram amostrados em um corpo com rochas maciças as verde escuras, idiomórficas e bastante alterados. A ocorrência de hornblendito se mostrou bastante serpentinizada. Segundo Reis *et al*. (2003), as intrusões máficas-ultramáficas do Domínio Guiana Central são tardiamente associadas ao evento orogênico da Serra da Lua, sendo correlacionadas a unidade Uricacaá, com idade de 1,88 Ga. Essas rochas ocorrem com aspecto maciço, localmente cisalhadas, apresentando veios associados. Em afloramentos, observam-se traços de alteração hidrotermal, com a presença de pó branco, fino e untuoso, de aspecto similar ao talco.

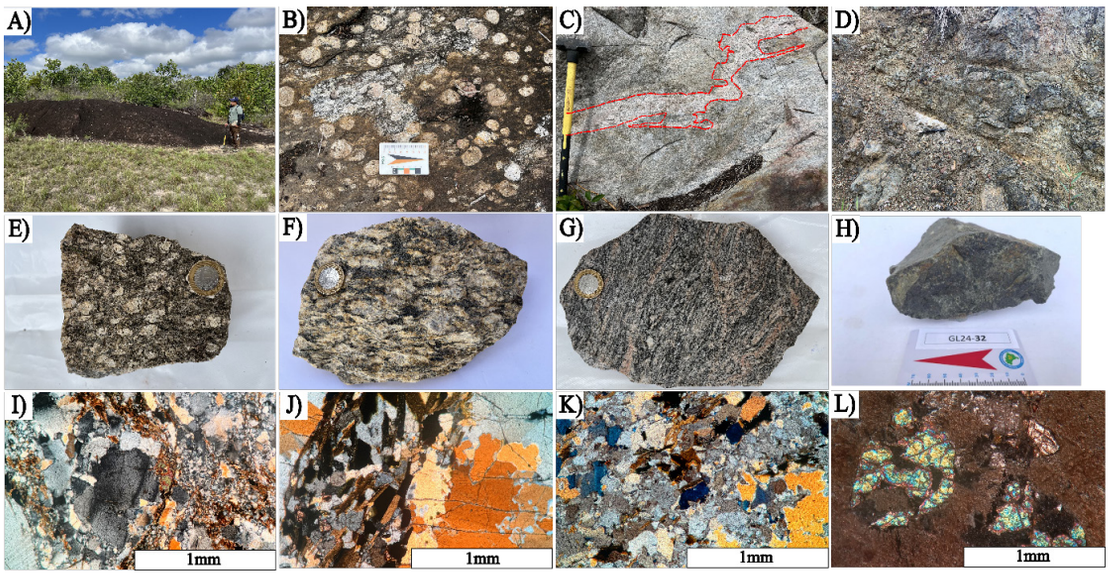


Figura 3 - (A) Aspectos de campo Rio Urubu 1; (B) Augen-Gnaisse i situ Rio Urubu 2; (C) Bolsão de Leucossoma Rio Urubu 3; (D) Aspecto de campo Suíte Máfica-Ultramáfica Uraricaá; (E) Amostra de metagranitóide coletada (RU1); (F) Amostra de Augen-Gnaisse (RU2); (G) Amostra de migmatito (RU3); (H) Amostra de Hornblendito; (I) Aspecto microscopico metagranitóide (RU1); (J) Aspecto microscópico Augen-Gnaisse (RU2); (K) Aspecto microscópico migmatito (RU3); (L) Aspecto microscópico hornblendito.

Eventos deformacionais

As evidências deformacionais são marcadas por processos de milonitização acompanhada de migmatização sin- a pós-orogênica. Consideramos que a região experimentou diversos eventos deformacionais pelas observações em campo, mas não individualizados no mapeamento realizado, necessitando de análises e estudos mais detalhados, todavia observamos que, ao menos os augen-gnaisses, possuíam feições miloníticas truncada por estruturas migmatizadas de forma recorrente.

CONCLUSÃO

Neste trabalho, foram delimitadas as principais áreas de ocorrência dos metagranitóides (RU1), augen gnaisses (RU2) e migmatitos (RU3) da Suíte Metamórfica Rio Urubu (SMRU), além dos charnockitos da Suíte Serra da Prata (SSP) e dos hornblenditos da Suíte Máfica-Ultramáfica Uraricaá (SMU), na porção leste da Serra da Lua.

A disposição espacial dos tipos litológicos da SMRU evidencia um aumento do grau metamórfico regional de condições de baixo para médio grau migrando de leste a oeste.

Considera-se que a região foi afetada por múltiplos eventos tectono-deformacionais, evidenciados por observações de campo que indicam episódios sucessivos de milonitização e migmatização. Esses processos estão concentrados em zonas de cisalhamento com cinemática predominantemente transpressiva dextral, as quais registram estágios posteriores de reativação com movimento sinistral.

AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Geologia pelo apoio logístico às coletas em material em campo, à laminação de amostras e ao franqueamento de acesso aos microscópios do Laboratório de Petrologia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Fettes e Deimons (2014) Rochas metamórficas: classificação e glossário – In: José Manuel dos Reis Neto (2014). São Paulo: Oficina de Textos.

Fraga, L. M. *et al*. (2009). *1.94–1.93 Ga* charnockitic magmatism from the central part of the Guyana Shield, Roraima, Brazil: single-zircon evaporation data and tectonic implications. *Journal of South American Earth Sciences*, *27*(4), 247-257.

Fraga, L. M. *et al.* (2024). *Early Orosirian belts of the central Guiana Shield, northern Amazonian Craton: U-Pb geochronology and tectonic implications. Precambrian Research, v. 407, 107362.*

Mendes, P. R. S. *et al*. (2023). Mapa Geológico do Centro-Sudeste de Roraima. Manaus: SGB-CPRM. Escala 1:500.000. Projeto Centro-Sudeste de Roraima. Ação Levantamento Geológico e de Potencial Mineral de Novas Fronteiras. Programa Geologia, Mineração e Transformação Mineral.

Reis, N. J.; Fraga, L. M.; e Almeida, M. (2003). Geologia do estado de Roraima, Brasil. *Géologie de la France*, (2-3-4), 121-134.

Le Maitre, R. W. (2002). Igneous Rock: A classification and glossary of terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommission of the Systematics of Igneous Rocks. 2nd ed. Cambridge University Press, Cambridge.

Reis, N. J., *et al*. (2003) *Geologia do estado de Roraima, Brasil. Géologie de la France, n° 2-3-4, p.121-134.*

Streckeisen, A. L. (1967). Classification and nomenclature of igneous rockes. *N. Jb. Miner.*, *107*, 144-240.

Tavares Júnior, S. S., Gomes, A. A., e Beserra Neta, L. C. (2024). Neotectónica no Hemigraben do Tacutu (Roraima, Amazônia): análise de evidências geomorfológicas. In *Dinâmicas geomorfológicas no espaço e no tempo/X Congresso Nacional de Geomorfologia*.

Touret, J. L. R. e Huizenga, J. M. (2012) Charnockite microstructures: from magmatic to metamorphic. **Geoscience Frontiers**, v. 3, n. 6, p. 745-753, 2012.

LA ESTRUCTURA S-C COMO INDICADOR CINEMÁTICO DE LA CIZALLA OBLICUA, SAN RAMÓN-SAN JAVIER, ESCUDO PRECÁMBRICO, SANTA CRUZ, BOLIVIA

Ramiro Matos
Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia

rmatoss@yahoo.com

RESUMEN

Las provincias Rondoniana- San Ignacio y Sunsás del Cratón Amazónico afloran al este de Bolivia. El orógeno colisional Sunsás de 1.2–1.0 Ga se correlaciona con la orogenia Grenville de Laurencia. Al oeste del Precámbrico boliviano aflora la serranía Suruquiso en una faja alargada de orientación Norte a Sur, de 80 km de largo y de 1 a 5 km de ancho, constituida por los grupos La Bella, Naranjal y Tajibos. El mapeo estructural y petrográfico se realizó utilizando imágenes satelitales, geofísica aerotransportada con imágenes de magnetometría, y radiometría, que permitió definir los intrusivos graníticos y la estructura S–C como indicador de cizalla dúctil, de sentido siniestro, desarrollada en rocas graníticas. La foliación S (planos de foliación) muestra una orientación noroeste (NO) originada a 45° de la zona de cizallamiento C que muestra una orientación oeste noroeste (ONO), la cual es oblicua al esfuerzo σ_1 y correspondería a la deformación Do_4 de la orogenia Sunsás que dio lugar a una tectónica oblicua.

PALABRAS CLAVES: Precambrico boliviano; Sunsás; magnetometría; radiometría.

INTRODUCCIÓN

El borde oeste del Precámbrico boliviano está surcado por la serranía Suruquiso en una faja alargada de orientación N-S (Fig. 1). En este sector afloran los grupos La Bella, Naranjal y Tajibos (Fig. 2). Los dos primeros son nombres locales que forman parte del Grupo de Esquistos San Ignacio (GESI) intruidos por los granitos de la Serie Yarituses (1680-1610 Ma) y los granitos San Ignacio (1560-1300 Ma). El tercero corresponde al Grupo Sunsás, intruidos por los granitos Sunsás (1200- 980 Ma). Se realizó la interpretación de la imagen satelital para respaldar el mapeo geológico con el fin de conocer con mayor detalle la geología de la serranía. El mapa combinado de la magnetometría y radiometría así como el mapa de radiación de potasio (Witschard *et al*., 1993; Adamek *et al*., 1996) permitieron definir con mayor precisión los lineamientos estructurales y los cuerpos graníticos que son descritos con mayor precisión en el mapa geológico (. El mapeo de campo El estudio petrográfico detallado permitió un mayor entendimiento de la composición mineralógica y la denominación de las rocas.

El propósito de esta contribución es presentar un sumario del actual conocimiento de esta región de faja plegada y corrida a través del uso de imágenes de radiometría y magnetometría, mapeo geológico y el estudio petrográfico. Este artículo aborda la geología de la serranía San Lorenzo o Suruquiso con énfasis en los períodos Estateriano y Ectasiano, basado en datos isotópicos, geoquímicos nuevos y compilados de las unidades litoestratigráficas del dominio Paraguá (Matos *et al*., 2023). Se discuten las estructuras y episodios tectónico-magmáticos correlativos dentro de la serranía San Lorenzo y alrededores respaldados por una geocronología robusta de U-Pb y Sm-Nd.

MATERIALES Y METODOS

El presente estudio aborda un mapeo de campo, petrográfico y estructural a escala regional en los sitios de acceso a la Serranía Suruquiso (Fig. 2) lo cual permitió comprender las variaciones de las estructuras planas y lineales y sus interrelaciones. El mapeo estructural se realizó utilizando las siguientes herramientas: i) Imágenes satelitales (Fig. 4A, D y E). ii) Geofísica aerotransportada a través del uso de imágenes de magnetometría, y radiometría, en este último caso la radiometría de potasio fue invalorable para definir los granitos (ver Fig. 4B y C) Adamek *et al*., 1986). iii) Trabajo de campo con un mapeo a escala de afloramiento en sitios accesibles y estudio petrográfico para la clasificación de las rocas.

Estas herramientas se combinaron para la elaboración del mapa geológico del área de estudio que servirá de modelo para trabajos de relevamiento geológico a detalle. La medición de los ejes X, Y y Z de los granos de cuarzo del conglomerado, sirvió para determinar la dirección preferencial en las zonas de cizalla dúctil y para el análisis del *strain.* Con el objeto de determinar la petrografía de las unidades metasedimentarias e ígneas, se analizaron 14 muestras de roca. La Tabla 1 resume las características de las mismas.

RESULTADOS

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Durante el trabajo de campo en la comunidad Turunapé en los escasos afloramientos trabajados en la serranía Suruquiso se determinaron clastos estirados de 1,1 a 2,3 cm, siguiendo una orientación del eje X de NO a NNO con hundimientos desde la horizontal hasta 47 grados.

En el presente trabajo, la esquistosidad y la elongación de los clastos asignada a la deformación Dc3 de la orogenia Sunsás de Fletcher (1979) correspondería a un ciclo etiquetado como Ds3 de Klinck y O'Connor (1983). Este Ds3 estaría representado por un evento cataclástico milonítico de la deformación Sunsás. A partir de la imagen compuesta de datos radiométricos y magnéticos se logró definir el mapa estructural el cual muestra la estructura S–C como indicador de cizalla ductil y penetrativa en toda el área y de sentido siniestro. Esta está, mejor desarrollada en las intrusiones como ser el granito Casa de Piedra y los complejos migmatíticos Las Madres y Momené (Fig. 2) . La foliación S (planos de foliación) muestra una orientación N 150° E, en cambio la zona

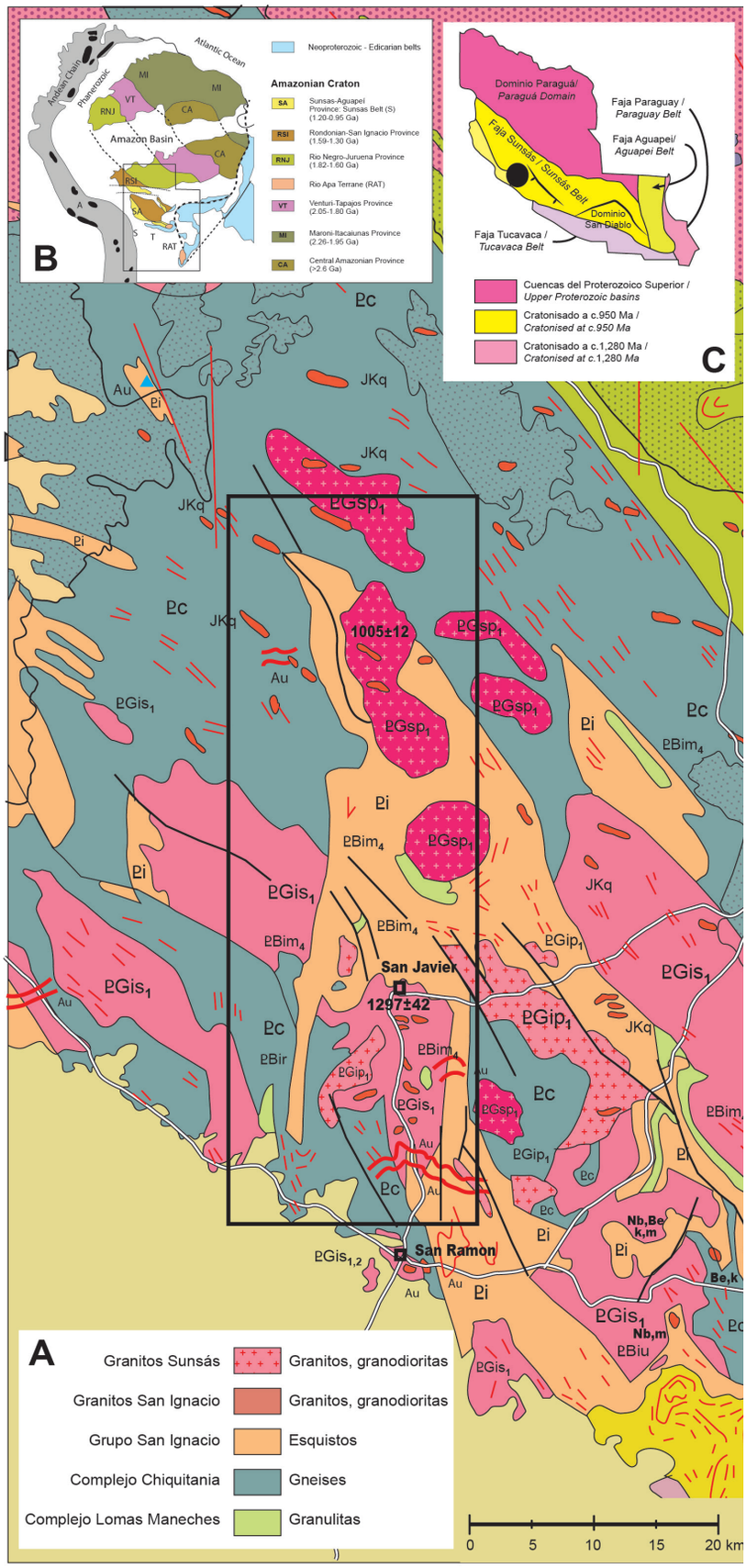


Fig. 1. A) Mapa de localización del área de estudio (Modificado de Litherland *et al.,* 1986). B) Bosquejo tectónico del Cratón Amazónico mostrando las provincias proterozoicas Rondoniana- San Ignacio y Sunsás (Según Cordani *et al*., 2007). C) Bosquejo tectónico del Precámbrico boliviano (Según Matos *et al.,* 2023).

de cizallamiento C (planos de cizalla o corte) sigue una orientación N 120 - 130° E. La cizalla C, más joven, corta la foliación S, ésta pudo haber sido una foliación inicial en el protolito. El ángulo entre S y C está entre 25 y 45 grados. El esfuerzo de cizalla σ1 es perpendicular a la foliación S y oblicua a la cizalla C y que dio lugar a una tectónica oblicua.

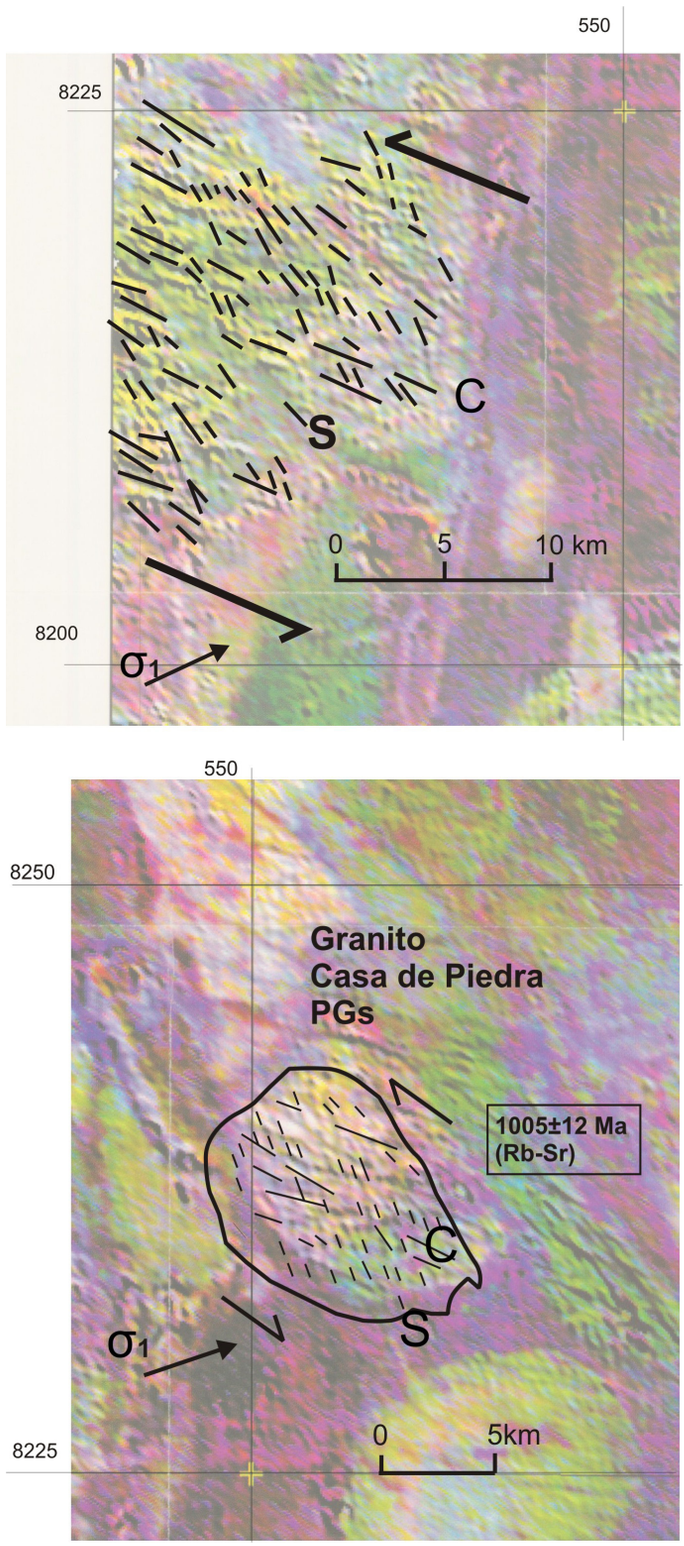


Fig. 2. Estructura S–C como indicador de cizalla dúctil mostrando la foliación S y la cizalla C desarrollada en el granito Casa de Piedra (A), El Complejo Migmatítico Las Madres (B) y Momené (C) a partir de la imagen combinada de magnetometría y radiometría.

DISCUSIÓN

De acuerdo al trabajo de Fletcher (1979) en el área de Concepción se han reconocido 2 fases de deformación previas a la depositación del Grupo Tajibos (una denominación local en la hoja Concepción equivalente al Grupo Sunsás de Litherland *et al*. (1986) y 3 fases de deformación posteriormente a dicha depositación. Las foliaciones S1 y S2 asociadas a las deformaciones Do1 y Do2 difícilmente se reconocen por haber sido afectadas por las deformaciones posteriores. La foliación S3 asociada a la Do3 está dada por una orientación NNO con un buzamiento de 39 a 60 grados al este. La deformación Do4 produjo una foliación penetrativa confirmando la sobreposición de la foliación S4 sobre S3, además de una foliación milonítica en las rocas de la serranía Suruquiso y la elongación de los clastos en el conglomerado. Estos procesos se desarrollaron bajo la facies metamórfica perteneciente a los esquistos verdes en transición a la anfibolita, dada por la cristalización de granates dodecahédricos dispersos en los esquistos.

Aunque resulta difícil conciliar las fases de deformación en la serranía Suruquiso, tentativamente la tercera fase de deformación de la orogenia Sunsás y etiquetado como Ds3 de Klinck y O'Connor (1979) de la hoja Monte Verde correspondería a la deformación Do4 de Fletcher (1979) de la hoja Concepción y la que produjo una foliación penetrativa confirmando la sobreposición de la foliación S4 sobre S3, además una foliación milonítica en las rocas de la serranía Suruquiso y la elongación de los clastos en el conglomerado. La imagen combinada de la magnetometría y radiometría de Adamek *et al*. (1996) muestra que esa correlación corresponde a la cizalla S-C que es prominente en los granitos tanto de la Serie Yarituses así como en los granitos de la orogenia San Ignacio y aún en los granitos de la orogenia Sunsás. El mapa estructural del área de Monte Verde y Concepción interpretado a partir de la imagen compuesta de datos radiométricos y magnéticos aerotransportados muestra la Suite Yarituses, el Complejo Granitoide Pensamiento y los granitos Sunsás, foliados por el sentido de cizallamiento lateral izquierdo de la orogenia Sunsás con tendencia noroeste y la estructura S–C reflejando un movimiento siniestro, correspondiente a una tectónica oblicua.

CONCLUSIONES

La imagen combinada de la magnetometría y radiometría en las hojas Concepción y Monte Verde permitió definir la foliación milonítica y el desarrollo de la fábrica S-C de cizalla siniestra, prominente en las rocas de la serranía Suruquiso, la cual corresponde a la deformación Do4 de la orogenia Sunsás. La fábrica S-C siniestra, consiste de la foliación S (planos de foliación) con una orientación N150°E, la cual es perpendicular a σ1. La zona de cizalla C (planos de cizalla o corte) es más joven que S y muestra una orientación N120°E. La región comprendida por las hojas Monte Verde y Concepción se caracterizan por poseer una tectónica oblicua.

La estructura S-C de desarrollo siniestro es más evidente en los cuerpos graníticos de la Serie Yarituses, por ejemplo, en el granito Refugio, en los granitos San Ignacio como el cerro Talcoso y en los granitos Sunsás como los granitos Casa de Piedra y Primavera. Dado que la estructura S-C está desarrollada en la última generación de granitos en el área de Concepción y Monte Verde, como es el caso del granito Casa de Piedra mostraría que S-C se desarrolló durante la orogenia Sunsás.

La imagen combinada de la magnetometría y radiometría permitió definir los contactos de los intrusivos graníticos y formacionales que pueden ser mejor utilizados en los futuros trabajos de mapeo geológico. El análisis petrográfico permitió refinar la composición de las rocas metasedimetarias y la definición de nuevos cuerpos graníticos que deben ser estudiados a futuro.

El nuevo mapa geológico presente en el artículo que nos ocupa permitió una mejor definición de las rocas ígneas y metasedentarias que deben ser estudiadas con dataciones U-Pb en zircones, tanto magmáticos como detríticos, lo cual permitirá clasificarlos como pertenecientes al GESI, la serie Yarituses, San Ignacio o Sunsás. En base a los datos de la geofísica aerotransportada se definieron nuevos cuerpos graníticos como Vergel, que presenta forma subredondeada, completamente separado del granito San Javier que fue la roca hospedante.

El sector situado al noreste de la serranía Suruquiso en la hoja Monte Verde y la región oeste de la hoja Concepción donde afloran rocas graníticas y/o gneises no pudieron ser definidos con la radiometría ni magnetometría, las que se ven en esta última como grandes manchas de contactos difusos, que en lo futuro requerirán nueva tecnología para una mejor definición.

BIBLIOGRAFÍA

Adamek, P. M., Troeng, B., Landívar, G., Llanos, A., Matos, R., 1996. Evaluación de los recursos minerales del Distrito San Ramón. – Boletín del Servicio Geológico de Bolivia, n.10, 77 p., La Paz.

Fletcher, C.J.N., 1979. La geología y potential de minerales del ´area de Concepci´on (Cuadrante SE 20-3 con parte de SE 20 - 2) (1 mapa escala 1:250.000). British Geological Survey - Servicio Geol´ogico de Bolivia, Santa Cruz, Bolivia, p. 73 (Open-file Report).

Klinck, B. A., O'Connor, E. A. 1983. The geology and mineral potential of the Perseverancia and Monte Verde areas (Quadrangles SD 20-15 and SD 20-11). Informe interno. Institute of Geological Sciences-Servicio Geológico de Bolivia. La Paz.

Litherland, M., Bloomfield, K.,1981. The Proterozoic history of Eastern Bolivia. Precambrian Research, 15 : 157-179.

Litherland. M. Annells, R.N. Darbyshire, D.P.F., Fletcher, C.J.N.,Hawkins, M.P., Klinck, B.A., Mitchell, W.I., O'Connor, E.A., Pitfield. P.E.J., Power, G., Webb, B.C., 1989. The Proterozoic of Eastem Bolivia and its relationship to the Andean mobile belt. Precambrian Res. 43, 157-174.

Matos, R., Teixeira, W., Ruiz, A.S., Bettencourt, J.S., Geraldes, M.C., Vargas-Mattos, G., Redes, L., 2023. Orosirian-Stenian evolution of the Bolivian Precambrian Shield, SW Amazonian Craton, constrained by U-Pb geochronology and Nd-Hf isotopic parameters. Journal of South American Earth Sciences, 104536.

Witschard, F., Matos, R., Nilsson, L., 1993. Airborne geophysical survey and interpretations of remote sensing in the San Ramon area. In: Boletín del Servicio Geológico de Bolivia, No.2 (Especial), 55p. La Paz.

CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E ESTRUTURAL DA PORÇÃO CENTRAL DA FOLHA NA-20-X-D-VI - REGIÃO SERRA DA LUA

Railiene Oliveira Vieira[1] ; Gisela Montenegro Petri[1] ; Thalluan Coelho de Oliveira[1] ; Guiecke Santos do Nascimento[1]; Ana Tayla Rodrigues Ferreira[1] ; Samir do Nascimento Valcácio[1]; Stélio Soares Tavares Júnior[1]

[1]Universidade Federal de Roraima - UFRR

railieneov@gmail.com; *giselapetri123@gmail.com*; thalluanc@gmail.com; *guieckee@gmail.com*

RESUMO

A região da folha Serra da Lua (NA-20-X-D-VI), situada na porção centro-leste do estado de Roraima, constitui uma área de relevante interesse geológico devido à complexidade de suas unidades rochosas e aos processos geodinâmicos que as moldaram. Estudos preliminares indicam a presença de diversas associações litológicas e padrões estruturais que registram múltiplos eventos de deformação e metamorfismo. Compreender a evolução dessas rochas é fundamental para desvendar a história geológica regional e para correlacionar os eventos locais com os processos tectônicos em escala continental. O presente estudo teve como objetivos principais a identificação e caracterização as unidades litológicas e estruturais presentes na folha Serra da Lua, sua distribuição espacial, estabelecendo uma cartografia geológica e correlação dos dados litoestruturais com os resultados geocronológicos disponíveis na literatura para compreender os aspectos de formação e evolução dessas rochas. A pesquisa foi desenvolvida com aplicação de técnicas voltadas ao mapeamento geológico, onde foram realizadas 35 descrições detalhadas de afloramentos. As descrições visaram a identificação de características litológicas, como composição mineralógica, textura e estrutura, bem como a análise de feições estruturais, incluindo foliações, lineações e dobras. Mapas geológicos preliminares foram utilizados como base para orientar as atividades em campo. As análises petrográficas descritas identificaram quatro unidades principais: ortognaisses Rio Urubu, charnockitos Serra da Prata, rochas máficas Uraricaá e sedimentos cenozoicos. As litologias e estruturas observadas indicam uma história geológica complexa, com migmatização e milonitização. A diversidade litológica e dados isotópicos da literatura sugerem múltiplos pulsos magmáticos na formação dessas rochas.

PALAVRAS-CHAVE: Rio Urubu; Uraricaá; metamorfismo; tectônica e evolução.

INTRODUÇÃO

O Estado de Roraima, no extremo norte do Brasil, está inserido na porção centro-sul do Escudo das Guianas, ao norte do Cráton Amazônico (REIS *et al*., 2003). Segundo Tassinari e Macambira (2004), esse cráton é dividido em seis províncias geocronológicas, sendo que a área de estudo – localizada na Serra da Lua, entre os municípios de Bonfim e Cantá – está inserida nas províncias Maroni-Itacaiúnas e Ventuari-Tapajós. O mapeamento geológico foi realizado em escala de 1:100.000 na porção central da folha NA-20-X-D-VI, com foco na caracterização litológica e estrutural das unidades, análise petrográfica microscópica, definição de unidades litoestratigráficas informais e compreensão da evolução tectônica da região.

MATERIAIS E MÉTODOS

O município de Cantá está situado na região central do estado de Roraima, com os seguintes limites territoriais: ao norte, faz fronteira com Boa Vista e Bonfim; ao sul, com Caracaraí; a leste, novamente com Bonfim; e a oeste, com Boa Vista, Mucajaí e Iracema. A área de estudo, vinculada à disciplina de Estágio de Campo III, encontra-se localizada no centro da folha NA-20-X-D-VI Serra da Lua, no centro-leste de Roraima. Para chegar ao local situado nas CTA-385 e CTA-375, partindo de Boa Vista, o acesso ocorre pelas rodovias federais BR-174, BR-401 e BR-432, sentido sul do Estado (Fig.1).

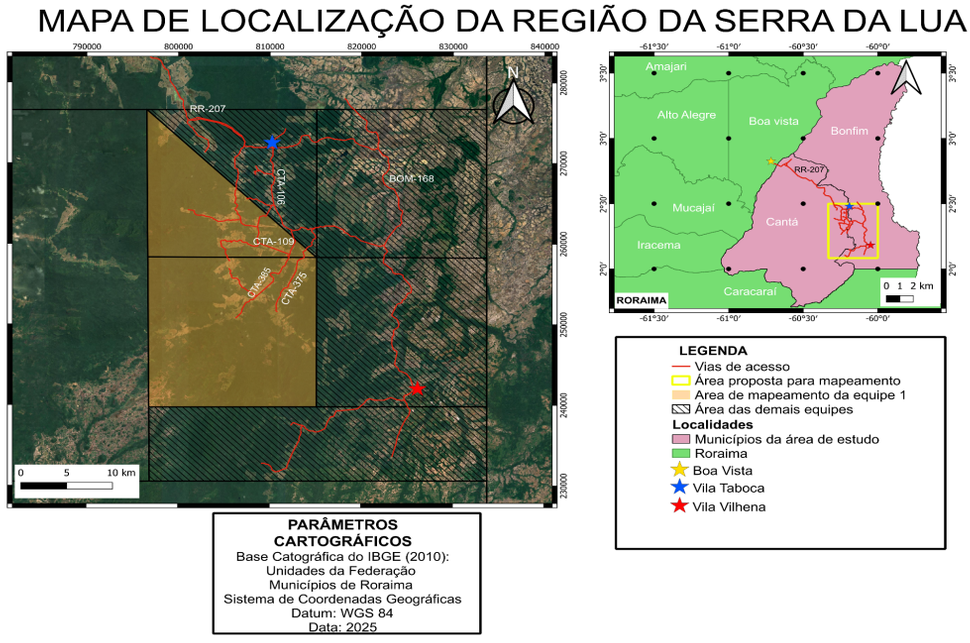


Figura 1: Mapa de Localização da Área Central da Serra da Lua

O trabalho foi realizado no município de Cantá, Roraima, na região central da folha Serra da Lua (NA-20-X-D-VI), com acesso pelas rodovias BR-174, BR-401 e BR-432. As atividades foram divididas em três etapas: na fase pré-campo, foram feitos levantamentos bibliográficos e produzidos mapas temáticos utilizando os softwares SNAP e QGIS, com dados do IBGE, SGB-CPRM, Alaska Satellite Facility e Copernicus. No campo, foram descritos 30 pontos com foco em afloramentos, litologias, estruturas e aspectos geomorfológicos, utilizando instrumentos como bússola, martelo, lupa, régua e celular para registro fotográfico. As amostras foram coletadas, armazenadas e etiquetadas corretamente. A navegação foi feita com apoio do aplicativo Avenza Maps e dos mapas confeccionados previamente. As equipes foram divididas em quatro grupos, cada um responsável por uma área da Serra da Lua.

RESULTADOS

Após a análise e correlação dos dados obtidos em campo, descrição microscópica, identificaram-se 30 pontos. Com base nessas informações, sugere-se que a Região central da Serra da Lua - Folha NA-20-X-D-VI Serra da Lua, seja composta por duas unidades informais distintas. Na faixa correspondente à equipe 1 (área de estudo), foram identificadas as unidades Rio Urubu e Uraricaá. A Unidade Rio Urubu.

Rio Urubu

Rio Urubu 1

A Unidade Rio Urubu 1 aflora principalmente nas porções noroeste e centrais da área estudada, com afloramentos em forma de blocos, matacões rolados/in situ e lajedos. É composta por rochas gnáissicas e gnáissicas miloníticas, com porfiroclastos angulosos de quartzo e feldspato potássico. Apresenta textura equigranular a inequigranular, coloração cinza escuro a rosa esbranquiçado e foliação bem desenvolvida. Destacam-se a presença de bolsões mineralógicos de feldspato potássico e anfibólio, xenólitos migmatíticos e poiquiloblastos. Estruturalmente, ocorrem zonas de cisalhamento, dobras de arrasto, veios de quartzo (concordantes e discordantes) e diques. Microscópicamente, possui textura porfiroclástica lepidonematoblástica com recristalização de quartzo, grãos interlobados e hábitos hipidioblásticos.

Rio Urubu 2

A Unidade Rio Urubu 2 aflora principalmente na porção leste e pontualmente no centro da área. As rochas são gnáissicas miloníticas, descritas como *Augen Gnaisses*, com porfiroclastos de quartzo e feldspato potássico, além de biotita, anfibólio e piroxênio. Apresentam textura inequigranular e megacristais, com coloração cinza-esbranquiçada a rosada. Foram observados contatos com diques de anfibolito, veios discordantes da foliação e restitos. A cinemática é predominantemente destral, com zonas de cisalhamento sinistral. As atitudes estruturais indicam foliações com diferentes orientações, voltadas para oeste-sudoeste e leste-sul.

Rio Urubu 3

A Unidade Rio Urubu 3 aflora nas porções noroeste, oeste e centrais da área, com afloramentos em forma de lajedos, blocos e matacões. É caracterizada por gnaisses migmatizados com leucossomas e melanossomas, apresentando feições bandadas com domínios félsicos (quartzo e feldspatos) e máficos (biotita, anfibólio, piroxênio). Observam-se diques máficos, veios concordantes e discordantes com a foliação, falha destral em veio de feldspato e feições miloníticas. Microscopicamente, essas rochas exibem textura ortomilonítica lepidonematoblástica, contatos interlobados, recristalização de quartzo e foliação marcada por minerais máficos.

3.2 Uraricaá

A Unidade Uraricaá aflora predominantemente na porção leste da área estudada, com vegetação arbustiva e árvores de médio a grande porte. É composta por metagabros de coloração cinza escura, granulação fina a média (0,1 a 4 mm), com textura inequigranular. Destacam-se a presença de ortopiroxênio e clinopiroxênio, além de plagioclásio, quartzo, feldspato potássico, anfibólio e biotita. Microscopicamente, essas rochas apresentam textura protomilonítica, com feições de cataclase inicial, textura mortar, contatos interlobados e hábito hipidioblástico.

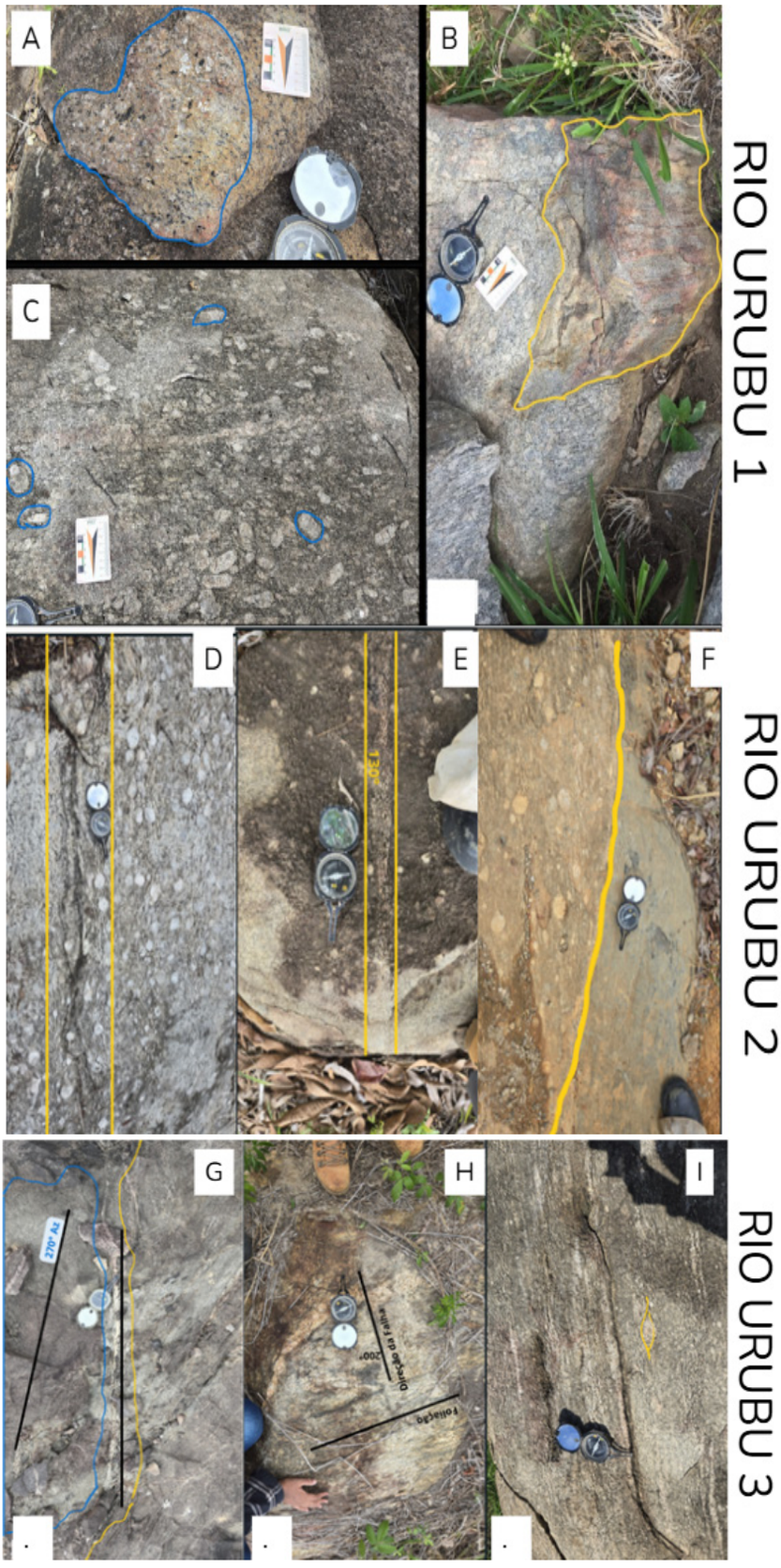


Figura 2. A) Rochas gnáissicas miloníticas com porfiroclastos angulosos de quartzo e feldspato potássico de até 30 mm; B) bolsões mineralógicos compostos por feldspato potássico e anfibólio; C) xenólitos migmatíticos de gnaisse com matriz fina; D) contato entre augen gnaisse e dique de anfibolito; E) veios de aproximadamente 3 cm discordantes da foliação; F) restitos bem delimitados; G) veio de quartzo separando dique do melanossoma; H) falha destral com azimute de 200°, discordante à foliação e cortando veios; I) ocelo milonitizado de quartzo e feldspato potássico, seguindo a foliação da rocha migmatítica.

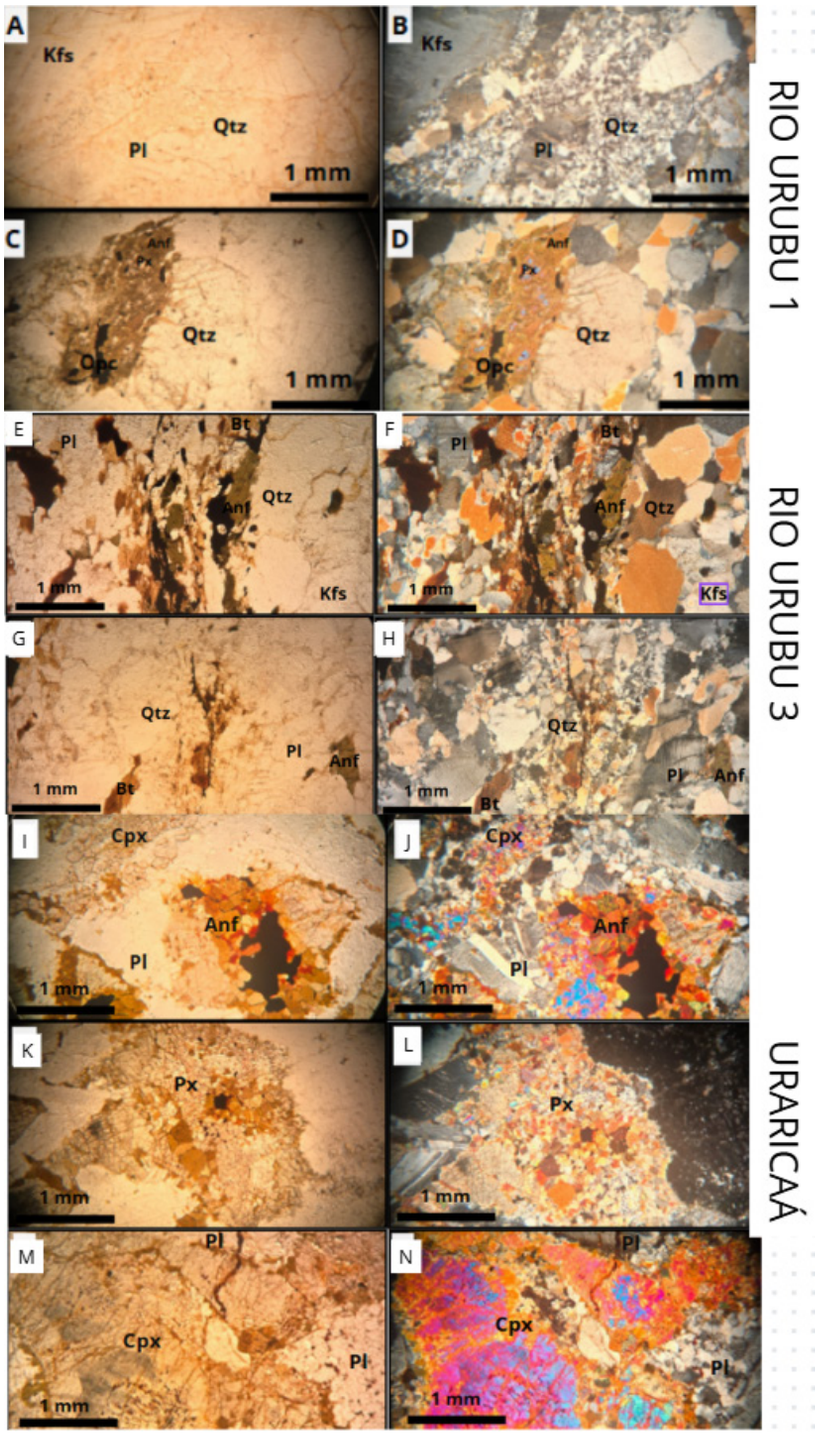


Figura 3: A) e B) Textura em quartzo com recristalização por subgrãos, seguindo uma foliação incipiente e contornando grãos maiores de plagioclásio (Pl) e feldspato potássico (Kfs), observados em nicóis descruzados e cruzados; C) e D) Relações de contato entre grãos variando de poligonais a interlobados, com textura inequigranular e hábitos cristalinos predominantemente hipidioblásticos, em nicóis descruzados e cruzados; E) Textura lepidonematoblástica ortomilonítica, inequigranular, com quartzo recristalizado em grãos menores envolvendo grãos maiores, em nicóis descruzados; F) mesma textura em nicóis cruzados; G) e H) Quartzo recristalizado em grãos menores, com orientação principal definida e textura equigranular, observados em nicóis descruzados (G) e cruzados (H); I) Textura de protomilonito, com plagioclásio, quartzo e piroxena (Px) apresentando textura mortar e foliação incipiente, em nicóis descruzados; J) mesma textura em nicóis cruzados; K) e L) Textura mortar em piroxena e plagioclásio em forma de ripas, ambos em nicóis descruzados; M) e N) Textura com granulação inequigranular, contatos interlobados e hábitos cristalinos hipidioblásticos, observados em nicóis descruzados e cruzados (N).

DISCUSSÕES

Nas unidades Rio Urubu 1, 2, 3 e Uraricaá representam diferentes fases da evolução tectono-metamórfica do Cinturão Rio Urubu (RUB), em um contexto transpressivo pós-colisional, como descrito por Fraga *et al*. (2024). Fraga *et al*. (2024) afirma que rochas supracrustais dobradas do CCB ocorrem como xenólitos nos granitoides do OIB e nos granitoides e gnaisses do RUB (Berrangé, 1977; CPRM, 1999; Fraga *et al*., 2009a, b), Portanto, pode-se deduzir um terceiro evento metamórfico, M3, associado a um quarto evento deformacional, D4, que afetou pelo menos a parte central orientada NE-SW do CCB, próxima ao RUB, refletindo a evolução dessa faixa tardia.

A Unidade Rio Urubu 2, composta por Augen Gnaisses com porfiroclastos de quartzo e feldspato potássico, evidencia recristalização parcial sem fusão total. As estruturas miloníticas e zonas de cisalhamento indicam um regime tectônico transpressivo com cinemática destral, típico de ambientes pós-colisionais. A presença de diques máficos reforça a atuação de magmatismo pós-colisional relacionado à Orogênese Akawai Fraga *et al*.(2024).

Já a Unidade Rio Urubu 3 é marcada por gnaisses migmatíticos com leucossomas e melanossomas, apontando para fusão parcial intensa. A migmatização e a presença de diques máficos, falhas e veios discordantes indicam uma história complexa de deformação e metamorfismo. A evolução dessa unidade pode ser dividida em estágios: cristalização ígnea original, metamorfismo regional (EM1), intrusão de magmas máficos (ED1), fusão parcial e migmatização (EM2), seguidos por eventos rúptil-dúcteis e hidrotermais tardios, demonstrados no sistema esquemático da evolução do ponto 14.

A Unidade Uraricaá, composta por metagabros com orto e clinopiroxênio, exibe texturas protomiloníticas, como mortar e foliação incipiente, que indicam deformação dúctil-rúptil. Esses metagabros estão associados ao magmatismo intraplaca pós-colisional ~1,88 Ga (U-Pb em zircão; Fraga *et al*., 2013) e mostram metamorfismo de médio a alto grau.

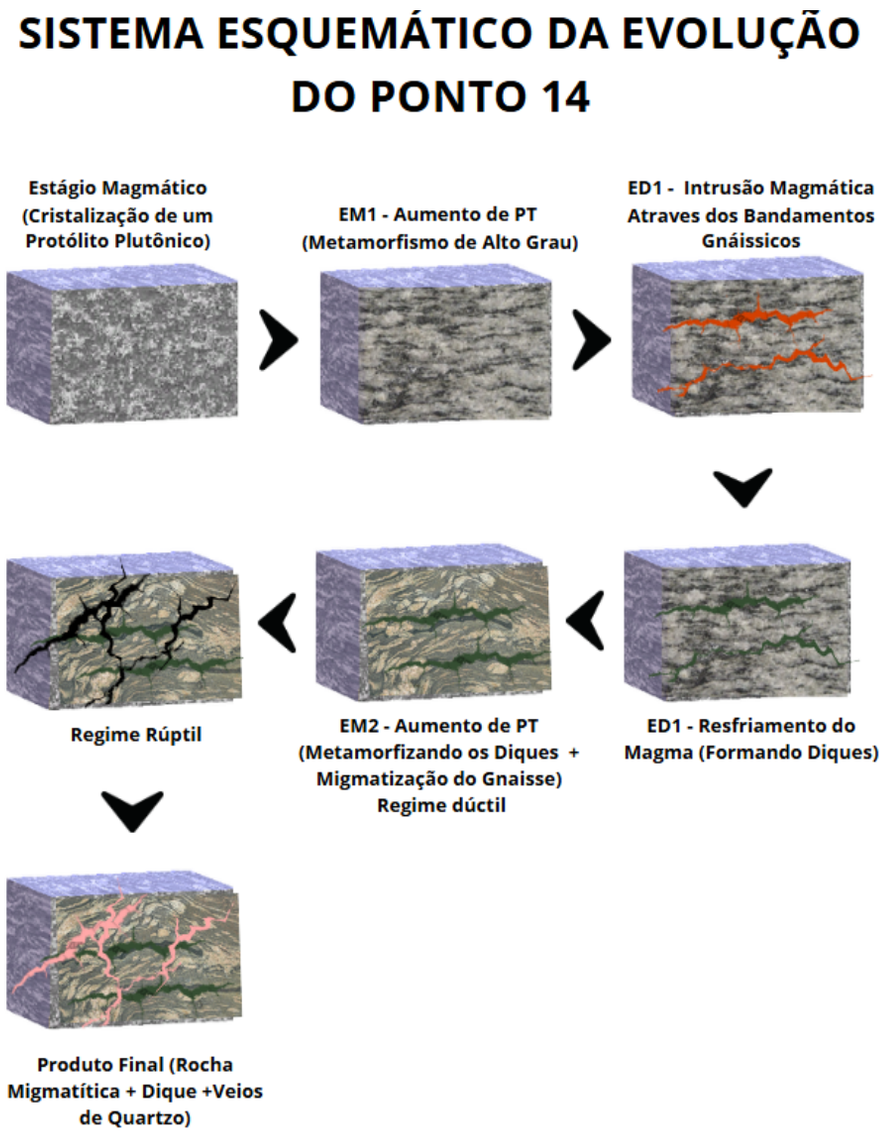


Figura 4: Sistema esquemático da evolução do

No geral, a evolução da Serra da Lua indica uma progressão leste-oeste da milonitização para a migmatização, com estruturas dobradas ao redor da serra. Observa-se a atuação de eventos intrusivos máficos em diferentes momentos, que, combinados ao tectonismo, criaram complexas feições estruturais e mineralógicas. As texturas de recristalização (SGR e GBM) observadas indicam temperaturas entre 500°C e 600°C, reforçando a atuação de metamorfismo regional de médio a alto grau.

Figura 5: Esquema do grau de milonitização

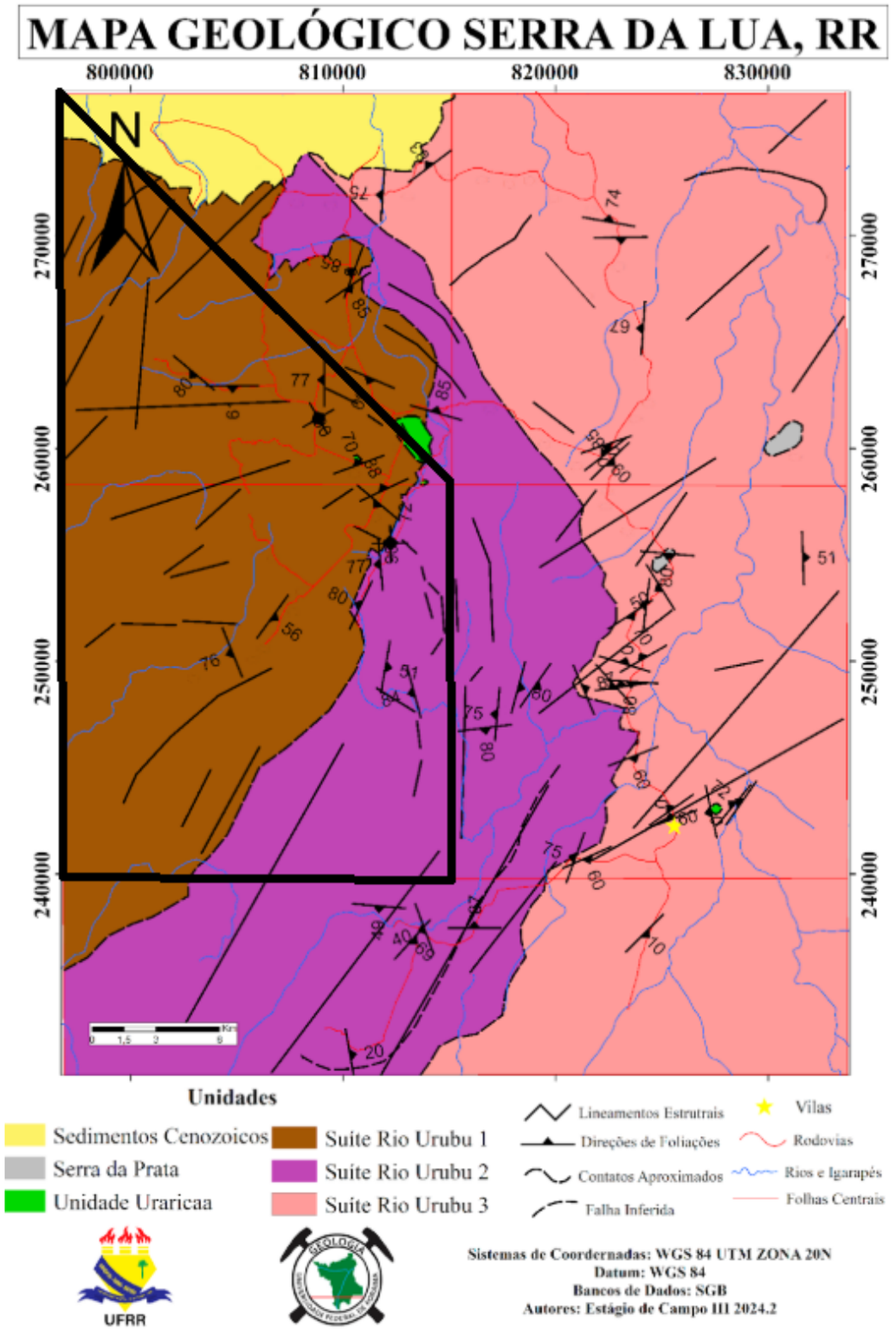


Figura 6: Mapa Geológico Serra da Lua, com foco da área central da Folha em preto

CONCLUSÕES

A região da Serra da Lua, localizada no centro-leste de Roraima (folha NA-20-X-D-VI), apresenta uma evolução tectono-metamórfica complexa no Paleoproterozoico, envolvendo rochas da Suíte Metamórfica Rio Urubu (1,96–1,91 Ga) (FRAGA *et al,* 2024) e da Suíte Máfica-Ultramáfica Uraricaá por Riker *et al*., (1999) e com idade mínima de 1,88 Ga (U-Pb SHRIMP)., formadas em distintos ciclos tectônicos. O mapeamento geológico de semi-detalhe permitiu correlacionar as medidas estruturais de campo com os padrões identificados por sensoriamento remoto, confirmando a complexidade da área. A pesquisa reforça trabalhos anteriores e destaca a importância da integração de dados e abordagens multidisciplinares para aprofundar o conhecimento geológico de Roraima e apoiar futuras investigações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CPRM. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Roraima Central, Folhas NA.20-X-B e NA.20-X-D (inteiras), NA.20-X-A, NA.20-X-C, NA.21-VA e NA.21-V-C (parciais). Escala 1:500.000. Estado do Amazonas. Brasília: CPRM, 1999.

IBGE. BDIA - Banco de Dados de Informações Ambientais. Disponível em: https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home. Acesso em: 26 Nov. 2024.

Fraga, Lêda Maria *et al*. Early Orosirian belts of the central Guiana Shield, northern Amazonian Craton: U-Pb geochronology and tectonic implications. Precambrian Research, v. 407, p. 107362, 2024.

Reis, Nelson Joaquim; Fraga, Lêda Maria; Faria, Mário Sérgio Gomes De; Almeida, Marcelo Esteves. Geologia do Estado de Roraima, Brasil. Géologie de la France, n. 2-3-4, p. 121-134, 2003.

Tassinari, C.C.G.; Macambira, M.J.B. A evolução tectônica do Cráton Amazônico. Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida, 2004. 471-474 p.

GEOLOGIA E PETROGRAFIA DOS GRANITOS RAPAKIVI E ASSOCIAÇÕES CHARNOCKÍTICAS DO CORPO SERRA GRANDE DO CANTÁ

Núbia Félix de Carvalho[1]; Samir do Nascimento Valcácio[1]

[1] Universidade Federal de Roraima

nubiag3felix@gmail.com*; *samir.valcacio@ufrr.br

RESUMO

A Serra Grande do Cantá, situada na porção centro-leste do estado de Roraima, insere-se no contexto da Suíte Intrusiva Mucajaí, compondo parte do Domínio Guiana Central, no Cráton Amazônico. Esta suíte é interpretada como associação Anortosito–Mangerito–Granito rapakivi, relacionada a eventos magmáticos. Os afloramentos da região incluem gnaisses, charnockitos, monzogranitos e sienogranitos, com predominância de corpos leucocráticos, de granulação média a grossa, compostos por plagioclásio, feldspato potássico, quartzo, anfibólio, piroxênio e biotita. Monzogranitos contendo cristais ovoídes a tabulares de K-feldspato bordejados por plagioclásio caracterizam texturalmente a variedade rapakivi, típica de magmatismo anorogênico. Embora algumas rochas apresentem evidências de milonitização, indicando um histórico de deformações atuantes durante e/ou após a intrusão desta suíte magmática, detalhes sobre as texturas, as associações minerais, condições específicas de cristalização e deformação, tal qual a formação de milonitos e condições de cisalhamento, permanecem insuficientemente documentados. Assim, este trabalho visa identificar e caracterizar os aspectos petrográficos e processos deformacionais nesta região. A metodologia contou com as seguintes etapas: (1) Etapa Pré-campo, que contou com revisão bibliográfica e fotointerpretação do terreno, (2) Etapa de Campo, que contou com coleta de amostras e parâmetros estruturais e (3) Etapa de laboratório, com descrição petrográficas e identificação e caracterização de microtexturas. Os dados estruturais evidenciam a presença de feições planares orientadas com direção predominante NW–SE, cuja intensidade e continuidade variam progressivamente na direção da zona de cisalhamento que delimita a porção oeste da Serra Grande. Diques com orientação média de 350/90 (Az) também foram registrados, assim como xenólitos de sienogranito inclusos em litotipos mais máficos. A análise petrográfica revelou evidências de deformação intracristalina, como subgrãos em cristais de quartzo, plagioclásio e, localmente, anfibólio, além de contornos de grão lobados e bordas serrilhadas em quartzo e feldspato. Essas microestruturas são compatíveis com recristalização dinâmica por rotação de subgrãos e migração de contorno de grão. As feições observadas indicam um regime de deformação dúctil de caráter transpressivo, sob temperaturas estimadas entre 400 e 450 °C, com picos locais até cerca de 650 °C. Esses valores são compatíveis, em sua maioria, com condições metamórficas da fácies xisto-verde, com transições locais incipientes para fácies anfibolito.

PALAVRAS-CHAVE: Suíte Intrusiva Mucajaí; Cisalhamento; Microtextura; Roraima.

INTRODUÇÃO

O Cráton Amazônico representa uma das maiores regiões Pré-Cambrianas do mundo, com uma área de aproximadamente 5.600.00 km² (Santos, 2003). Trata-se de uma vasta região litosférica continental, agrupando terrenos de idades entre o Arqueano e o Mesoproterozoico, refletindo uma complexa história geotectônica de acresção e estabilização.

No contexto de sua compartimentação interna, Tassinari e Macambira (2004), propôs a divisão do cráton em seis províncias distintas, com base em critérios geocronológicos e estruturais, denominando-as Províncias Amazônia Central (>2,5 Ga), Maroni-Itacaiúnas (2,2-1,9 Ga), Ventuari-Tapajós (1,9-1,80 Ga), Rio Negro-Juruena (1,8-1,55 Ga), Rondoniana-San Ignácio (1,55-1,30 Ga) e Sunsás (1,25-1,0 Ga). A área de estudo está inserida na Província Maroni-Itacaíunas, localizada no setor norte do Cráton Amazônico, no interior denominado Escudo das Guianas. Essa província é caracterizada pela ocorrência de rochas metavulcânicas e metassedimentares deformadas e metamorfizadas, com fácies variando do xisto-verde a anfibolito, além de terrenos gnáissicos-migmatíticos e granulíticos.

O Escudo das Guianas, como segmento setentrional do Cráton Amazônico, estende-se por parte da Venezuela, Guiana, Suriname, Guiana Francesa e norte do Brasil, incluindo o estado de Roraima. Esta porção do cráton é composta por domínios geológicos diversos, muitos dos quais ainda pouco investigados sob o ponto de vista estrutural e petrográfico, apesar de sua relevância no registro da evolução geotectônica paleoproterozoica da região.

No contexto geológico do estado de Roraima, destaca-se a compartimentação em diferentes domínios litoestruturais. A Serra Grande do Cantá, foco deste estudo, está inserida no Domínio Guiana Central, no município do Cantá, a cerca de 50 km de Boa Vista, na margem leste do rio Branco.

Nesta região, a atuação de zonas de cisalhamento originou faixas extensas de milonitos, com gradação textural que variam de proto- a ultramilonítos (CPRM, 1999; Reis *et al*., 2003). Nas bordas da Serra Grande observa-se faixas miloníticas, assim como os limites leste e sul do batólito Mucajaí, cuja mineralogia e microestruturas são compatíveis com fácies xisto-verde. Tais feições estão associadas ao evento deformacional K´Mudu, de natureza transpressiva destral que ocorreu no contexto paleoproterozoico do Escudo da Guianas sob condições de temperatura moderada, em aproximadamente 400 - 450 ºC (Fraga, 2002).

Embora a Serra Grande do Cantá represente um segmento estrutural significativo do domínio Guiana Central, marcado por zonas de cisalhamento crustal de larga escala, ainda são escassas as informações detalhadas sobre a natureza das rochas miloníticas, suas microestruturas e os parâmetros termodinâmicos que governaram sua evolução. Neste contexto, este estudo apresenta a caracterização petrográfica e microestrutural dessas rochas, com o objetivo de caracterizar e estimar as condições de pressão e temperatura (P–T) associadas ao regime tectônico dúctil associado ao magmatismo da região.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo foi conduzido em três etapas principais: pré-campo, trabalho de campo e pós-campo.

Na fase pré-campo, foram realizadas a revisão da literatura geológica da área de estudo e a elaboração de mapas prévios de geologia e localização utilizando o *software* ArcGIS 10.5. Ainda nesta etapa, procedeu-se à análise petrográfica de nove lâminas delgadas pertencentes ao acervo do Laboratório de Análise de Imagens Digitais (LABIMAGE) do NUPENERG/UFRR, correspondentes a amostras previamente coletadas na região de interesse. As descrições petrográficas foram conduzidas no próprio laboratório, utilizando microscópio óptico de polarização por luz transmitida (Leica DM EP).

A etapa de campo consistiu no mapeamento geológico-estrutural da região da Serra Grande, com reconhecimento e medição de estruturas rúpteis e dúcteis, coleta de amostras orientadas e seleção de material para a confecção de 12 lâminas delgadas.

Na fase pós-campo, foram descritas as doze novas lâminas delgadas segundo os mesmos critérios adotados na etapa pré-campo, utilizando o mesmo equipamento. Os dados estruturais e petrográficos foram integrados para subsidiar as interpretações de processos deformacionais e condições P–T atuantes. Por fim, foi produzido um mapa final com base na integração de dados de campo, imagens orbitais e produtos cartográficos.

RESULTADOS

As rochas analisadas apresentam predominantemente textura fanerítica, com granulação variando de média a grossa, com cristais de tamanho relativamente uniforme. Em algumas amostras, observa-se textura porfirítica a equigranular, com coloração variando de cinza claro a tons escuros, para os monzogranitos (cinza-claro), charnockitos (verde-escuro a verde-acastanhado) e o diabásio (cinza-escuro). Já as rochas porfiríticas, representadas pelo granito rapakivi, possuem coloração branca com aspecto amarelado, frequentemente associadas a moderado a alto grau intemperismo. Em regiões mais próximas ao Rio Branco – borda oeste do Corpo Serra Grande do Cantá, foi observado evidências de deformação em regime dúctil indicada por foliação milonítica e fenocristais deformados com sombra de pressão.

O charnockito, na área de estudo, possui textura equigranular e aparência maciça. Na borda oeste, neste litotipo, observam-se feições planares incipientemente orientadas interpretadas como foliações miloníticas, que cortam a matriz ígnea maciça, a atitude registrada indicou 340/61NE. A presença dessas estruturas, desenvolvidas de forma localizada nessa porção do corpo, sugere episódios de deformação tardia, possivelmente associada a eventos tectônicos pós-cristalização. Do ponto de vista petrográfico, esta rocha é constituída por plagioclásio com macla polissintética e feldspato potássico com geminação albita e periclina, anfibólio, piroxênio e cristais de quartzo cominuídos, possivelmente associados à recristalização dinâmica. Em contato com esta unidade, aflora um sienogranito de coloração cinza esbranquiçada, textura fina e equigranular, composto por anfibólio verde, piroxênio e biotita cloritizada, sugerindo possível relação genéti-

ca ou posicionamento tardio em relação à intrusão charnockítica. Observa-se, ainda, no sienogranito, intercrescimento de quartzo e anfibólio.

Os monzogranitos com textura rapakivi ocorrem, em sua maioria, intemperizados, realçando os pórfiros de K- feldspato na matriz. Essas rochas apresentam variações na proporção de minerais máficos e destacam-se pelas texturas de sobrecrescimento, onde os pórfiros de K- feldspato mostram-se envoltos por plagioclásio, característica diagnóstica dos granitos rapakivi. Os cristais de plagioclásio variam de tamanho milimétrico a centimétrico, associados a anfibólio e biotita. Microscopicamente, observa-se deformação moderada em cristais de biotita, incluindo flexão e morfologias assimétricas semelhantes a mica *fish*, com orientação coerente ao plano de cisalhamento. O quartzo ocorre predominantemente com subgrãos alongados, evidenciando recristalização dinâmica por rotação de subgrãos. Também foram identificadas feições pontuais de uralitização de piroxênios e textura mirmequítica em feldspato alcalino. Além disso, sombras de pressão assimétricas ao redor de fenocristais de K-feldspato sugerem crescimento orientado sob regime dúctil transpressivo.

O diabásio apresenta textura fanerítica de granulação fina a média. A mineralogia essencial é composta por piroxênio, anfibólio, quartzo, biotita e alguns minerais acessórios como zircão e opacos, com arranjos de ambiente subvulcânico. Nas regiões com maior concentração de venulações de quartzo, o plagioclásio exibe evidências de alteração hidrotermal, com substituição parcial por epidoto e sericita, interpretada como resultado de circulação tardia de fluidos.

Nas porções centro-leste da Serra Grande, foi possível observar orientações preferências para NW-SW na disposição de fenocristais, veios de composição granítica e foliações miloníticas, assim como feições sugerindo estruturas semelhantes a migmatitos, cuja caracterização detalhada demanda de estudos adicionais. Foram descritos veios de composição granítica com espessura variando entre 4 e 2 cm, e atitude média de 350/90. Próximo aos veios, foi registrada uma foliação planar orientada a 345º Az, sendo definida pelo alinhamento preferencial dos K-feldspatos deformados, indicando possível transposição magmática por cisalhamento dúctil. Evidências microscópicas corroboram essa interpretação, com o registro de porfiroclastos com sombras de pressão assimétricas, indicativas de deformação em regime não coaxial. Adicionalmente, observou-se a presença de uma estrutura deformada cortada por uma intrusão tardia, interpretada como afetando possíveis migmatitos, cujas foliações delineiam domínios lenticulares leucocráticos.

DISCUSSÕES

As microestruturas observadas nas rochas da área de estudo indicam a atuação de processos de recristalização dinâmica sob regime dúctil transpressivo. A presença de cristais de quartzo e feldspato com bordas lobadas a serrilhadas, acompanhada de textura de subgrão e mosaico poligonal, sugere a ocorrência de mecanismos como migração de contorno de grãos e recristalização da rotação de subgrão.

Essas feições são típicas de redução de tamanho cristalino por deformação intracristalina, envolvendo reorganização do retículo cristalino e reequilíbrio microestrutural durante o fluxo dúctil. Tais microtexturas são compatíveis com temperaturas próximas a 400 °C - 500 °C, em condições de metamorfismo de fácies xisto-verde (Passchier e Trow, 2005).

Essas condições também são evidenciadas pela ocorrência de textura mirmequítica em grãos deformados de K-feldspato, cuja formação pode ser favorecida por reações no estado sólido pós-magmático, como também desenvolvidas em sítios de concentração de tensões durante a deformação progressiva, sob condições de temperatura e pressão compatíveis com a fácies xisto-verde (Simpson e Wintsch, 1989).

A foliação milonítica observada nos charnockitos foi interpretada como episódio de deformação tardia associadas a eventos pós-cristalização. Para Fraga (2002), estas feições sugerem que a foliação milonítica tenha sido gerada em ambiente de temperatura moderada a baixa durante eventos regionais D_2. Ainda, para autora, os cristais de quartzo e plagioclásio recristalizados, indicam deformação em estado dúctil-rúptil, sob condições de temperaturas entre 300º a 450º, na fácies xisto-verde.

A estrutura planar foliada, evidenciada pelo alinhamento preferencial de fenocristais deformados de K-feldspato, indica que as condições deformacionais foram controladas pela proximidade com zonas de cisalhamento. Inicialmente dispersos na matriz magmática, esses fenocristais foram reorganizados durante a transposição magmática por cisalhamento, em regime dúctil, resultando em foliações orientadas preferencialmente a 345° NW.

A distribuição das foliações miloníticas sugere que o grau de deformação é mais intenso na borda oeste do corpo, paralela ao curso do Rio Branco, onde tais estruturas são bem desenvolvidas. Esse padrão indica uma maior acumulação de strain nesse setor, possivelmente controlada pela canalização da deformação ao longo de uma estrutura crustal de larga escala que margeia a unidade. Essa interpretação é reforçada pela associação com feições microestruturais típicas de deformação não coaxial, como mica fish, subgrãos alongados em quartzo, sombras de pressão assimétricas e evidências de recristalização dinâmica.

Adicionalmente, observou-se feições similares a leucossomas, restritamente localizadas na porção sudoeste do corpo, que podem indicar fusão parcial da rocha, com temperaturas em torno de 650°C, próximo a curva de *solidus* do granito hidratado (Yardley, 2004). Tais condições também são evidenciadas pela presença de deformação, mesmo que localmente, em anfibólio, evidenciando condições de alto grau acima de 650–700 °C (Passchier e Trow, 2005). Todavia, os autores não desconsideram a possibilidade de estruturas pseudo-leucossomáticas, como lentes de granitos deformados ou zonas de segregação félsica em zonas cisalhantes.

Por fim, os diabásios observados não possuem estruturas indicando deformação, cujos autores inferem que a sua colocação foi posterior aos eventos deformacionais atuantes, possivelmente relacionando-se a abertura da bacia do Tacutu no Jurássico Superior - Cretáceo Inferior.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos indicam que a Serra Grande do Cantá é composta por monzogranitos com textura rapakivi e charnockitos, vinculados regionalmente a a associações do tipo Anortosito–Mangerito–Granito (AMG). As bordas do corpo sofreram deformação transpressiva em regime dúctil-rúptil, com temperaturas estimadas entre 400 °C – 500°C. Embora, a presença de estruturas leucocráticas com aparência leucossomática e subgrãos em anfibólios sugerem, localmente, temperaturas superiores (~650 °C), com ressalvas interpretativas.

A deformação gerou rochas miloníticas marcadas por recristalização dinâmica, migração de contornos de grão em quartzo e feldspatos, e alinhamento preferencial de fenocristais na direção NW–SW. Na borda oeste, feições planares orientadas e foliações miloníticas com atitude de 340/61 NE nos charnockitos sugerem um episódio de deformação tardia, associado a eventos tectônicos pós-cristalização.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Núcleo de Pesquisas Energéticas (NUPENERG) e ao Departamento de Geologia (DEGEO) da Universidade Federal de Roraima (UFRR) pela infraestrutura colocada à disposição durante o trabalho. A primeira autora agradece a UFRR pela concessão de bolsa de iniciação científica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CPRM. (1999). *Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil.* Roraima Central, Folhas NA.20-X-B e NA.20-X-D (integrais), NA.20-X-A, NA.20X-C, NA.21-V-A e NA.21-V-C (parciais). Escala 1:500.000. Estado de Roraima. Superintendência Regional de Manaus, 166 p.

Fraga, L. M. B., Almeida M. E., & Macambira M. J. B. (1997). First Lead-Lead Zircon Ages of Charnockitic Rocks from Central Guiana Belt (CCB) in the State of Roraima, Brazil. *South-America Symp. On Isotope Geol, 115-117.*

Fraga, L. M. B.(2002) *A Associação Anortosito-Mangerito-Granito Rapakivi (AMG) e suas encaixantes paleoproterozóicas: evolução estrutural, geocronologia e petrologia*. Tese (Doutorado). Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, 351p.

Santos, J. O. S. (2003). Geotectônica dos Escudos das Guianas e Brasil-Central. *Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 169-226.*

Santos, J. O. S., Pinto, V., Mcnaughton, N. J.M., & Silva, L. C. (2011). O magmatismo Serra Grande em Roraima: Formação co-genética de granito rapakivi e charnockito em ca. 1430 Ma. *Simpósio de Geologia da Amazônia, 12.*

Simpson, C., Wintsch, R. P. (1989). Evidence for deformation-induced K-feldspar replacement by myrmekite. *Journal of Metamorphic Geology*, 7, 261-275.

Passchier, C.W., Trouw, R. A. J. (2005). *Micro-tectonics.* Springer-Verlag, 366 p.

Reis, N. J., Fraga, L. M., & Faria, M. S. G., Almeida, M. E. (2003). Geologia do Estado de Roraima, Brasil. In: *Geology Of France and Surrounding Areas – Special Guiana Shield*. No. 2-3-4, BRGM, p. 121-134.

Tassinari, C.C.G.; & Macambira, M.J.B. (2004). A evolução tectônica do Cráton Amazônico. In: Mantesso Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R., Neves, B.B.B (orgs). *O desvendar de um continente: a moderna geologia da América do Sul e o legado da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: Beca, 2004. p. 471-486.

Yardley, B.W.D. (2004). Introdução à Petrologia Metamórfica. Brasília: Editora Universidade Brasília, 434 p.

ST4: GEOLOGIA DO PETRÓLEO, RECURSOS MINERAIS E ENERGÉTICOS

CAULIM: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E UM ENSAIO GEOESTATÍSTICO COM TESTEMUNHOS DE SONDAGEM DA REGIÃO DO RIO CAPIM-PA

Raoni Dias Morasche[1]; Joaquim Carlos Queiroz[1]

[1] Universidade Federal do Pará - UFPA;

rmorasche@gmail.com; joaquimqz@gmail.com

RESUMO

A região do Rio Capim é conhecida mundialmente pelas expressivas reservas caulim de alta qualidade para aplicação na indústria do papel. A produção de caulim do Rio Capim é voltada exclusivamente para o mercado externo e representa uma importante fonte de receita para o estado do Pará: no ano de 2018, foram exportados 168 milhões de dólares de caulim, e os principais destinos foram Bélgica, Canadá e Estados Unidos. O caulim é um silicato de alumínio hidratado e, em função de suas propriedades químicas e físicas, é um produto extremamente versátil, apresentando diversas aplicações industriais, como a fabricação de papel, de cerâmicas, de materiais refratários, de borrachas, de fertilizantes, entre outros produtos. Ele é formado a partir da alteração de minerais de alumínio, principalmente o feldspato, por intemperismo ou hidrotermalismo. Os depósitos da região do Rio Capim são de natureza secundária, formados a partir do intemperismo das rochas da Formação Ipixuna (cretácea): durante o Paleoceno, a sub-bacia de Cametá experimentou um evento de soerguimento que expôs os extratos da formação Ipixuna a condições intempéricas e levou à formação de uma espessa crosta bauxitica/caulinitica. O ensaio geoestatístico realizado neste trabalho utilizou o software livre Programa R com dados de 379 testemunhos de sondagem, da região do Rio Capim, dispostos em uma malha regular cobrindo uma área de aproximadamente 409 ha. Os dados foram interpolados utilizando o método do inverso do quadrado da distância, que estimou um volume de minério equivalente a 218.234.876 toneladas, atestando as expressivas reservas de caulim da região.

PALAVRAS-CHAVE: Caulim; formação Ipixuna; Paleoceno; Geoestatística.

INTRODUÇÃO

O caulim é uma rocha composta essencialmente por caulinita, um silicato de alumínio hidratado que apresenta diversas aplicações na indústria mineral, como na produção de cerâmicas, de impermeabilizantes, de tintas, de refratários, de concreto de alta performance e principalmente na produção de papel. O Brasil é o 8° produtor mundial de caulim, e as principais reservas brasileiras estão localizadas no estado do Pará, o principal produtor nacional, sendo responsável por 90 % da produção do país. No Brasil, a mineração de caulim é operada majoritariamente por três empresas, a Imerys Rio Capim Caulim, a Caulim da Amazônia (Cadam) e a Pará Pigmentos, todas operando

no estado do Pará (Ministério de Minas e Energia 2020). No ano de 2019, o estado do Pará exportou 1.546.049 toneladas de caulim, o que representou uma arrecadação de 168.365.403 US$ (SIMINERAL 2020). Em função da importância dessa commodity mineral na economia nacional, este trabalho realizou uma revisão bibliográfica do atual estado de conhecimento do caulim com destaque para a mineralogia, os tipos de depósito e as características de produção e consumo de caulim no Brasil, bem como do processo de formação e das características dos depósitos de caulim da região do Rio Capim, Paragominas-Pará. Esses depósitos são de natureza secundária, produto de intenso intemperismo químico das rochas da Formação Ipixuna (Cretáceo Superior). Essa formação é a parte superior do preenchimento sedimentar da sub-Bacia de Cametá, localizada na parte oeste da Bacia São Luíz-Grajaú. Durante o Paleoceno inferior, essas rochas foram soerguidas e expostas às condições climáticas quente e úmida, provocando o desenvolvimento de uma espessa capa laterítica matura. Foi realizado também um ensaio geoestatístico utilizando os dados de 379 furos de sondagem com comprimentos médios de 36,1 metros, onde estão discriminados os seguintes parâmetros "estrati" (fácies), "resíduo", "teor" (alvura) e porcentagem de partícula com tamanhos maiores de 2 micras "PSD>2 degrit". Os dados foram tratados utilizando o software livre Programa R, no qual, com base na localização dos furos, os dados foram especializados e foi definida uma área de 409,39 ha. A interpolação dos dados foi realizada utilizando o método do inverso do quadrado da distância (IQD). A quantidade de minério estimada foi equivalente ao peso de 218.234.876 toneladas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizado o levantamento bibliográfico do atual estágio de conhecimento do caulim com ênfase nos depósitos da região do Rio Capim, no estado do Pará, em periódicos nacionais e internacionais, em teses e dissertações, bem como nas agências de controle, a Agência Nacional de produção mineral (ANM) e a U.S. Geological Survay, Mineral Commodity Summaries (2021).

Para o ensaio geoestatístico, foi utilizado um banco de dados geográficos de testemunhos de sondagem da região do Rio Capim, no estado do Pará. O banco de dados contém 379 furos de sondagem georreferenciados, distribuídos em uma malha regular com comprimento médio de 36,1 m. Para cada furo, estão discriminados os seguintes atributos: "estrati" (fácies), "alvura" (teor), "resíduo" e (PSD>2). Os dados foram tratados utilizando o software livre Programa R, e o método de interpolação utilizado foi o inverso do quadrado da distância, um interpolador determinístico univariado de medidas ponderadas (IQD). Este método tem como premissa fundamental que os pontos mais próximos têm mais influência, no valor interpolado, que os pontos mais distantes. Os dados foram especializados com base na localização dos furos e, desse modo, foi definida uma área de 409 ha para a análise. Os atributos "estrati" e "teor" foram utilizados para o cálculo de volume de minério. No atributo "estrati", estão definidas as seguintes categorias: Camada de Caulim Macio (CCM); Camada de Caulim Duro (CCD); Camada de Arenito Caulinítico (CAC); Arenito (ARN) e Cobertura (COB). Para a análise, as camadas foram reclassificadas da seguinte forma: as camadas CCM

e CAC com alvura > 80% foram consideradas minério, as camadas CCI e CCD foram consideradas estéril e as camadas COB e ARN não foram modificadas. Em seguida, foi definido um grid de área 30x30 e em profundidade foram delimitadas 20 camadas com 2,5 metros de espessura definidos assim polígonos unitários com 2.250m³. E então foi aplicado o método de interpolação pelo inverso do quadrado da distância para definir a distribuição espacial das camadas e estimar o volume de minério.

RESULTADOS

O caulim é o termo utilizado para denominar a rocha constituída essencialmente por minerais do grupo da caulinita. A caulinita é formada pela alteração de minerais de alumínio, principalmente o feldspato, em condições de intemperismo, diagênese ou hidrotermalismo. Em virtude de suas propriedades químicas e físicas, como ser quimicamente estável em uma ampla faixa de Ph (3 a 9), ser macio e pouco abrasivo, possuir alvura elevada e apresentar baixa condutividade térmica e elétrica, o caulim possui uma ampla gama de aplicações industriais e é utilizado na fabricação de fibra de vidro, de plástico, de tintas, de borracha, de cerâmicas e de materiais refratários e, na indústria do petróleo, como catalisadores e em concreto de alto desempenho (Murray, 2000; Luz *et al*., 2008), entretanto a sua principal aplicação é na indústria do papel.

Mineralogia caulim

O grupo da caulinita é constituído pelos minerais dickita, nacrita, haloesita e caulinita, o principal representante do grupo. A caulinita é um filo-silicato de alumínio hidratado, a sua composição química se aproxima de $Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$ e apresenta estrutura cristalina no sistema monoclínico (Christidis, 2011). O tamanho, a forma e a distribuição das partículas são fatores que interferem nas suas aplicações industriais; por exemplo, na indústria do papel, o tamanho utilizado como padrão é de 2 μm. Além dos minerais do grupo da caulinita, nos depósitos do caulim podem estar presentes outros minerais, como quartzo, muscovita, biotita, clorita, gibbsita, cristobalita, alunita, esmectita, ilita, feldspato, anatásio e pirita. A presença desses minerais afeta propriedades químicas importantes do caulim, como a alvura, a brancura, a viscosidade e a abrasividade (Luz *et al*., 2008).

Tipos de depósito de caulim

Em função de sua origem, os depósitos de caulim são classificados como primários ou secundários. Os depósitos primários são produtos da alteração “in situ” de rochas ricas em minerais aluminossilicatos por meio dos processos de intemperismo e hidrotermalismo. Os depósitos de caulim primário são classificados em depósito intemperizado, hidrotermal e solfataras. O caulim intemperizado é formado em regiões de clima quente e úmido, onde as condições físico-químicas são propícias à alteração dos feldspatos e outros aluminossilicatos. Já nos depósitos hidrotermais e solfataras, o agente que produz a alteração para a caulinita é a circulação de fluidos

quentes provenientes do interior da crosta ou de águas joviais (Luz e Chaves 2000). Os depósitos de caulins secundários são formados pela alteração para caulinita em rochas sedimentares que passaram pelo processo de erosão, transporte e deposição. O processo de formação do caulim pode ocorrer em cada uma dessas etapas e ainda o caulim primário já formado ser erodido, transportado e depositado. Os ambientes deposicionais mais propícios para a formação de depósitos secundários de caulim são os marinhos, lacustrino, fluviais e deltáicos (Luz *et al*., 2008). Os caulins secundários podem ser classificados em três grupos: caulins sedimentares, areias cauliníticas e argilas plásticas e refratárias. O caulim sedimentar apresenta uma alta percentagem de caulim (> 60%); em função disso, é o principal tipo de caulim utilizado como insumo pela indústria de papel (Luz e Chaves 2000).

Produção nacional de caulim

No Brasil, as principais reservas encontram-se nos estados do Amazonas e do Pará, as quais, juntas, correspondem a 98% das reservas nacionais, e esses depósitos são do tipo secundário, de alta qualidade para a produção de papel. Nos demais estados, o caulim é principalmente do tipo primário, com destaque para os estados de São Paulo, Goiás, Santa Catarina e Paraná (Campos *et al*., 2018). Nessas regiões, a mineração é operada por empresas de pequeno e médio porte e a produção atende principalmente a demanda interna. Em termos de produção, o estado do Pará é o principal produtor de caulim, concentrando 90,6% da produção nacional, o equivalente a 1,5 Mt/ano. As operações são realizadas por três empresas, Imerys Rio Capim Caulim, Pará Pigmentos e Caulim da Amazônia (CADAM), essa produção é voltada exclusivamente para o mercado externo: o valor exportado no ano de 2018 foi de 168 milhões de dólares e os principais destinos foram Bélgica, Canadá e Estados Unidos (SIMINERAL 2020).

Distrito Caulinítico Bauxítico Paragominas-Capim

Na região do rio Capim, está localizado o principal distrito de caulim do país, onde o minério apresenta alta qualidade e tem reservas estimadas em 6 bilhões de toneladas. Os depósitos são de natureza secundária, produto do intemperismo dos estratos da Formação Ipixuna (Cretáceo Superior). Durante o Paleoceno, a sub-bacia de Cametá experimentou um evento de soerguimento que expôs os extratos da Formação Ipixuna a condições de clima quente e úmido e levou à formação de uma expressa crosta laterítica matura onde estão hospedados os depósitos de caulim da região do Rio Capim (Kotschoubey 1999). O minério da região do Rio Capim, ocorre em camadas estratiformes, sub-horizontais apresenta a composição química próxima da composição química teórica do caulim, ou seja, é constituído quase que exclusivamente por alumínio e silício, com pequenas quantidades de ferro e titânio, inferiores a 2%, e os demais elementos ocorrem em concentrações traço. Em relação à alvura e à distribuição granulométrica, o minério de caulim apresenta alvura majoritariamente maior que 80% e os cristais de caulim são bem formados, com tamanhos médios de 2μm, podendo atingir até 15μm (Costa, 2009; Texeira, 2015).

Ensaio Geoestatístico: construção de um modelo 3d e cálculo do volume de minério

A área de análise definida com a espacialização dos testemunhos foi de 409 ha. Após a reclassificação das camadas, o atributo minério passou a representar 59,6% dos valores observados. Com a interpolação dos dados, o volume calculado para a camada de minério foi de 121.242.598 m³ (59,67%); considerando a densidade do caulim com aproximadamente 1,8 g/cm³, a quantidade de minério estimada é de 218.234.876 toneladas. Os resultados são apresentados na figura a seguir.

DISCUSSÕES

A região do Rio Capim é o maior distrito mineral de bauxita e caulim do Brasil e um dos mais importantes do mundo, apresentando reservas estimadas em aproximadamente 6 bilhões de toneladas de caulim de alta qualidade. O Pará também é o maior produtor de caulim do país, produzindo em média 1,5 Mt/ano, com produção destinada exclusivamente para a exportação. Os resíduos dessa atividade, apesar de não serem tóxicos, geram externalidades ambientais negativas, uma vez que são dispostos em bacias de sedimentação que ocupam grandes áreas, provocando alteração da paisagem e exigindo altos custos de construção e manutenção. Todavia, diversos estudos têm demonstrado que esses resíduos, apesar de não serem adequados para a fabricação de papel, têm características tecnológicas apropriadas para serem empregados como matéria-prima para diversas outras aplicações, como na fabricação de materiais refratários, de cerâmicas, de tintas, de argamassa, de pozolanas, zeólitas, entre outras (Sousa *et al.,* 2007). Desse modo, a valorização econômica desse material pode se configurar como uma oportunidade de ampliar os benefícios econômicos e sociais promovidos pela mineração, além de mitigar externalidades negativas produzidas por essa atividade.

A principal função dos métodos geoestatísticos é fazer a espacialização dos dados coletados e inferir valores nos locais não amostrados para, assim, realizar a avaliação quantitativa de uma certa reserva. O método de interpolação dos dados deve ser escolhido em função das características do depósito. O IQD é adequado para interpolar dados que não apresentam tendencias espaciais complexas, sem variação abrupta de valores e que os dados estejam uniformemente distribuídos. Os depósitos da região do Rio Campin em função de sua natureza tabular e sub-horizontal se mostraram adequando para aplicação do IQD

CONCLUSÕES

O caulim é um mineral industrial que apresenta diversas aplicações na sociedade contemporânea, sendo utilizado na fabricação de cerâmicas, de impermeabilizantes, de tintas, de refratários, de concreto de alta performance e principalmente na produção de papel. O principal distrito mineral de caulim do país está localizado na cidade de Parauapebas-PA, região do Rio Capim. Os depósitos, estimados em 6 bi de toneladas,

são de natureza secundária e são produto do processo de intemperismo dos estratos sedimentares da Formação Ipixuna (Cretáceo Superior) durante o paleogeno. Esse evento é responsável pela formação de uma espessa crosta laterítica matura, que hospeda os depósitos de caulim.

A interpolação dos dados por meio do método IQD estimou reservas de 218.234.876 toneladas e demostrou-se eficiente na elaboração do modelo 3d de distribuição das camadas em depósitos estratiformes.

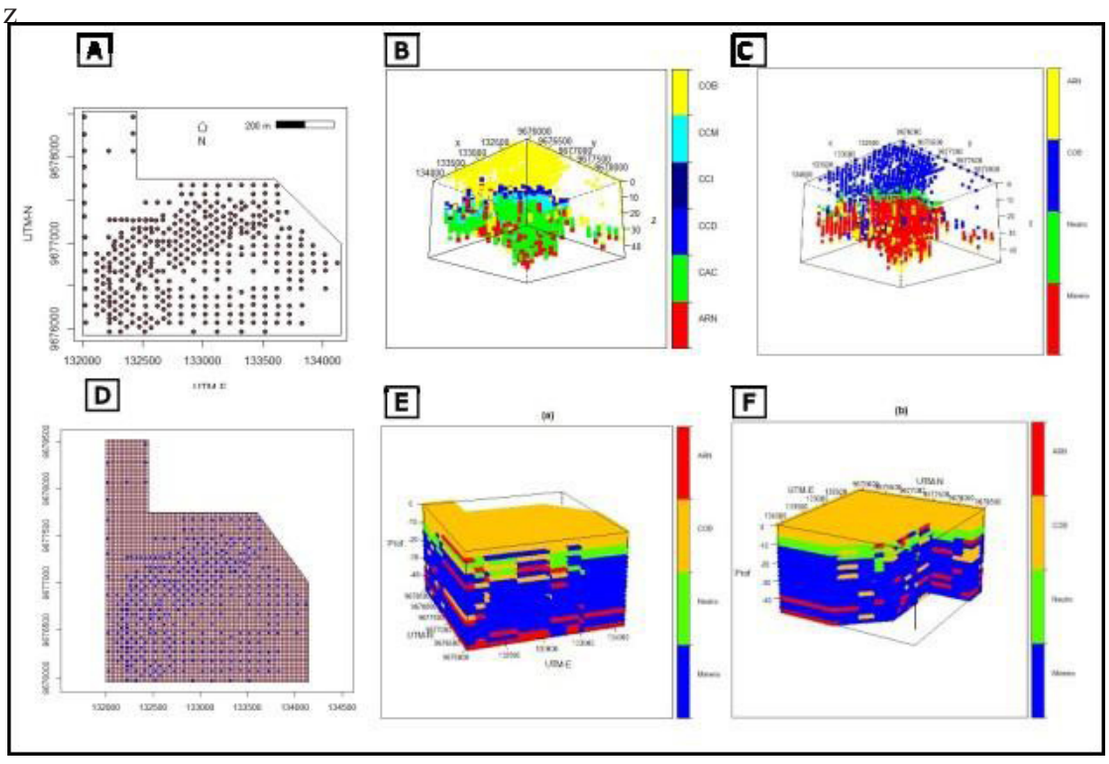


Figura 1. A – Distribuição geográfica dos 397 testemunhos e definição da área de análise. B – Distribuição espacial do atributo "estrati". C – Reclassificação das camadas em ARN, COB, Estério (Neutro) e Minério. D – Divisão do volume total em blocos unitários com 2.250m³ (30mx30mx2,5m). E e F – Bloco diagrama com a distribuição espacial das camadas reclassificadas e interpoladas

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SIMINERAL (2020). ANUÁRIO DE MINERAL DO PARÁ 2019. 8ª Edição, Belém-PA. Disponível em: https://simineral.org.br/pdf/anuarios/8-desktop_pt-br.pdf consultado em 13/06/2025.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (2020) BOLETIM DO SETOR MINERAL 2020 4ª Edição, Brasília-DF Disponível em: http://antigo.mme.gov.br/documents/36108/1006289/Boletim+do+Setor+Mineral+-+julho+2020/abcdb81f-e8e6-dd16-243f-87e97f23f418?version=1.1 consultado em 13/06/2025.

Campos A. P., Monteiro C. M., Silva J. P. A (2018). Sumário Mineral Brasileiro – Agência Nacional de Mineração, Brasília-DF Disponível em: https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/sumario-mineral-brasileiro-2018 consultado em 13/06/2025.

Christidis C. E.(2011). The geological setting for Industrial mineral resources – European mineralogical union Notes in Mineralogy, Vol. 9, capitulo 9, 341 – 414.

Costa, M. L., Sousa, D. J. L., Angelica, R. S. (2009). The contribution of lateritization processes to the formation of the Kaolin deposits from Eastern Amazon Journal of South American Earth sciences 27, 219 – 234.

Kotschoubey B. Duarte A. L. S. Truckenbrodt W (1999). – Cobertura Bauxítica e origem do caulim do Morro do Felipe, Baixo rio Jari, estado do Amapá. Revista Brasileira de Geociências N° 29.

Luz A.B., Chaves A. P (2000). Tecnologia do caulim: ênfase na indústria de papel Rio de Janeiro Cetem/MCT.

Luz A. B. Campos A. Carvalho E. A. Bertolino L. C. Scorzelli R. B. (2008). Argila – Caulim Rochas e Minerais Industriais – CETEM 2ª edição 2008 Capítulo 12 pg 255 – 294.

Murray H. H. (2000). Traditional na new applications for Kaolin, semectite, and palygorskite: a general overview. Applied Clay Science ed.17, 207-221p.

Texeira, G. K. Caracterização mineralógica do Caulim: Aplicação em perfis dos depósitos do Rio Capim-PA (2015). Dissertação (mestrado em geociências), Programa de pós-graduação em geociências Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

U.S. Geological Survay (2021). Mineral Commodity Summaries, January. Disponível em: https://www.usgs.gov/centers/nmic/mineral-commodity-summaries consultado em 13/06/2025.

Sousa L. D. A; Harima E Leite J. Y. P. (2007). Alternativa tecnológica para o rejeito de caulim do APL de Base Mineral - RN e PB. II Congresso de Pesquisa e Inovação Norte e Nordeste de Educação Tecnológica – João Pessoa-PB.

MAPA DE PROSPECTIVIDADE DA REGIÃO DE FILADÉLFIA, MT

Gabriel de Freitas Gonçalves[1]; Sulsiene Machado de Souza Gaia[1]; Fernando Santos Diener[1]; Gil Barreto Trindade Netto[1]; Joffre Valmório de Lacerda Filho[1]

[1] Serviço Geológico do Brasil – CPRM

gabriel.goncalves@sgb.gov.br

RESUMO

O trabalho integra o projeto "Geologia e Potencial Mineral da Província Rondônia-Juruena (Subárea Filadélfia)", desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM). A área de estudo, no noroeste de Mato Grosso, abrange rochas vulcanossedimentares do Grupo Roosevelt, associadas ao mesmo contexto geológico do depósito VMS de Pb-Zn-Ag-Au de Aripuanã. Este grupo é composto por sequências metavulcânicas e metassedimentares formadas entre 1,79 e 1,74 Ga. A metodologia adotada inclui diversos dados geológicos obtidos por mapeamento e sensores remotos e a integração dos dados foi feita por meio de sobreposição de múltiplas classes, atribuindo pesos a cada mapa temático. Os resultados indicaram que as áreas de maior favorabilidade mineral concentram-se nas porções central e nordeste, especialmente nas rochas do Grupo Roosevelt, controladas por estruturas E-W. Foram identificadas cinco ocorrências de cobre e uma de ouro, sendo que 83% dessas estão inseridas em apenas 14,8% da área classificada como de média a alta favorabilidade. O estudo demonstra que o modelo de prospectividade é uma ferramenta eficaz na identificação preliminar de áreas com potencial mineral, embora a baixa densidade de dados na região reforce a necessidade de levantamentos adicionais para aumentar a confiabilidade dos resultados.

PALAVRAS-CHAVE: Província Rondônia-Juruena; Grupo Roosevelt; recursos minerais; mapa favorabilidade

INTRODUÇÃO

O trabalho está inserido no projeto "Geologia e Potencial Mineral da Província Rondônia - Juruena (Subárea Filadélfia)" realizado pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM na Superintendência Regional de Goiânia. A área estudada está localizada a noroeste do estado de Mato Grosso e compreende um total de 12.000km² divididos em quatro folhas mapeadas na escala 1:100.000.

A área de estudo compreende as rochas vulcanossedimentares do Grupo Roosevelt, localizado na Província Rondônia-Juruena (Figura 1). Este contexto geológico está associado ao mesmo vulcanismo do depósito de Pb-Zn-Ag-Au do tipo VMS (*Volcanogenic Massive Sulfide*) de Aripuanã (Leite *et al* 2004), que definiu o foco atual do estudo. Na porção central da área, alinhadas em cinturões leste oeste, encontram-se

rochas associadas à sequência plutovulcânica e sedimentar do Grupo Roosevelt (1,79 a 1,74 Ga) metamorfisadas. De acordo com Rizzotto & Leite (2004), o Grupo Roosevelt compreende uma unidade basal com dacitos e riolitos intercalados com basaltos e tufos subordinados; uma unidade intermediária de ignimbritos e conglomerados vulcanoclásticos; uma unidade superior composta por meta-argilitos interdigitados com metacherts, formações ferríferas e manganesíferas e metatufos.

Trindade Netto *et al*. (2020) dividiu ainda o Grupo Roosevelt nas formações Serra do Expedito e Filadélfia, cada uma com membros e camadas distintas. A Formação Serra do Expedito é caracterizada por rochas metavulcanoclásticas intercaladas com rochas metassubvulcânicas ácidas e máficas, indicativas de um ambiente subaquoso a subaéreo raso. A Formação Filadélfia é constituída principalmente por rochas metassedimentares psamo-pelíticas com metassedimentos químicos, tufos ressedimentados e conglomerados intercalados, representando um ambiente subaquático a subaéreo.

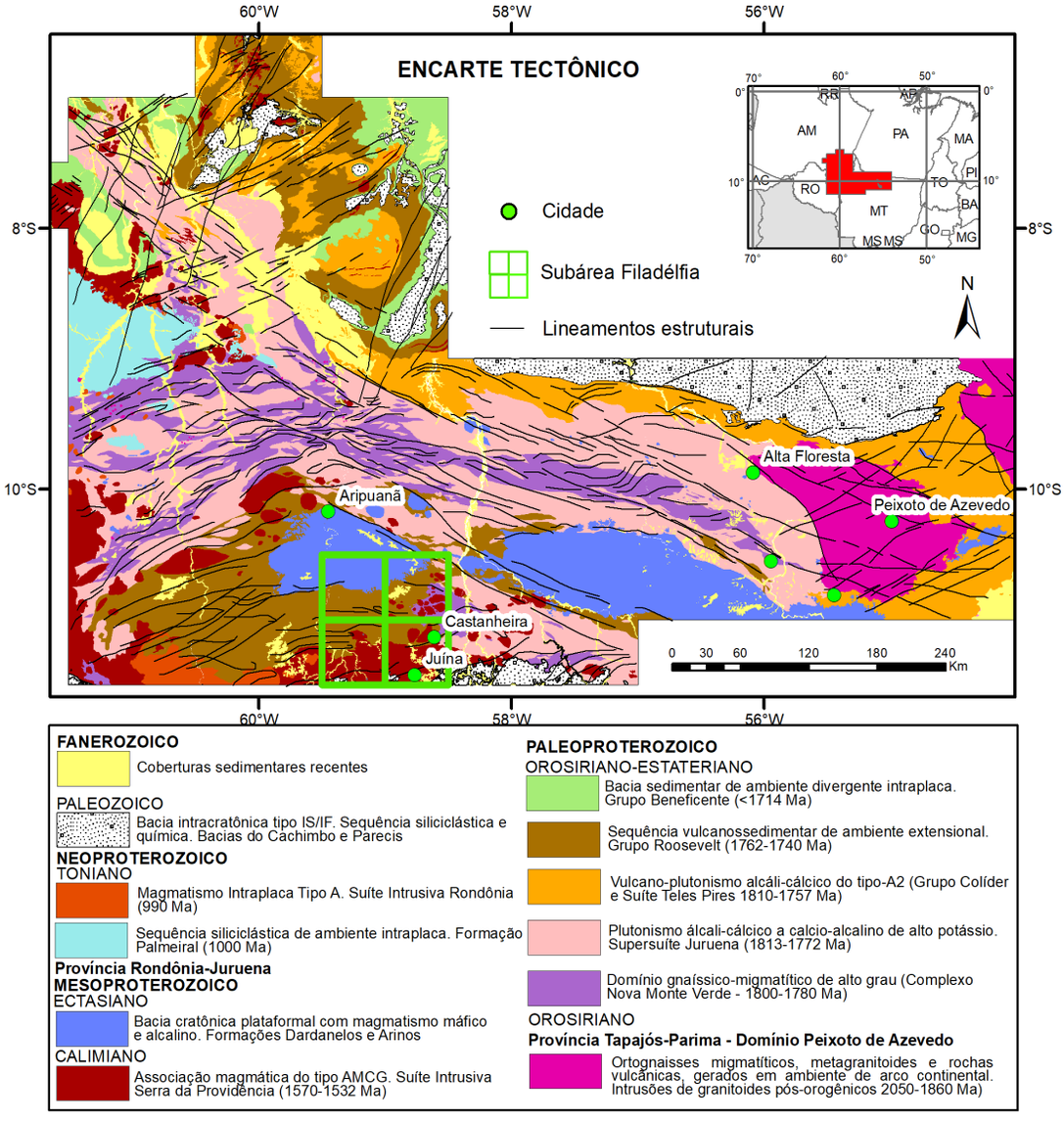


Figura 1 – Mapa geotectônico da Província Rondônia-Juruena, destacando a área de estudo em verde. (Modificado de Alves *et al* 2019)

MATERIAIS E MÉTODOS

De forma semelhante à integração de dados apresentada por Trindade-Netto (2020), este trabalho abrange a cartografia geológica na escala 1:100.000, análises petrográficas, geoquímicas de sedimentos de corrente e de concentrados de bateia, além do uso de sensoriamento remoto com imagens do satélite ALOS-PALSAR. Também foram incorporados levantamentos geofísicos aéreos, incluindo dados de aerogamaespectrometria e aeromagnetometria.

A integração dos dados utilizou o método de sobreposição de múltiplas classes (Carranza 2009). Para cada mapa de evidências foi atribuída uma pontuação baseada na importância do processo mapeado para a formação do depósito mineral. Estes mapas foram gerados utilizando médias ponderadas ou distâncias euclidianas, dependendo da natureza de cada conjunto de dados, utilizando o software *ArcGIS* e a ferramenta *Spatial Analyst*. Posteriormente, foram atribuídos pesos a cada mapa de evidências e o mapa prospetivo final foi criado através do cálculo da média ponderada de todos os mapas de evidências.

RESULTADOS

As regiões destacadas pelo modelo prospetivo estão concentradas nas porções central e nordeste da área de estudo (Figura 2, apresentada ao final do texto), predominantemente dentro das rochas vulcânicas do Grupo Roosevelt e influenciadas principalmente por estruturas E-W. A área de estudo é uma região relativamente inexplorada com dados de investigação e registos de ocorrências limitados. Um total de cinco ocorrências de cobre e uma ocorrência de ouro foram identificadas durante o mapeamento. Apesar da falta de dados extensivos, a análise revelou que 83% dessas ocorrências estão localizadas dentro de 14,8% da área classificada como de média a alta favorabilidade (Figura 3a). Além disso, o desempenho do modelo foi avaliado utilizando as curvas *Receiver Operating Characteristic* (ROC) e a métrica *Area Under the Curve* (AUC). O modelo demonstrou uma forte capacidade de previsão, alcançando uma pontuação AUC de 0,811, o que indica uma boa precisão na identificação de potenciais zonas mineralizadas (Figura 3b).

DISCUSSÕES

O mapa de prospectividade gerado a partir do método de sobreposição de múltiplas camadas é capaz de apresentar um produto interessante e útil para a análise de favorabilidade mineral inicial de uma área. A porção central do mapa, por exemplo, apresenta um índice de favorabilidade muito elevado, tal como indicado pelo modelo, apoiado ainda pela presença de uma ocorrência de cobre registada nas proximidades (Gonçalves *et al.,* 2024).

Embora o nível de conhecimento sobre prospecção na região seja atualmente baixo, o que limita a validação do modelo, os resultados são promissores, pois identificam novas áreas com fortes indicadores de favorabilidade. No entanto, para aumentar a confiabilidade e a precisão do modelo, seria necessário efetuar investigações complementares nas regiões destacadas.

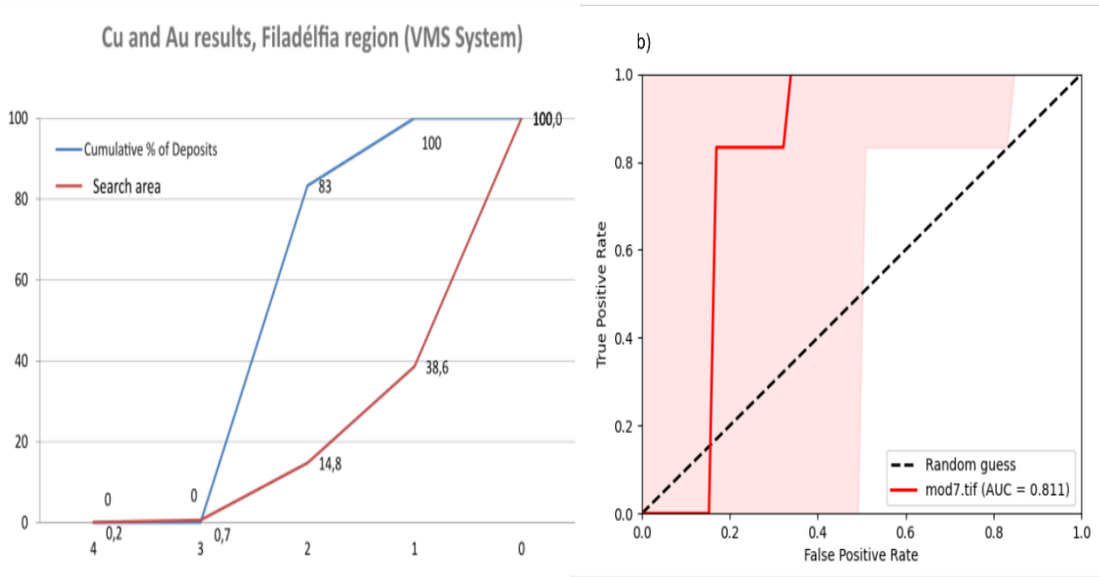


Figura 3 – a) Percentagem de ocorrências versus área de investigação com favorabilidade média a alta; b) Curva ROC e AUC mostrando a eficácia do modelo.

CONCLUSÕES

A ferramenta utilizada para gerar o mapa de prospectividade da região de Filadélfia se mostrou de grande valia para filtrar localizações onde a tendência se mostra mais favorável para um aprofundamento na pesquisa mineral.

Contudo, deve-se pontuar que para uma maior confiabilidade do mapa, seria interessante um maior nível de dados, principalmente de ocorrências, e ao final um trabalho de checagem para validar o produto, incluindo um *follow-up* nas regiões avaliadas com maior potencial.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Serviço Geológico do Brasil (CPRM), responsável pelo financiamento do projeto "Geologia e Potencial Mineral da Província Rondônia - Juruena (Subárea Filadélfia) " e a todos os colegas que colaboraram com a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves, C. L., Rizzotto, G. J., Rios, F. S., & Gonçalves, G. F. (2019). Projeto evolução crustal e metalogenia da Província Mineral Juruena – Teles-Pires: áreas de relevante interesse mineral (ARIMs) [Informe de recursos minerais, Série Províncias Minerais do Brasil; no. 10]. CPRM.

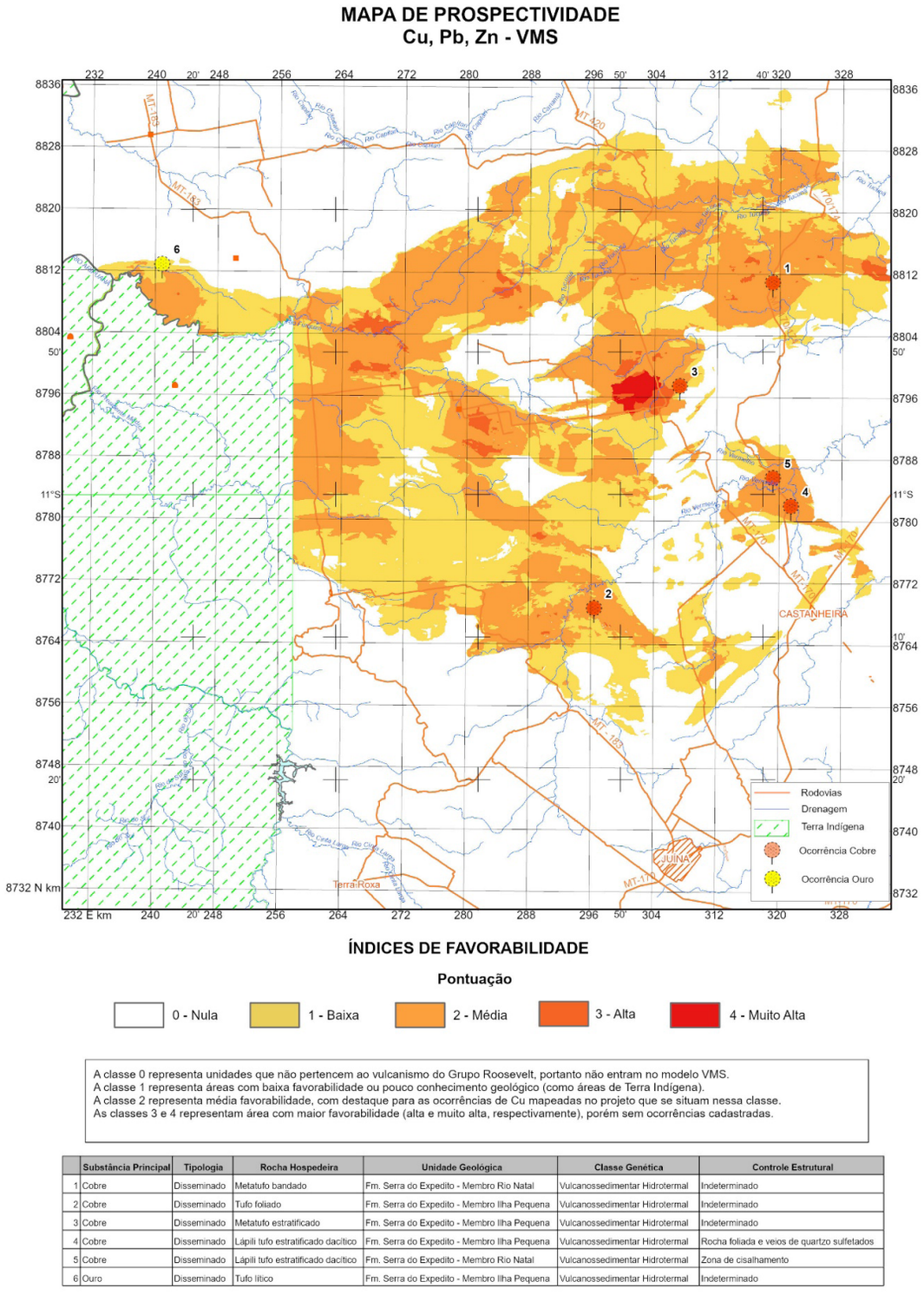
Carranza, E. J. M. (2009). Geochemical anomaly and mineral prospectivity mapping in GIS (Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry, Vol. 11). Elsevier.

Gonçalves, G. F., Souza Gaia, S. M., Diener, F. S., Trindade-Netto, G. B., & Lacerda Filho, J. V. (2024). Mapa de prospectividade para cobre, chumbo e zinco – VMS na região de Filadélfia, MT [Mapa em escala 1:250 000]. CPRM.

Leite, J. A. D., Souza, M., Saes, G. S., Macambira, M. J. B., Xavier, R. P. Siqueira, A. J., Batata, M. E. F., Oliveira, F. A., Silva Jr, J. G., & Quadros, A. P. (2004). Caracterização do depósito polimetálico (Zn, Pb, Ag, Cu-Au) de Aripuanã, Mato Grosso (Capítulo X). In J. O. Marini & T. E. Queiroz de Ramos (Eds.), Projeto caracterização de depósitos minerais em distritos mineiros da Amazônia (pp. 601–680). CPRM.

Rizzotto, G. J., & Leite, J. A. D. (2004). Grupo Roosevelt. In J. V. Lacerda Filho, W. Abreu Filho, C. R. Valente, C. C. de Oliveira, & M. C. de Albuquerque (Eds.), Geologia e recursos minerais do Estado de Mato Grosso: texto explicativo dos mapas geológico e de recursos minerais do Estado de Mato Grosso – escala 1:1.000.000 (pp. 68–69). CPRM.

Trindade-Netto, G. B., Diener, F. S., Fuentes, D. B. V., & Rezende, E. S. (2020). Projeto evolução crustal e metalogenia da região de Aripuanã: áreas de relevante interesse mineral [Informe de recursos minerais, Série Províncias Minerais do Brasil; no. 28]. CPRM. ISBN 978-65-5664-000-6.



	Substância Principal	Tipologia	Rocha Hospedeira	Unidade Geológica	Classe Genética	Controle Estrutural
1	Cobre	Disseminado	Metatufo bandado	Fm. Serra do Expedito - Membro Rio Natal	Vulcanossedimentar Hidrotermal	Indeterminado
2	Cobre	Disseminado	Tufo foliado	Fm. Serra do Expedito - Membro Ilha Pequena	Vulcanossedimentar Hidrotermal	Indeterminado
3	Cobre	Disseminado	Metatufo estratificado	Fm. Serra do Expedito - Membro Ilha Pequena	Vulcanossedimentar Hidrotermal	Indeterminado
4	Cobre	Disseminado	Lápili tufo estratificado dacítico	Fm. Serra do Expedito - Membro Ilha Pequena	Vulcanossedimentar Hidrotermal	Rocha foliada e veios de quartzo sulfetados
5	Cobre	Disseminado	Lápili tufo estratificado dacítico	Fm. Serra do Expedito - Membro Rio Natal	Vulcanossedimentar Hidrotermal	Zona de cisalhamento
6	Ouro	Disseminado	Tufo lítico	Fm. Serra do Expedito - Membro Ilha Pequena	Vulcanossedimentar Hidrotermal	Indeterminado

Figura 2 – Mapa de prospectividade da região de Filadélfia (modificado de Gonçalves *et al*., 2024)

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL GERADOR DE HIDROCARBONETOS E DO PALEOAMBIENTE DA FORMAÇÃO PIRARA – BACIA DO TACUTU

Raíssa Castro[1]; Rodolfo Dino[1]; Luzia Antonioli[1]; Giovanni Eneas[1]; Raquel Nicolau[1]; Helena Portela[1]; Vladimir Souza[2]; Lorena Malta[2]; Moeme Ramos[2]; Carlos Bicudo[2]

[1]Universidade do Estado do Rio de Janeiro- UERJ;
[2]Universidade Federal de Roraima -UFRR;

raissacastrool@hotmail.com[1]

RESUMO

A Bacia do Tacutu, situada no Escudo das Guianas ao norte do Cráton Amazônico, teve sua evolução iniciada no Mesozoico, associada a um rifte abortado vinculado a uma junção tríplice formada durante o Jurássico. Caracteriza-se estruturalmente como um meio-gráben. A Formação Pirara, foco desta pesquisa, corresponde à fase rifte da bacia e é composta por rochas evaporíticas, carbonáticas e pelíticas. Apesar de sua relevância, a idade precisa e o ambiente deposicional dessa unidade ainda são temas de debate científico. Este estudo destaca-se pela análise inédita de amostras de testemunhos de sondagem recentemente coletadas, que representam um material até então pouco explorado em pesquisas anteriores. A abordagem metodológica concentra-se em análises palinológicas, de palinofácies e geoquímicas orgânicas (COT e Pirólise Rock-Eval), ferramentas fundamentais para a caracterização da matéria orgânica e reconstrução do paleoambiente deposicional. Através da identificação e quantificação de palinomorfos, fitoclastos e material amorfo, foi possível interpretar as condições de oxigenação, a produtividade biológica e o grau de preservação da matéria orgânica. As palinofácies indicam predominância de matéria orgânica de origem continental, com baixa influência marinha, evidenciada pela ausência de palinomorfos marinhos. Os dados de geoquímica orgânica revelaram teores elevados de carbono orgânico total (COT), variando entre 2% e 8%, com o querogênio classificado predominantemente como tipos III e IV. Com base nesses resultados, interpreta-se que a deposição da Formação Pirara ocorreu em um ambiente continental do tipo playa lake, sob condições climáticas áridas a semiáridas, durante o Jurássico Médio, no contexto tectônico da abertura do Atlântico Central, na região do Caribe Meridional.

PALAVRAS-CHAVE: Jurássico; COT; Pirólise Rock-Eval; *Playa lake*.

INTRODUÇÃO

A Bacia do Tacutu, localizada no Escudo das Guianas, ao norte do Cráton Amazônico, representa um importante registro geológico associado à tectônica rifte do Mesozoico (Eiras *et al.,* 1994). Sua evolução está vinculada a um rifte abortado, relacionado a uma junção tríplice formada durante o Jurássico,

resultando em uma configuração estrutural típica de meio-gráben. Entre suas unidades estratigráficas, destaca-se a Formação Pirara, que corresponde à fase rifte da bacia e é composta por depósitos evaporíticos, carbonáticos e pelíticos. Apesar da relevância geológica e estratigráfica da Formação Pirara, aspectos fundamentais como sua idade exata e o ambiente deposicional ainda permanecem pouco definidos, gerando discussões entre pesquisadores. O acesso recente a testemunhos de sondagem inéditos proporcionou uma oportunidade única para um estudo mais detalhado dessa unidade, que até então contava com poucos dados diretos (Castro *et al*., 2021). Neste contexto, este trabalho tem como objetivo caracterizar a matéria orgânica e reconstruir o paleoambiente deposicional da Formação Pirara, utilizando como principais ferramentas a análise palinológica, a palinofácies e a geoquímica orgânica (COT e Pirólise Rock-Eval). Essas metodologias permitem avaliar as condições de oxigenação, a produtividade biológica e o grau de preservação da matéria orgânica, fornecendo informações essenciais para a interpretação paleoambiental. Os resultados obtidos contribuem para um melhor entendimento da história deposicional da bacia, com implicações para a evolução paleoclimática e tectônica da região durante o Jurássico Médio, no contexto da abertura do Atlântico Central.

MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras analisadas são oriundas dos furos de sondagem RR01 e RR02, realizados no município de Bonfim, Roraima, e cedidos à Universidade do Estado do Rio de Janeiro. No furo RR01, foram estudadas 47 amostras entre 8,70 m e 40,15 m de profundidade, enquanto no furo RR02 foram analisadas 24 amostras entre 12 m e 39 m, todas pertencentes à Formação Pirara. As análises utilizadas foram palinologia e geoquímica orgânica: COT e Pirólise Rock-Eval.

RESULTADOS

Foram identificados três grupos orgânicos principais nas amostras dos poços RR01 e RR02: fitoclastos, palinomorfos e material amorfo. A associação palinológica observada é predominantemente não marinha, indicando um ambiente deposicional continental ou transicional. Nas análises de geoquímica orgânica, os teores de Carbono Orgânico Total (COT) variam entre 0% e 8%, com valores superiores a 1% concentrados nas fácies de folhelho, o que sugere um bom potencial gerador de hidrocarbonetos. Nessas mesmas fácies, os resultados da Pirólise Rock-Eval revelam valores elevados do parâmetro S2, reforçando a presença de matéria orgânica com potencial termogênico significativo.

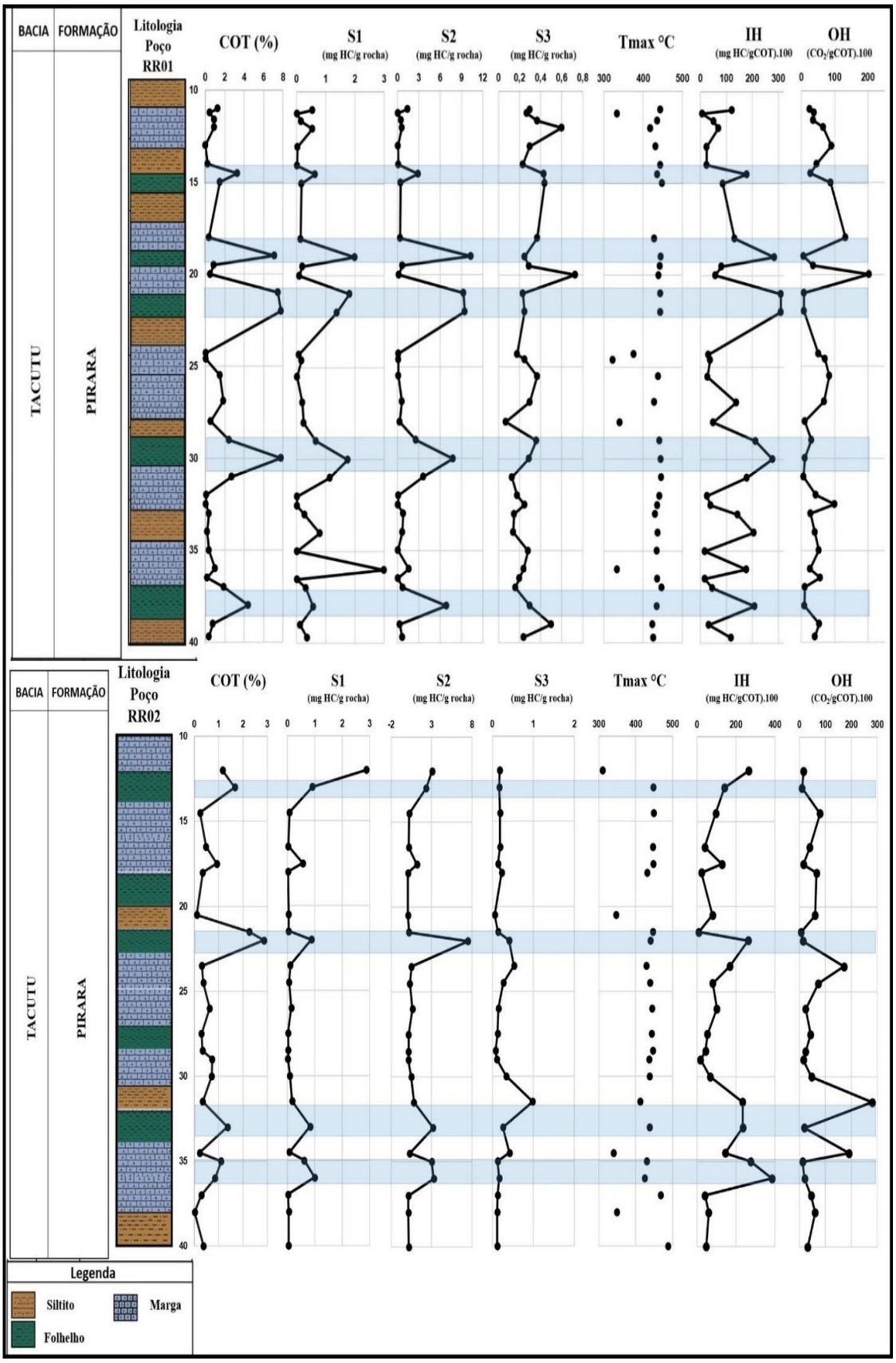


Figura 1 – Resultados de Geoquímica Orgânica COT e Pirolise Rock-Eval dos poços RR01 e RR02

DISCUSSÕES

A Formação Pirara apresenta uma associação palinológica predominantemente não marinha, evidenciada pela ausência de paleomicroplâncton marinho e pela abundância de esporos, grãos de pólen e resíduos orgânicos de origem continental. sugerindo uma idade Jurássica para os depósitos, ainda que sem definição bioestratigráfica precisa devido ao alto grau de carbonização dos palinomorfos e à ausência de espécies-guia.

As análises geoquímicas (COT e Pirólise Rock-Eval) nos poços RR01 e RR02 indicam bom potencial gerador de hidrocarbonetos nas fácies de folhelho, com mistura de matéria orgânica do tipo II e III, conforme mostra o diagrama de Van Krevelen. Fácies não folhelhos as apresentam menor índice de hidrogênio (IH), sugerindo predomínio de matéria orgânica terrestre e inerte (tipos III e IV), o que está de acordo com a palinologia. Apesar disso, os altos valores de IH em algumas fácies sugerem possível contribuição marinha, não confirmada pela análise palinológica. Assim, são necessárias análises complementares, como biomarcadores, para determinar com maior precisão o tipo e a origem da matéria orgânica e seu grau de maturação térmica.

CONCLUSÕES

Com base nos dados palinológicos e geoquímicos obtidos dos poços RR01 e RR02 da Formação Pirara, conclui-se que as amostras analisadas apresentam caráter continental, com associações palinológicas dominadas por esporos, grãos de pólen e resíduos orgânicos de origem terrestre, sem a presença de microfósseis marinhos. A abundância do gênero *Classopollis* e demais formas associadas indica uma idade jurássica provável e condições paleoambientais áridas a semiáridas, compatíveis com ambientes lacustres. As análises de COT e Pirólise Rock-Eval evidenciam um bom potencial gerador de hidrocarbonetos nas fácies de folhelho, com predominância de matéria orgânica do tipo III, embora os dados apresentem certa heterogeneidade. A ausência de elementos marinhos na palinologia, contrastando com altos valores de IH em algumas fácies, levanta a possibilidade de contribuição mista (continental/marinha) ainda não confirmada. Diante disso, reforça-se a necessidade de análises complementares, como biomarcadores, para melhor caracterização da origem, tipo e grau de maturação da matéria orgânica presente nos estratos da Formação Pirara.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal de Roraima (UFRR) e à Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) pelo apoio institucional e científico durante a realização deste trabalho. Em especial, ao Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (PRH-ANP) pelo fomento e incentivo à pesquisa, fundamentais para o desenvolvimento deste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Castro, R., Giorgioni, M., De Souza, V., Ramos, M., Feitoza, L. M., Dino, R., e Antonioli, L. (2021). Facies analysis, petrography, and palynology of the Pirara Formation (Upper Jurassic-Lower Cretaceous) - Tacutu Basin (Roraima, Brazil). *Journal of South American Earth Sciences, 112,* 103574.

Eiras, J. F., Kinoshita, E. M., e Feijó, F. J. (1994). Bacia do Tacutu. *Boletim de Geociências da Petrobrás, 8*, 83-89.

POTENCIAL METALOGENÉTICO DE ROCHAS MÁFICAS, ULTRAMÁFICAS E PRODUTOS INTEMPÉRICOS ASSOCIADOS NA REGIÃO DA SERRA DA LUA, RORAIMA

Michele Zorzetti Pitarello[1]; Leonardo Aguiar[1]; Brenda de Andrade Feitosa[1,2]; Bruna Yumi Iimori Macêdo[1,2]; Bruno Silva de Souza[1,2]; Túlio Amós de Araújo Mendes[1]; Antonio Charles da Silva Oliveira[1]; Michel Marques Godoy[1]

[1]Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM);
[2]Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ

michele.pitarello@sgb.gov.br; *leonardo.aguiar@sgb.gov.br*; *brenddandrad@gmail.com*; *yumi_iimori@hotmail.com*; *brunossouza.geo@gmail.com*; *tulio.mendes@sgb.gov.br*; *charles.oliveira@sgb.gov.br*; michel.godoy@sgb.gov.br

RESUMO

Na região da Serra da Lua, em Roraima, estudos regionais com base em dados geofísicos, geoquímicos e de modelagem espacial mostram áreas de favorabilidade para concentração de metais de afinidade máfica-ultramáfica como Co, Cr, Fe, Ni, Ti e V. Durante o mapeamento geológico do Projeto Serra da Lua, do Serviço Geológico do Brasil, essas áreas foram checadas com o objetivo de esclarecer seu contexto geológico. Como resultado, foram mapeados diversos corpos de metagabros, metapiroxenitos e metatroctolitos, com magnetititos, crostas lateríticas, bauxitas, silcretes e concreções manganesíferas associados. Análises químicas evidenciam enriquecimento em diversos metais, como Co, Cr, Ni, Cu, Pb, Zn, Ag, Fe e Al, especialmente nos magnetititos e produtos de alteração supergênica. Os resultados revelam potencial tanto para mineralizações primárias, relacionadas às rochas máficas-ultramáficas, quanto mineralizações supergênicas, associadas a ambientes lateríticos.

PALAVRAS-CHAVE: Magnetita; Ilmenita; Bauxita; Laterita.

INTRODUÇÃO

Na região centro-leste de Roraima, investigações regionais com base em dados geofísicos, geoquímicos e modelagem espacial indicam áreas de favorabilidade para a concentração de elementos como Co, Cr, Ni, Fe, Ti e V nas proximidades da Serra da Lua (Oliveira *et al*., 2016; Pitarello *et al*., 2019; Aguiar *et al*., 2023). No entanto, não haviam ainda sido conduzidos estudos de campo que validassem essas anomalias e esclarecessem seu contexto geológico.

Nessa área, apenas duas ocorrências minerais são conhecidas: i) titanomagnetita e ilmenita vanadífera (0,2-0,9% V) (Goulart *et al*., 2019), e ii) ouro hospedado em veios de quartzo que cortam as rochas do Grupo Cauarane (mineração Serra da Lua) (Aguiar *et al*., no prelo).

O mapeamento geológico sistemático de quatro folhas 1:100.000, abrangendo os municípios de Cantá e Bonfim, foi iniciado pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB) em 2023 (Mendes, no prelo). Em conjunto, foi realizada a investigação em campo das áreas favoráveis indicadas pela integração de dados indiretos, que resultou na descrição de diversos corpos máficos-ultramáficos, preliminarmente associados à Suíte Uraricaá, assim como seus produtos de alteração: lateritas, bauxitas, silcretes, concreções manganesíferas e solos residuais (Figura 1). As análises petrográficas e geoquímicas revelam enriquecimento em diversos metais, atribuindo a região um potencial metalogenético até então inédito.

MATERIAIS E MÉTODOS

A seleção das áreas de interesse foi baseada na integração de dados geoquímicos, aerogeofísicos e modelagem espacial, priorizando alvos com maior potencial geológico-metalogenético. As áreas foram visitadas durante o mapeamento geológico entre 2023 e 2024, tendo sido conduzidas descrições petrográficas de afloramentos, medições gamaespectométricas e coleta de amostras de rocha, crostas supergênicas e solo.

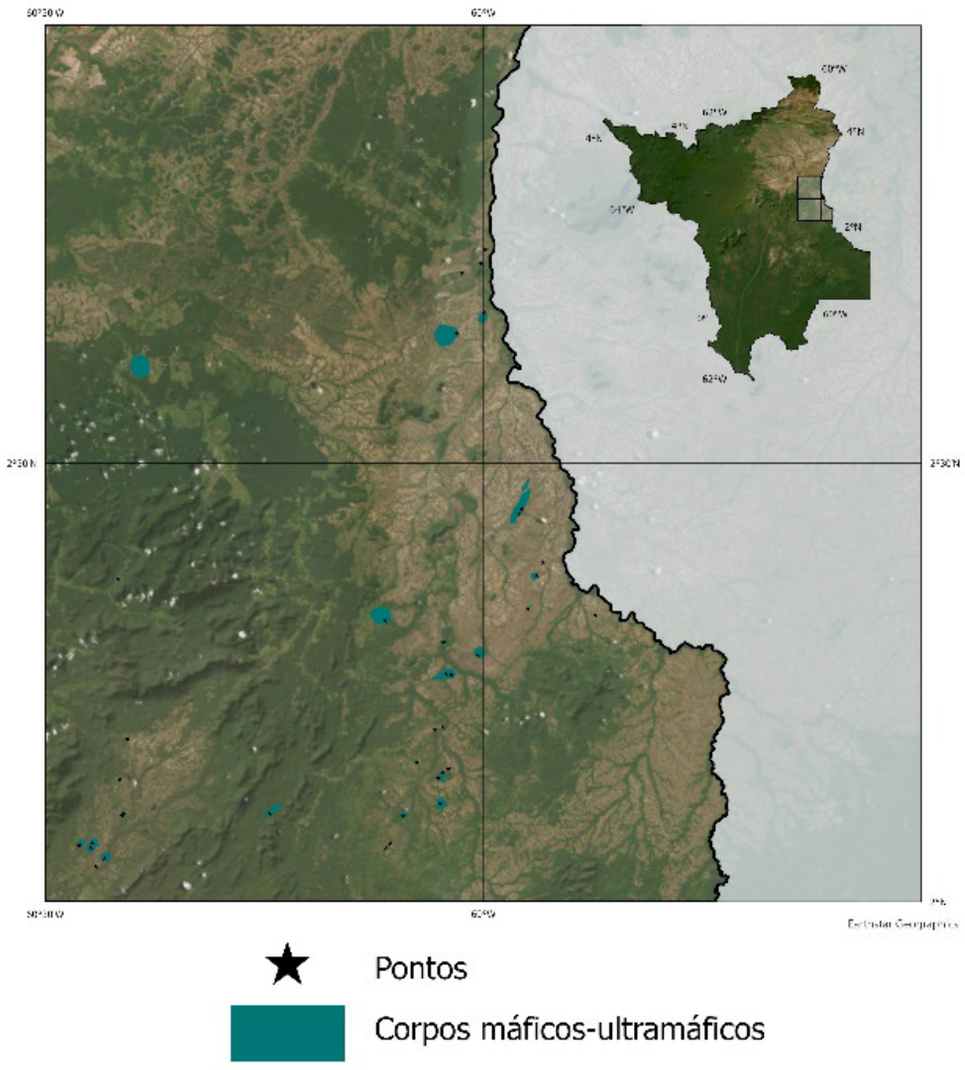


Figura 1 – Área de mapeamento, destacando os corpos de rochas máficas e ultramáficas.

As análises petrográficas foram realizadas no SGB. A preparação e análises geoquímicas foram realizadas na SGS-Geosol, compondo um total de 44 amostras. Rochas e materiais consolidados foram britados e moídos, enquanto os solos foram secos e peneirados (<80#). A abertura foi escolhida conforme o elemento e a técnica analítica mais apropriada (água régia, digestão multiácida, fusão por metaborato ou tetraborato de lítio, *fire assay*).

As análises foram conduzidas por fluorescência de raios X (FRX), ICP-OES e ICP-MS, gerando um banco de dados multielementar com mais de 70 elementos e óxidos. O tratamento dos dados incluiu estatísticas descritivas, classificações geoquímicas e cálculo de fatores de enriquecimento (FE).

RESULTADOS

Corpos máficos e/ou ultramáficos

Foram cartografados diversos corpos, na maioria coincidentes com as áreas alvo. Na aerogeofísica, coincidem com baixos valores de contagem total e magnestimo variável. Na geoquímica de superfície, a valores anômalos de Cr, Ni e outros elementos de afinidade máfica.

Rochas máficas e ultramáficas

Os litotipos incluem hornblenda metagabros a metagabronoritos (com ou sem olivina), metapiroxenitos e meta-troctolitos, maciços a levemente foliados, de granulação fina a grossa. Apresentam texturas inequigranulares a poiquiloblasticas, com ocorrência de texturas cumuláticas e coroníticas.

17 amostras foram para análise química e correspondem a olivina gabros, gabros e dioritos gabroicos, com caráter metaluminoso e afinidade subalcalina. Os teores de SiO_2 (42,8% e 52,9%) indicam predominância de rochas básicas. Os teores de Al_2O_3 são amplamente distribuídos (5,2% a 22,8%). Os óxidos Fe_2O_3 (8,73-18,8%), CaO (7,81-16,4%) e MgO (6,24-18,7%) apresentam concentrações compatíveis com rochas de composição máfica a ultramáfica. TiO_2 é baixo a moderado (0,13-3,08%).

Os teores de Au (<5-22 ppb), Pd (<5 ppb) e Pt (<5-6 ppb) são baixos. Entre os traços, destacam-se Cu (29,1-245,9 ppm), Cr (13-633 ppm), Ni (20,5-2030,5 ppm), Co (40,5-215 ppm) e V (2,5-560 ppm). A amostra MZ38B destaca-se pelos altos teores de Cr e Ni, sugerindo associação com litotipos ultramáficos ricos em cromita. Teores mais altos de V podem indicar presença em óxidos de Fe-Ti.

Magnetititos

Cinco afloramentos de rochas máficas tem ocorrência de magnetititos, como blocos centimétricos de coloração preta a cinza-avermelhada, altamente magnéticos, com textura maciça a foliada e granulação fina a média. São compostos por magnetita parcialmente martitizada, com ilmenita e espinélio subordinados. Análises de MEV mostram concentrações de V em magnetita de 0,53-0,71% e 0,27-0,32% (LA09 e BY46) e 0-0,6% em ilmenita (LA09).

Apresentam teores de Fe_2O_3 entre 88,7 e 94,4%. Al_2O_3 varia entre 0,83-3,0%, TiO_2 entre 3,29-7,5% e MnO entre 0,25-0,48%; os demais óxidos, incluindo SiO_2 (0,43-1,28%), ocorrem em baixos teores. As concentrações de TiO_2 confirmam a presença de fases ricas em titânio, como ilmenita. Os teores de V variam entre 1711 e 3447 ppm, com forte correlação com Fe_2O_3 (0,75) e TiO_2 (0,64), indicando incorporação de V em óxidos de Fe-Ti por substituição isomórfica.

Os demais elementos compatíveis, como Ni (23,6-118,6 ppm), Co (74,8-93,6), Cr (21-176 ppm) e MgO (0,17-0,67%) ocorrem em baixos teores. Zr varia entre 15 e 1306 ppm, sem correlação mineralógica definida. As amostras BY45E e BY46B se destacam, com V de 3447 e 2732 ppm e TiO_2 de 5,52% e 6,17%, respectivamente, sendo prioritárias para estudos adicionais.

Crostas e concreções supergênicas

Associadas às rochas máficas e ultramáficas, ocorrem crostas lateríticas, concreções manganesíferas, bauxitas e silcretes, típicas de ambientes intempéricos lixiviados, indicando um processo avançado de alteração supergênica.

Lateritas ferruginosas

Foram analisadas quatro amostras de laterita ferruginosa, todas com altos teores de Fe_2O_3 (53,8-82,0%). O Al_2O_3 varia entre 2,14%-5,03%, enquanto MnO (0,05%-0,25%) e TiO_2 (0,08-0,24%) ocorrem em baixos teores. O SiO_2 é inversamente proporcional ao ferro (3,23-33,4%) e P_2O_5 varia entre 0,04 e 0,36%.

O Cr_2O_3 é altamente variável, com destaque para o ponto LA24 (6986-9103 ppm), sugerindo presença de cromita residual. Os teores de Ni variam até 618,3 ppm (LA24C) e Co entre 24,4 e 224 ppm. Outros elementos enriquecidos incluem V (86-342 ppm), Zn (82-511 ppm), Sc (6,3-190 ppm), Cu (189,6-2141,2 ppm) e P (170-1318 ppm). A Ag varia de 0,03 a 2,46 ppm, com os valores mais elevados registrados na região sudoeste da área de estudo. A Ag pode ser concentrada por adsorção em óxidos Fe-Mn, remanescentes sulfetados ou reprecipitação supergênica.

Comparadas às rochas máficas-ultramáficas de origem, as lateritas mostram forte enriquecimento em Ag, BaO, Fe_2O_3, ETR, Cr, Cu, Hg, Mo, Pb, Sc, Th, U, Zn e Zr, especialmente as do ponto LA24, com empobrecimento em SiO_2, K_2O, Na_2O, CaO, SrO e Al_2O_3. O Cr se destaca na MZ24 com fatores de enriquecimento entre 20 a 27. Já as lateritas da MZ38 apresentam empobrecimento em Ag, Cr, Ni e outros metais.

Silcretes

Os silcretes são caracterizados por teores extremamente elevados de SiO_2 (84-92%). Os baixos teores de Al_2O_3 (0,39-0,58%) e Fe_2O_3 (4,33-5,15%) indicam ausência significativa de minerais argilosos ou óxidos de ferro. Os teores de MgO (0,59-3,31%) e MnO (0,09-0,33%) são baixos, mas relativamente mais elevados que os demais óxidos maiores.

Os silcretes contém concentrações variáveis de Ni (163,4-346,2 ppm), Cr (53-112 ppm) e Co (16,8-85,3 ppm), além de Cu (27,3-51,3 ppm), Zn (30-85 ppm), Ba (49-310 ppm) e V (39-50 ppm). Os teores de ETR e outros metais são, em geral, baixos.

Bauxitas

Foram analisadas três amostras com teores altos de Al_2O_3 (31,1-47,2%), característicos de bauxitas. A concentração de SiO_2 varia entre 18,4 e 37%, enquanto o Fe_2O_3 (10,1%-17,4%) indica a presença de minerais ferruginosos. Os teores de TiO_2 situam-se entre 0,77% e 1,58%. A LA09F destaca-se pela melhor qualidade química, com 47% de Al2O3 e 18% de SiO2.

Os elementos traço apresentam ampla variação, por exemplo, Ni (61,3 e 830,4 ppm), Cr (7-96 ppm) e V (305 a 593 ppm). Co (87,8-464,6 ppm) e Cu (163,8-545,6 ppm) são relativamente elevados. Zn apresenta variação de 14 a 235 ppm e Ba entre 194 e 1198 ppm.

Os fatores de enriquecimento (FE) são típicos do processo de bauxitização, com Al_2O_3 enriquecido e SiO_2 empobrecido em relação às rochas-mãe. Os FE de Fe_2O_3 e TiO_2 são variáveis entre as amostras. Elementos alcalinos e alcalino-terrosos são empobrecidos, com Ba apresentando enriquecimento significativo.

Concreções manganesíferas

Ocorrem como concreções rizomórficas centimétricas. Foram analisados dois pontos. A amostra LA09 contém 1573 ppm de Ni, >10000 ppm de Co, 7016 ppm de Cu e 795 ppm de Pb. A amostra MZ03 apresenta teores ainda mais altos: >10000 ppm de Ni e Co, 1025 ppm de Cr, 4606 ppm de Cu, 981 ppm de Zn e 134 ppm de Pb. Ambas são ricas em ETRs e em Ba (11090-16587 ppm),

O fator de enriquecimento indica um padrão de empobrecimento em SiO_2, Fe_2O_3, TiO_2 e elementos alcalinos e alcalino-terrosos em relação à rocha-mãe. Por outro lado, apresenta enriquecimento muito elevado em uma ampla gama de elementos traços: Ba (178), Cd (55), Ce (37), Co (164), Cu (40), Hg (40), Li (248), Ni (8). Pb (345), Tl (603), W (30) e Zn (14). O MnO tem fator de enriquecimento 200 vezes maior que na rocha-mãe e forma óxidos/hidróxidos altamente reativos para adsorção de metais, desempenhando papel central na concentração desses elementos.

Solos residuais

Os solos desenvolvidos sobre as rochas máficas e ultramáficas tem coloração avermelhada a alaranjada e textura argilosa a argilo-arenosa, indicando intemperismo avançado e forte alteração química. Em alguns pontos, desenvolvem-se solos lateríticos, com concentrações de óxidos de ferro e alumínio. Quimicamente, tem composição variada: Al_2O_3 (8,78-34,9%), SiO_2 (30,8-54,7%), Fe_2O_3 (8,08-36,0%) e TiO_2 (0,73-3,7%). Óxidos de Ca, Mg, Na e K ocorrem em teores baixos, refletindo sua alta mobili-

dade e remoção por lixiviação. Entre os elementos-traço, destacam-se Cr (até 900 ppm na MZ42), Ni (64,7-521,7 ppm), Cu (66,7-500,1 ppm), Zn (29-149 ppm) e Zr (até 678 ppm).

Os fatores de enriquecimento são positivos para Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Ti, V, e mostram depleção expressiva de Ca, Sr, Mg, Na e K, com mobilidade diferenciada nos perfis de alteração e concentração residual de elementos imóveis.

DISCUSSÕES

As rochas máficas e ultramáficas dos arredores da Serra da Lua mostram potencial metalogenético tanto primário, como possíveis hospedeiros de mineralizações relacionadas a complexos máfico-ultramáficos acamadados (*e.g.* Fe-Ti-V, Ni-Cu sulfetado, cromita) quanto como substratos para concentrações residuais de metais (*e.g.* Ni laterítico, bauxita). Destacam-se, por exemplo, a MZ38B, com assinatura de litotipos ricos em cromita, e os magnetititos BY45 e BY46, ricos em Fe-Ti-V, sugerindo incorporação de V em óxidos.

Os resultados mostram processos de intemperismo, mobilização e concentração de metais em ambiente fortemente lixiviado. As lateritas são fortemente enriquecidas em metais como Ag, Co, Cu, Cr, Ni, Zn e V, com FE superiores à rocha-mãe, refletindo a eficiência dos processos lateríticos. As concreções mostram intenso enriquecimento geoquímico, com teores muito elevados de Co, Ni, Cu, Zn, Pb, por vezes superiores a 10000 ppm, assim como elevada concentração de Ba e ETRs, reforçando o papel dos óxidos de Mn como adsorventes geoquímicos.

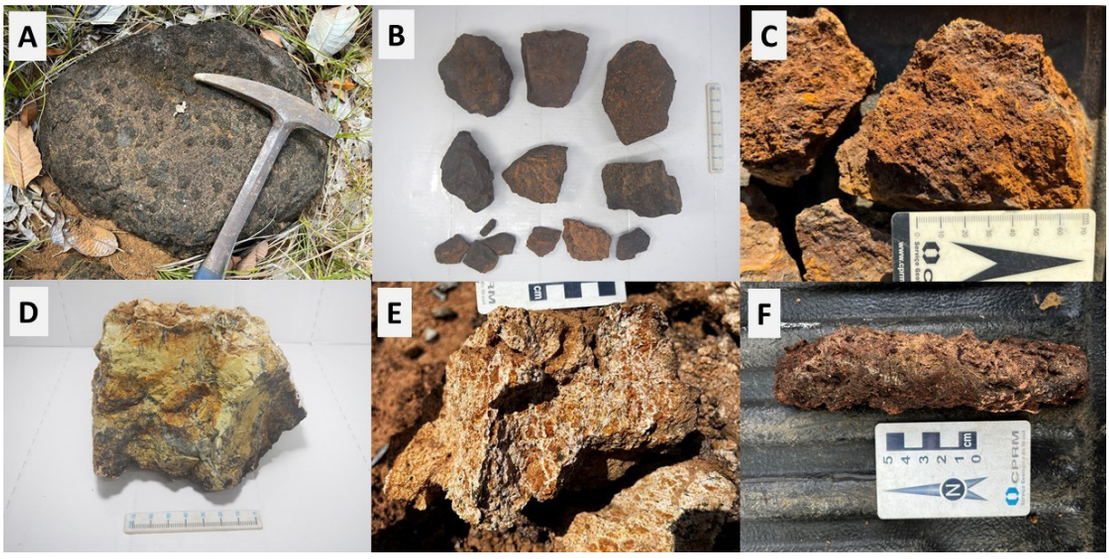


Figura 2 – Aspectos das rochas máficas e seus produtos supergênicos. A) Hornblenda metagabronorito; B) Magnetititos; C) Lateritas ferruginosas; D) Silcrete; E) Bauxita e F) Concreção manganesífera.

Os altos fatores de enriquecimento nas crostas supergênicas sugerem a atuação de múltiplos processos, como lixiviação, adsorção, coprecipitação e imobilização.

Os dados apontam para alto potencial metalogenético, tanto em corpos primários com anomalias de Ni, Cr, Co, Cu, Fe, Ti, V, quanto em mineralizações supergênicas. A presença de metais estratégicos em teores elevados destaca a importância da área em um contexto de crescente demanda por recursos minerais.

CONCLUSÕES

O estudo confirmou a ocorrência de corpos máficos e ultramáficos na região da Serra da Lua, associados a anomalias geoquímicas e geofísicas. A integração de dados indiretos foi essencial para a priorização dos alvos investigados. As rochas apresentam teores elevados de Cr, Ni, Co, com magnetititos enriquecidos em Fe, Ti e V. Os produtos de alteração supergênica revelam forte enriquecimento em metais (*e.g*. Ni, Co, Cu, Zn, Ag, Fe, Al). Esses resultados indicam que tanto os corpos máfico-ultramáficos quanto os produtos de alteração secundária têm alto potencial metalogenético, com destaque para metais estratégicos. A avaliação detalhada desses alvos é essencial para aumentar o potencial mineral de Roraima, diversificando sua matriz mineral.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguiar, L.; Pitarello, M.Z.; Mendes, T.A.A.; Oliveira, V.S.; Lopes, P.R.S.; Oliveira, A.C.; Benevides, P.R.R..; Grazziotin, H.F. (no prelo). Mapa de Recursos Minerais do Estado de Roraima. SGB/CPRM.

Aguiar, L.; Pitarello, M.Z.; Oliveira, V.S.; Lopes, P.R.S. (2023). Mapa de Recursos Minerais do Centro-Sudeste de Roraima. SGB, CPRM.

Goulart, L.E.A.; Lopes, P.R.S.; Vasquez, M.L.; Oliveira, A.C.S. (2019). Caracterização da primeira ocorrência de anortosito com titanomagnetita vanadífera no Escudo das Guianas, Roraima, Brasil.

Mendes, T.A.A. (org.) (no prelo) Mapeamento geológico 1:100.000 – Projeto Serra da Lua, SGB/CPRM.

Oliveira, V.S.; Pitarello, M.Z.; Reis, N.J.; Lopes. P.R.S., Aguiar, L.; Silva, S.R.A.; Garcindo, L.B.; Souza, A.G.H.; Queiroz, L.C.; Ramos, M.N. (2016). Modelagem especial aplicada a identificação de rochas alcalinas e corpos máficos na região CSE de Roraima. In: Anais do 48º CBG, Porto Alegre – RS.

Pitarello, M.Z.; Aguiar, L.; Lopes, P.R.S.; Lira, R.R.C. (2019). Análise estatística multivariada de geoquímica de solos da região centro-sudeste de Roraima. In: Anais do XVII CBGeoq, Fortaleza – CE.

SEQUÊNCIAS CARBONÁTICAS DA BACIA DO CACHIMBO NO AMAZONAS: UMA AVALIAÇÃO PARA MINERALIZAÇÃO SULFETADA POLIMETÁLICA

Suzana Laís Castro de Oliveira[1]; Tiago Felipe Arruda Maia[1]; Ivan Marques Pereira[2]; Mayara Fraeda Barbosa Teixeira[1]

[1]Universidade Federal do Amazonas – UFAM; [2]Serviço Geológico do Brasil – SGB

suzana-lais.oliveira@ufam.edu.br; *tiagomaia@ufam.edu.br*; *ivan.marques@sgb.gov.br*; *mayarafraeda@ufam.edu.br*

RESUMO

Foi realizado um estudo buscando analisar o potencial metalogenético das sequências carbonáticas do Grupo Alto Tapajós, nas formações situadas na Bacia do Cachimbo, sudeste do estado do Amazonas. A metodologia baseou-se na caracterização geológica, petrográfica e geoquímica de testemunhos de sondagem. A análise geológica local foi traçada pela litoestratigrafia de litologias carbonáticas e vulcânicas, interligadas por uma rede de fraturas e falhas que atuaram como condutos preferenciais à percolação de fluidos hidrotermais. A petrografia revelou a presença de sulfetos primários, como pirita, arsenopirita e calcopirita, associados a paragêneses de alteração hidrotermal (cloritização, silicificação, sericitização). Em furos, a associação arsenopirita-magnetita indica variações na fugacidade de oxigênio durante a cristalização mineral. As análises geoquímicas de elementos traço registraram anomalias em Fe, Zn e Cu, correlacionáveis à distribuição dos sulfetos e das feições de alteração identificadas microscopicamente. A integração dos dados converge para a inferência de que as sequências carbonáticas da Bacia do Cachimbo constituem um ambiente geológico favorável à formação de depósitos sulfetados polimetálicos. A similaridade de litologias hospedeiras quimicamente reativas, estruturas crustais que promovem a permeabilidade e a circulação de fluidos metalíferos endogenéticos sustenta a atuação de um sistema mineralizador epigenético. Recomenda-se, assim, o prosseguimento de investigações prospectivas para a delimitação e quantificação de zonas de interesse econômico.

PALAVRAS-CHAVE: Bacia do Cachimbo, Mineralizações, Rochas carbonática.

INTRODUÇÃO

Depósitos de sulfetos polimetálicos representam aglomerações de metais de expressivo valor econômico como cobre (Cu), chumbo (Pb), zinco (Zn), prata (Ag) e ouro (Au), cuja sua origem depende principalmente da interação entre fluidos hidrotermais e litologias dotadas de elevada reatividade geoquímica, em particular as rochas carbonáticas (FRANÇA ROCHA, 2008). Em contextos intracratônicos, essas rochas se comportam como eficazes armadilhas geoquímicas, catalisando a precipitação dos metais veiculados pelos fluidos através de **processos redox, troca iônica e reações com a matriz carb**onática (REIS, 2006). Esse comportamento já foi estudado em diversas áreas do Cráton Amazônico, como na Província Tapajós, onde unidades carbonáticas da Formação Terra Preta apresentam evidências de alteração hidrotermal associada à presença de sulfetos (SIMÕES, 2020). A eficiência dessas litologias em concentrar metais tem sido confirmada por estudos que descrevem mineralizações epigenéticas em rochas carbonáticas fraturadas ou brechadas, associadas a estruturas favoráveis à circulação de fluidos (MELONI; SIMÕES; OLIVEIRA, 2021).

O reconhecimento desse comportamento tem levado à reavaliação de unidades carbonáticas do Cráton Amazônico em relação ao seu potencial radiogênico e polimetálico. Nesse contexto, a Bacia do Cachimbo, situada na porção sudeste do estado do Amazonas, limita-se a norte pela Província Tapajós e a sul pela Província Juruena, ambas conhecidas por abrigarem importantes distritos. Nesses ambientes, as rochas carbonáticas atuam como hospedeiros ideais para a concentração desses elementos, seja por adsorção em matriz carbonática, seja pela precipitação direta em zonas de redução (AUGUSTO *et al.*, 2008; POLLARD, 2006). auríferos e polimetálicos (TASSINARI; MACAMBIRA, 1999; SANTOS *et al.,* 2006).

Estudos preliminares desenvolvidos na área por (MELONI; SIMÕES; OLIVEIRA, 2021) sugerem a existência de eventos hidrotermais afetando formações carbonáticas do Grupo Alto Tapajós, com presença de sulfetos disseminados e anomalias geoquímicas de Cu, Pb, Zn e As em testemunhos de sondagem. Diante disso, esse estudo se propõe a avaliar o potencial metalogenético dessas sequências carbonáticas, com especial atenção às unidades do Grupo Alto Tapajós, por meio da caracterização das litologias e das evidências de alteração hidrotermal observadas em sondagens realizadas na região. A Figura 1 ilustra o mapa geológico da área de estudo, com a distribuição das unidades e a localização dos poços analisados.

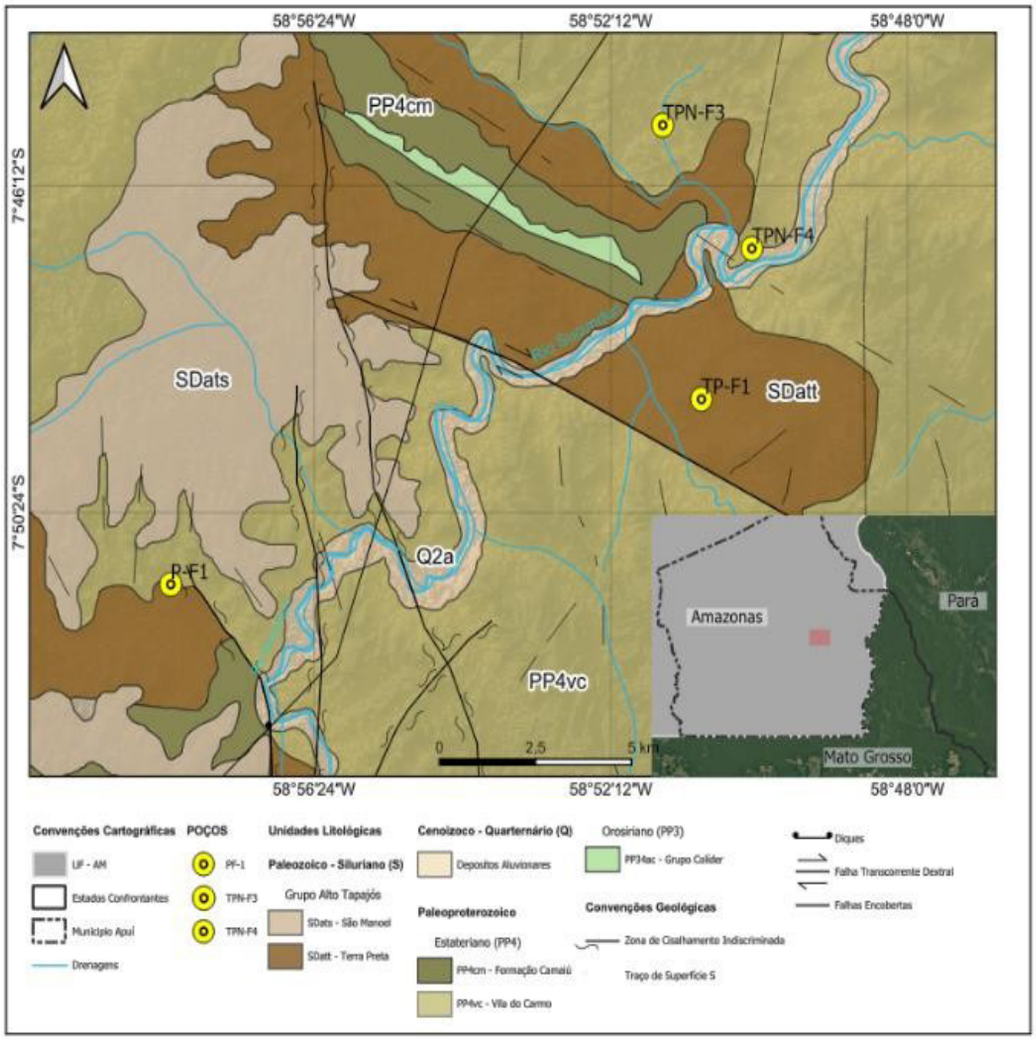


Figura 1: Mapa Geológico da área de estudo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi conduzido por meio da análise de amostras obtidas a partir de testemunhos de sondagem armazenados no acervo técnico do Serviço Geológico do Brasil (SGB-Manaus). As amostras foram originalmente coletadas em campanhas de pesquisa da antiga empresa CIA Morro Vermelho, que executou sondagens diamantadas na região da Bacia do Cachimbo. A seleção dos trechos estudados priorizou intervalos de brechas hidrotermais e zonas de alteração sulfetada com potencial associativo a mineralizações metálicas. A caracterização litológica foi realizada com o apoio institucional da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), por meio de um estágio técnico vinculado ao projeto de mapeamento Sucunduri, desenvolvido em parceria com o Serviço Geológico do Brasil (SGB-Manaus). Foram analisadas amostras de três furos de sondagem diamantada: TPNF-3 (278 m), TPNF-4 (187,5 m) e TPF-01 (205 m), totalizando 670,5 metros lineares de testemunhos. Esses furos atravessam litologias do Grupo Alto Tapajós, abrangendo em rochas carbonáticas brechas hidrotermais, tufos e siltitos silicificados.

Análises Petrográficas

A análise petrográfica foi conduzida no Laboratório de Microscopia da UFAM, com a preparação de lâminas delgadas e polidas das amostras. A observação foi realizada por meio de microscopia óptica em luz polarizada transmitida e refletida. A investigação teve ênfase na caracterização de minerais opacos, com foco na identificação de sulfetos metálicos, sua morfologia, textura e relação paragenética com a matriz hospedeira. A metodologia seguiu os protocolos descritos por (ALMEIDA *et al*., 2017; PIRAJNO, 2013) permitindo discriminar zonas de alteração hidrotermal e estágios distintos de mineralização.

Análises Geoquímicas

As análises geoquímicas das amostras foram realizadas no Serviço Geológico do Brasil (SGB – Manaus), com o objetivo de determinar a composição elementar das rochas associadas às unidades carbonáticas da Bacia do Cachimbo. Para isso, utilizou-se um espectrômetro portátil de fluorescência de raios X (FRX), que permitiu a quantificação de elementos maiores e traços.

RESULTADOS

Geologia local

A área de investigação, situada na porção sudeste do estado do Amazonas e parte da Bacia do Cachimbo, caracteriza-se por uma sucessão litoestratigráfica majoritariamente sedimentar e vulcânica, compreendendo as formações Terra Preta e São Manoel, que constituem o Grupo Alto Tapajós. A Formação Terra Preta consiste, em sua maior parte, de rochas carbonáticas, cujas tonalidades variam de escuras a cinza-esverdeadas. A textura dessas rochas oscila entre maciça e finamente laminada, com recorrentes intercalações de lentes sílticas e níveis de chert. Estruturas sedimentares primárias, como laminação paralela e estratificação cruzada, são discerníveis, indicando um ambiente deposicional que variava de plataforma carbonática rasa a um regime marinho de maior profundidade. A composição mineralógica original é essencialmente de calcita e dolomita, com a ocorrência acessória de quartzo e minerais argilosos.

A Formação São Manoel, por sua vez, é definida por uma sequência de tufos vulcânicos e siltitos silicificados, intercalados com camadas de brechas hidrotermais. As rochas desta formação apresentam coloração que transita do cinza-claro ao esverdeado. Os tufos exibem, com regularidade, uma textura porfirítica, com fenocristais de quartzo e feldspato imersos em uma matriz afanítica. Os siltitos possuem granulação fina, com coloração cinza a avermelhada, o que se associa à presença de óxidos de ferro.

As brechas hidrotermais distinguem-se pela presença de fragmentos angulosos a subarredondados de litologias carbonáticas e vulcânicas, os quais são cimentados por uma matriz composta por quartzo, calcita e, em certas ocorrências, sulfetos. Em relação à arquitetura estrutural, fraturas e zonas de cisalhamento são feições conspícuas, materializando-se através de veios preenchidos por material secundário e zonas de alteração.

A interação entre as unidades carbonáticas e vulcânicas, aliada à presença de estruturas tectônicas, configura um cenário geológico propício para o desenvolvimento de sistemas hidrotermais e, por conseguinte, para a precipitação de minerais de interesse metalogenético.

Petrografia

As descrições petrográficas dos testemunhos em estudo exibem processos de alteração hidrotermal propilítica e a mineralização nas unidades investigadas. A ocorrência de sulfetos, as feições de alteração e sua relação com as estruturas da rocha indicam um sistema de circulação de fluidos dinâmico. A precipitação de sulfetos de ferro, como pirita (FeS_2) e arsenopirita (FeAsS), refletindo condições geoquímicas redutoras propícias à concentração de metais. A arsenopirita em TPNF3 exibe associação marcante com magnetita, em maior proporção que a pirita disseminada, sugerindo variações no potencial redox ou em microambientes durante a paragênese mineral. Na Figura 3A é possível observar a morfologia euédrica de um grão de arsenopirita e sua alta refletância na matriz carbonática. A Figura 3B exibe um cristal de pirita, de textura anédrica a subédrica, em contraste com a arsenopirita, indicando distintos estágios de cristalização.

As características macroscópicas observadas nos testemunhos validam a interação fluido- rocha e o controle estrutural da mineralização, como é possivel observar na (Figura 2A) com variedades ricas em carbonatos de cobre e nos trechos evidenciados na (Figura 2B e 2C) com abundantes sulfetos e óxidos de ferro. Zonas de vênulas de quartzo com sulfetos, incluindo pirita, calcopirita ($CuFeS_2$) e esfarelita (ZnS), foram identificados (Figuras 2D e 2E). A intensa cloritização, visível (Figura 2F) associada a veios de quartzo, e também analisada em lâmina (Figura 3D), enfatiza possivelmente uma alteração hidrotermal em temperaturas moderadas, cenário térmico comum em sistemas sulfetados. As zonas sulfetadas estão preferencialmente associadas a fraturas e vênulas, o que ratifica que as estruturas tectônicas atuaram como condutos preferenciais para fluidos mineralizantes.

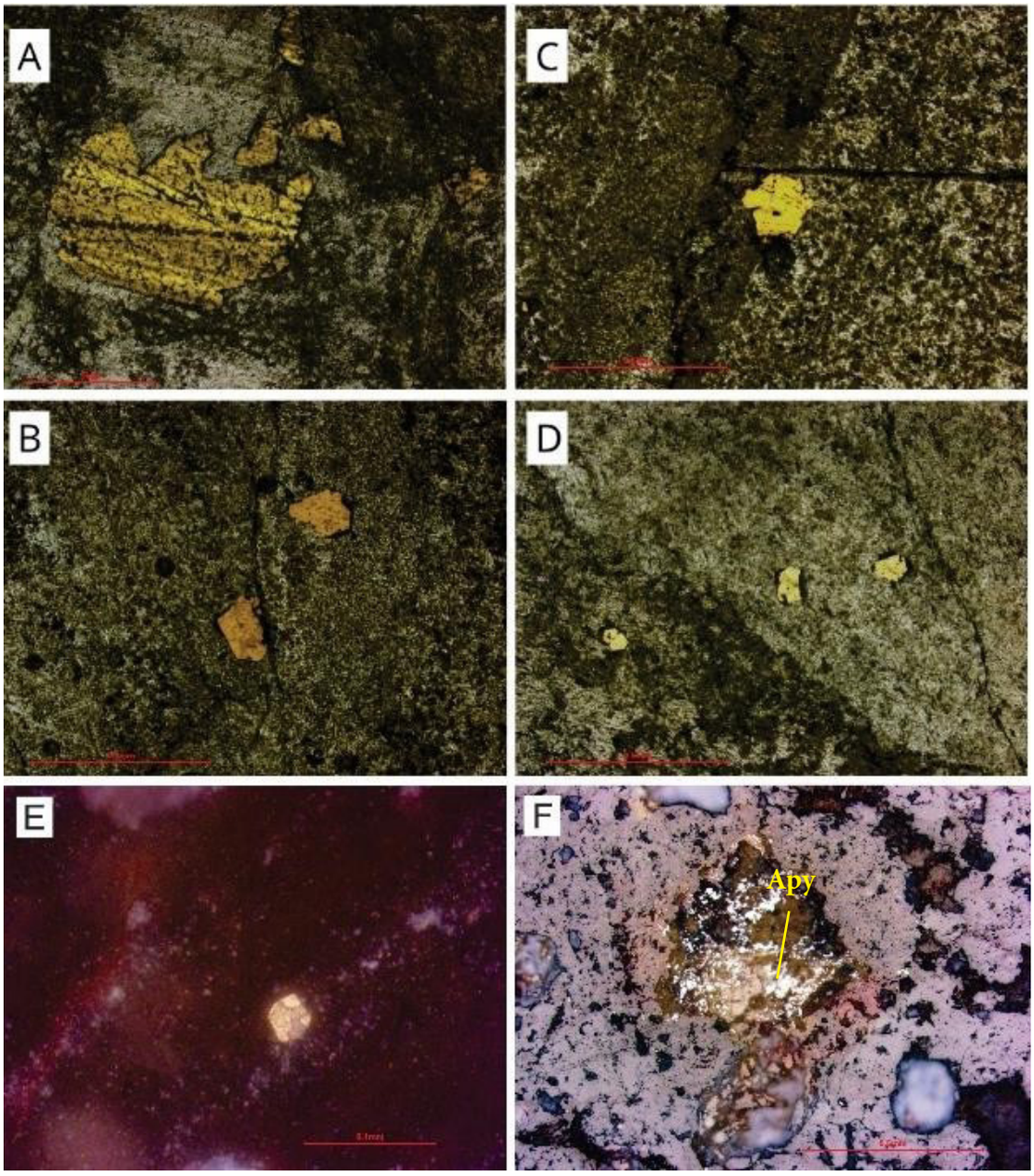


Figura 2: Prancha de fotos de testemunho de sondagem do Furo TPNF3. (A) Amostra rica em carbonatos de cobre; (B-C) Intervalor rico em sulfetos e óxidos de ferro; (D-E) intervalo com vênulas de quartzo e rica em sulfetos, (pirita + calcorpirita + esfarelita); (F) zona rica em clorita e veios de quartzo.

Evidências da relação dos sulfetos com a matriz que exibe alteração do tipo cloritização, onde a presença de clorita é um marcador de alteração hidrotermal em temperaturas moderadas, um cenário térmico associado frequentemente a sistemas de sulfetos. A cloritização de parte da matriz, amiúde, acompanhada de silicificação e sericitização, indica a efetiva interação dos fluidos hidrotermais com as rochas encaixantes, promovendo a neoformação ou substituição de minerais preexistentes, processo crucial para a formação de depósitos minerais relacionados com o foco desse estudo.

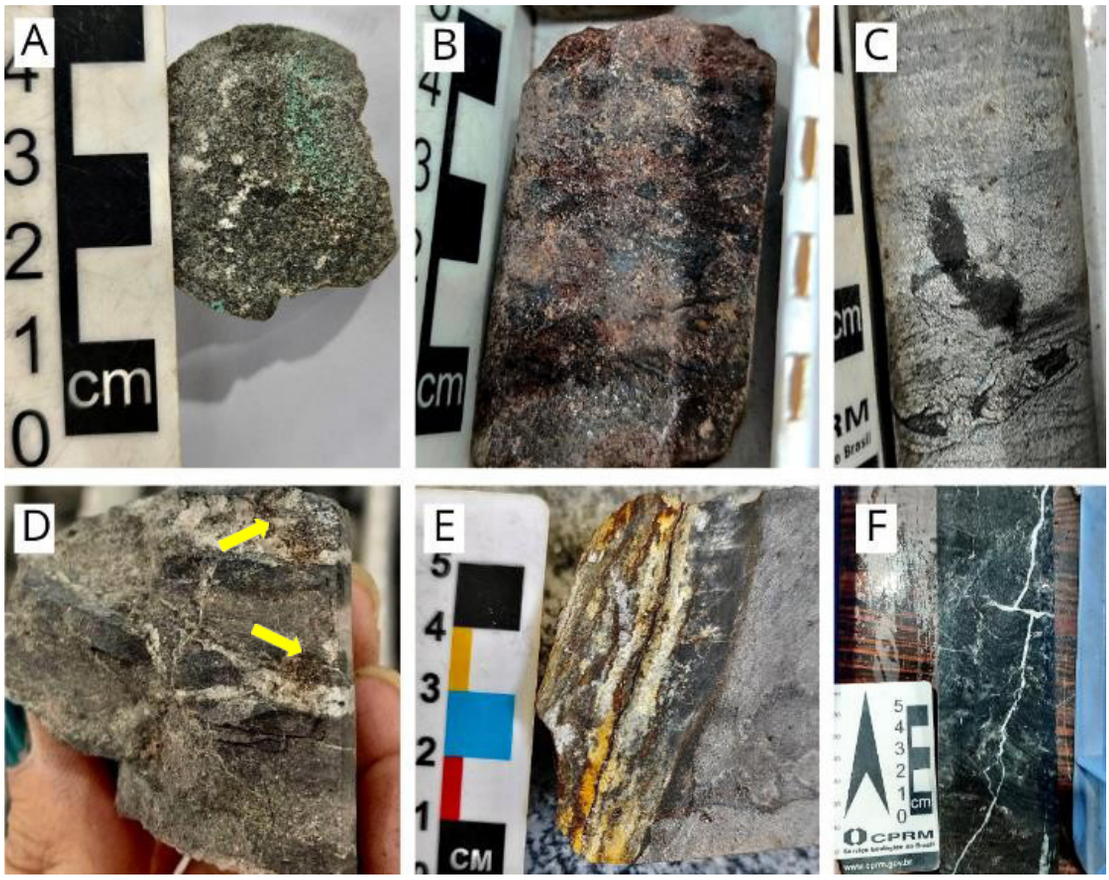


Figura 3: Prancha de fotos destacando os minerais sulfetados e texturas de alteração em amostras dos furos. (A) Grão anédrico de pirita de maiores dimensões, com brilho metálico amarelado, em matriz alterada. (B) e (C) Cristais de pirita (brilho metálico amarelado) associados a microfraturas e feições estruturais, evidenciando o controle da percolação de fluidos. (D) Agregados de pirita disseminada em matriz cloritizada, indicando alteração hidrotermal. (E) Grão euédrico a subédrico de pirita, revelando cristalização em ambiente redutor. (F) Cristal euédrico de arsenopirita (brilho branco-prateado), associado a magnetita, em matriz silicificada. associados a uma zona cloritizada (esverdeada) e fraturada; (A) Pirita grossa subedral; (B) cristais de calcopirita subédricos; (C-D) piritas finas subedrais; (E) detalhe de cristal de pirita subédrica fina, disseminada na rocha; (F) arsenopirita parcialmente oxidada e associada a clorita e magnetita.

Geoquímica

As análises geoquímicas mostraram que há teores de S, Fe, Cl, Cu, Zn, Sn, Pb e As (Tabela 1), os outros elementos não foram detectados para esse furo em específico ou não foram avaliados para esse tipo de depósito. Vale ressaltar que não foram detectadas concentrações de Au e Ag nas poucas amostras analisadas. Os picos de Fe são consistentes com a abundância de sulfetos de ferro (pirita e arsenopirita) observados nas lâminas petrográficas, afirmando a concentração desses minerais em determinados intervalos dos testemunhos. A identificação de Zn e Cu em algumas amostras corroboram com as calcopiritas ($CuFeS_2$) encontradas também, respectivamente, embora em proporções menores ou como inclusões microscópicas nos sulfetos de ferro. Tais anomalias, mesmo que discretas, quando correlacionadas com a presença de sulfetos de ferro e as feições de alteração hidrotermal (cloritização), fortalecem a hipótese de um sistema mineralizador **polimetálico ativo.**

A presença de Sn e Cl mesmo em baixas concentrações, denota a complexidade dos fluidos e a possibilidade de outras mineralizações acessórias. A análise conjunta dessas informações corrobora a hipótese de eventos hidrotermais complexos, aptos a gerar mineralizações sulfetadas polimetálicas em associação com as sequências carbonáticas da Bacia do Cachimbo.

Tabela 1: dados geoquímicos de algums elementos selecionados a partir de FRX portátil.

Furo	Profundidade	S (%)	Fe (%)	Cl (%)	Cu (%)	Zn (%)	Sn (%)	Pb (%)	As (%)
TPNF4	16,88 m	0.007	0.022	0.636	0.0017	0.0016	0.0009	0.0048	0.0014
TPNF4	29,45 m	0.958	0.693	0	0	0	0.0235	0.0011	0
TPNF4	31,45 m	0.335	3.859	0	0.002	0	0.0273	0.0006	0
TPNF4	54,1 m	0.138	10.515	0	0	0	0.0225	0	0.0029
TPNF4	149,5 m	0.074	0.525	0	0	0	0.0260	0.0007	0
TPNF4	170,5 m	0.168	0.405	0	0.0042	0	0.0266	0.0007	0
TPNF4	183,4 m	0.004	0.003	0.365	0.0003	0.0011	0.0007	0.0038	0.0001
TPNF-3	217,4 m	0.007	0	0.6363	0.001743	0.0016	0.0009	0	0.00143
TPNF-3	263,4 m	0	0	0	0.001623	0	0.0273	0	0
TPNF-3	272 m	0.152	1.787	0	0.342825	0	0.0272	0.03189	0

DISCUSSÕES

Os resultados apresentados nas seções de geologia local, petrografia e geoquímica fornecem evidências substanciais para a discussão do potencial metalogenético das sequências carbonáticas da Bacia do Cachimbo. A caracterização litológica das formações Terra Preta e São Manoel revelou a presença de rochas carbonáticas e vulcânicas, que sãoreconhecidamente litologias hospedeiras promissoras para a mineralização em diversos contextos geológicos (REIS, 2006; SILVA; FRANÇA-ROCHA, 2008).

A identificação de brechas hidrotermais e a manifestação de estruturas tectônicas, como fraturas e falhas, corroboram a existência de condutos permissivos para a circulação de fluidos metalíferos, um fator decisivo para a formação de depósitos minerais epigenéticos (MELONI; SIMÕES; OLIVEIRA, 2021). A petrografia detalhada confirmou a ocorrência de sulfetos primários, como pirita e arsenopirita. A associação de arsenopirita com magnetita no testemunho TPNF3 é particularmente expressiva, pois pode indicar condições de formação peculiares dentro do sistema hidrotermal, possivelmente relacionadas à variação no potencial redox dos fluidos. A localização preferencial dos cristais de pirita em fraturas e falhas, conforme ilustrado pelas micrografias, reitera o papel estrutural no controle da mineralização. Adicionalmente, a evidência de cloritização da matriz associada à pirita aponta para a atuação de fluidos hidrotermais em temperaturas moderadas, um regime térmico comumente associado a sistemas de sulfetos. Essa alteração, juntamente com a silicificação e sericitização mencionadas na introdução, sugere um sistema hidrotermal dinâmico, capaz de promover a dissolução e reprecipitação de minerais e o transporte de elementos metálicos.

Os picos de Fe nos gráficos geoquímicos são inteiramente coerentes com a abundância de sulfetos de ferro observados em lâmina. A detecção de elementos como Zn e Cu, mesmo que em concentrações que demandam investigação aprofundada, sugere a possibilidade de ocorrência de esfalerita e calcopirita, respectivamente. Tais anomalias, quando correlacionadas com a presença de sulfetos de ferro e as feições de alteração hidrotermal (e.g., cloritização), fortalecem a hipótese de um sistema mineralizador polimetálico. A presença de Sn e Ni, mesmo em teores baixos, adiciona complexidade à assinatura geoquímica e merece atenção em futuras investigações para avaliar a presença de outros minerais acessórios. O potencial metalogenético das sequências carbonáticas da Bacia do Cachimbo, conforme indicado por estas análises, reside na confluência de rochas hospedeiras quimicamente responsivas, estruturas crustais permissivas e evidências de circulação de fluidos hidrotermais ricos em

metais, um cenário análogo a outros depósitos de sulfetos polimetálicos e radiogênicos descritos em ambientes intracratônicos (AUGUSTO *et al*., 2008; POLLARD, 2006). As observações corroboram os estudos preliminares de Meloni *et al*. (2021), que já apontavam para eventos hidrotermais afetando as formações do Grupo Alto Tapajós.

CONCLUSÕES

A investigação petrográfica confirmou a incidência de sulfetos primários, como pirita, arsenopirita e calcopirita. Destaca-se a associação da arsenopirita com magnetita no testemunho TPNF3, bem como a ocorrência da pirita em íntima relação com feições estruturais e zonas de cloritização, que denotam processos de alteração hidrotermal em temperaturas moderadas. Os resultados geoquímicos revelaram anomalias em elementos como Fe, Zn e Cu. Tais concentrações, quando analisadas em conjunto com as evidências petrográficas de sulfetos, sugerem a atuação de um sistema hidrotermal com capacidade de concentrar metais. Em síntese, o conjunto de dados geológicos, petrográficos e geoquímicos aponta para um potencial metalogenético considerável nas sequências carbonáticas da Bacia do Cachimbo para depósitos sulfetados polimetálicos, justificando a continuidade de estudos para a delimitação e quantificação dessas ocorrências.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi executado com o suporte do Programa de Pesquisa Serrapilheira. Reconhece-se também a essencial colaboração do Serviço Geológico do Brasil (SGB – Manaus) pela disponibilização do acervo técnico de testemunhos de sondagem e infraestrutura laboratorial, recursos que foram cruciais para a execução desta pesquisa. Ao Projeto VIP-AMAZÔNIA que dá apoio a essa pesquisa e que é financiado pelo Instituto Serrapilheira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, F. R.; Pereira, J. S.; Santos, M. A. Microscopia e caracterização de minerais opacos em sistemas hidrotermais: metodologia e aplicação em depósitos mineralizados. Mineralogy Reports, v. 45, n. 2, p. 198-213, 2017.

Augusto, R. A.; Monteiro, L. V. S.; Xavier, R. P.; Souza Filho, C. R. Hydrothermal alteration zones and paragenesis of copper ore from the Bacaba Target, Carajás Mineral Province (PA). Revista Brasileira de Geociências, v. 38, n. 2, p. 263-277, 2008.

Meloni, R. E.; Benevides Filho, P. R. R.; Simões, M. S.; Lisboa, T. M.; Ramos, M. N.; Oliveira, A. C. S.; Silva, A. R. C.; Queiroz, L. C. Mapa Geológico: ARIM Sudeste do Amazonas. Escala 1:500.000. Programa de Gestão Estratégica da Geologia, Mineração e Transformação Mineral: Ação Áreas de Relevante Interesse Mineral (ARIM). Manaus: SGB-CPRM, 2021.

Meloni, R. E.; Simões, M. S.; Oliveira, A. C. S. (orgs). Áreas de relevante interesse mineral (ARIM) - evolução crustal e metalogenia do sudeste do Amazonas: Distrito Aurífero Juma, estado do Amazonas. Informe de Recursos Minerais. Série Províncias Minerais do Brasil, 34. Manaus: CPRM, 2021.

Mendes, P. E.; Santos, F. V.; Oliveira, M. C. Caracterização geoquímica de rochas carbonáticas em depósitos mineralizados no contexto do Cráton Amazônico. Journal of Amazonian Geology, v. 18, n. 2, p. 67-83, 2021.

Pirajno, F. Effects of Metasomatism on Mineral Systems and Their Host Rocks: Alkali Metasomatism, Skarns, Greisens, Tourmalinites, Rodingites, Black-Wall Alteration and Listevenites. In: HARLOV, D. E.; AUSTRHEIM, H. (eds.). Metasomatism and the Chemical Transformation of Rock. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2013. p. 203-252.

Pollard, P. J. An intrusion-related origin for Cu-Au mineralization in iron oxide-copper-gold (IOCG) provinces. Mineralium Deposita, v. 41, n. 2, p. 179-187, 2006. https://doi.org/10.1007/s00126-005-0004-3

Reis, N. J. Projeto Rochas Carbonáticas de Apuí – Amazonas. Informe de Recursos Minerais, Série Insumos Minerais para Agricultura, 12. Manaus: CPRM, 2006. 60 p.

Silva, M. G.; França-Rocha, W. J. S. Coletânea de Trabalhos Completos. Congresso Brasileiro de Geologia, 43., Aracaju. Anais [...]. Aracaju: SBG, 2008.

Simões, M. R. Geologia e recursos minerais do Cráton Amazônico: implicações para a prospecção mineral. Revista de Geociências Aplicadas, Brasília, v. 8, n. 4, p. 92–108, 2020. https://doi.org/10.1016/j.precamres.2020.105756

Toczeck, A.; Schmitt, R. Da S.; Braga, M. A. Da S.; Miranda, F. P. de. Tectonic evolution of the Paleozoic Alto Tapajós intracratonic basin – A case study of a fossil rift in the Amazon Craton. Journal of South American Earth Sciences, no prelo. https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.102225.

Vasquez, M. L.; Klein, E. L.; Quadros, M. L. E. S.; Bahia, R. B. C.; Santos, A.; Ricci, P. S. F.; Sachett, C. R.; Silva, C. M. G.; Macambira, M. J. B. Magmatismo Uatumã na Província Tapajós: novos dados geocronológicos. Simpósio de Geologia da Amazônia, 6., Manaus. Boletim de Resumos Expandidos. Manaus: SBG/Núcleo Norte, 2008. p. 471-474.

OCORRÊNCIA DE OURO HIDROTERMAL ASSOCIADO A ROCHAS METAVULCÂNICAS DO CINTURÃO ÍGNEO OROCAIMA NO ESTADO DE RORAIMA

Yanka Nilce Cesar da Mota[1]; Tiago Felipe Arruda Maia[1]; Túlio Amós de Araújo Mendes[2]; Antonio Charles Silva Oliveira[2]; Heitor Flávio Grazziotin[2]; Mayara Fraeda Barbosa Teixeira[1]

[1] **Universidade Federal do Amazonas – UFAM; Serviço Geológico do Brasil – SGB** [2]

yanka.mota@ufam.edu.br; tiagotmaia@ufam.edu.br; tulio.mendes@sgb.gov.br; charles.oliveira@sgb.gov.br; heitor.grazziotin@sgb.gov.br; mayarafraeda@ufam.edu.br

RESUMO

Este trabalho apresenta a caracterização geológica, petrográfica e geoquímica do garimpo da Serra do Atola, localizado no município de Normandia, nordeste do estado de Roraima. Apresenta mineralização aurífera hospedada em rochas metavulcânicas do Formação Cachoeira da Ilha. As amostras analisadas indicam que a mineralização está associada a veios de quartzo com sulfetos, com forte controle estrutural exercido por zonas de cisalhamento e foliação milonítica. Dados petrográficos e geoquímicos, aliados à contextualização tectônica regional, permitem indicar que é depósito da Serra do Atola é um depósito polimetálico de Au-Ag-Zn-Cu, relacionado ao magmatismo pós-colisional (Cinturão Ígneo Orocaima) do Orógeno Akawai. Os resultados contribuem para a compreensão da evolução geológica do Escudo das Guianas, além disso nos dá mais embasamento para explorações minerais futuras nessa região e em outras áreas com características semelhantes também.

PALAVRAS-CHAVE: Ouro, hidrotermalismo, Cinturão Ígneo Orocaima, Roraima.

INTRODUÇÃO

O Garimpo da Serra do Atola (GSA), localizado ao nordeste de Roraima, no município de Normandia, apresenta uma ocorrência de ouro primário que é explotado artesionalmente pelas comunidades locais, sendo uma rara exposição de sistema mineral polimetálico, que confirma o potencial metalogenético das sucessões vulcânicas eo-orosirianas das formações Surumu e Cachoeira da Ilha. Geologicamente, o GSA está inserido no Cinturão Ígneo Orocaima (1.99-1.96 Ga), um amplo magmatismo plutono-vulcânico (Barbosa, 2020) que, juntamente com os cinturões Cauarane-Coereni e Rio Urubu, compõem o Orógeno Akawai (Fraga *et al*., 2024), na porção central do Escudo das Guianas, setor norte do Cráton Amazonas (Santos *et al*., 2006) (Figura 1). As principais unidades geológicas que afloram na área são rochas metavulcânicas das formações Surumu e Cachoeira da Ilha (Fraga, 2002; Fraga *et al.* 2024).

A caracterização geológica e petrográfica do minério e dos seus halos de alteração hidrotermal do GSA, são de grande relevância tanto científica e geológica quanto econômica para a região, pois estão associadas a mineralização do ouro. Além disso, nos dá mais embasamento para explorações minerais futuras e auxilia no avanço do conhecimento geológico da região.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram integrados métodos e dados variados, que incluíram o mapeamento geológico prospectivo, a petrografia e análises química via fluorescência de raio X portátil.

Para a caracterização do minério de ouro e das rochas metavulcânicas associadas, foi feita por meio da petrografia sob luz refletida e transmitida, e integrado ao mapeamento geológico local dos alvos. Baseando-se em procedimentos empregados em estudos anteriores sobre as mineralizações associadas a metavulcânicas e ouro hidrotermal (Ernowo *et al*., 2019; Safiyanu *et al*., 2022). Foram coletadas 17 amostras do minério e da rocha encaixante, abrangendo os diferentes tipos de halos de alteração hidrotermal, tipos de veios e estilos de mineralização. Deste total foram selecionadas 9 amostras para confecção de lâminas polidas que foram feitas no laboratório de laminação da UFAM. Para a descrição dos minerais opacos utilizou-se a mesma metodologia adotada por Almeida *et al*. (2017) e Santos & Ferreira (2019).

Análises multielementares foram realizadas utilizando o Olympus Vanta C Series. Esse equipamento portátil de fluorescência de raio X tem um detector SSD (Silicon Drift Detector) com área ativa de 8 mm^2 (milímetros quadrados), tubo de raio X com ânodo de prata (Ag), operando com tensões de até 50 kV. Os elementos detectáveis são Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, Rb, Sr, Zr, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Ba, W, Pb, Th, U, Ta, Cs, Au, Sc e Pl. Para a análise foram feitas 3 leituras por amostra, onde posteriormente foram calculadas as médias das medidas.

Modificado de González e Londoño, 2002).

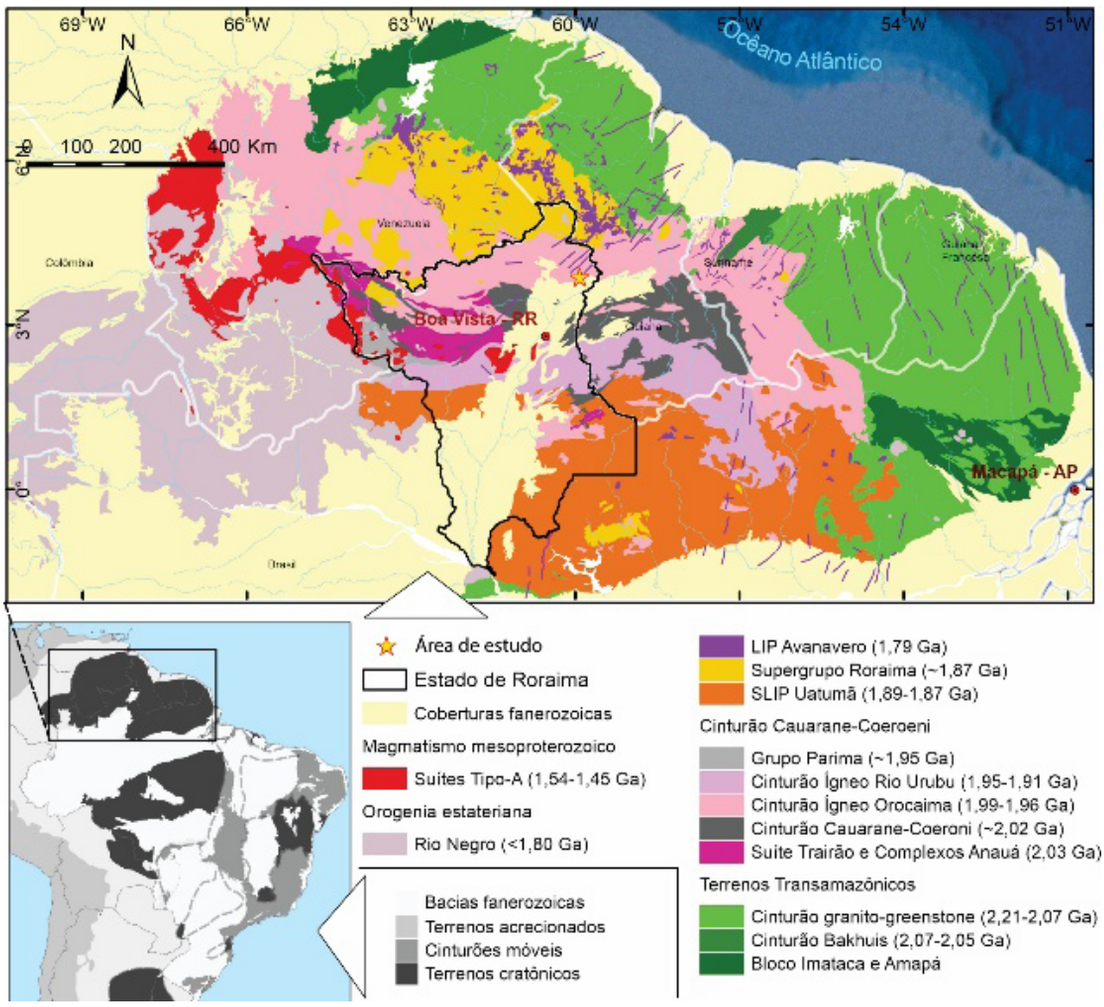


Figura 1: Mapa geológico simplificado do escudo das Guianas com a localização da área de estudo (estrela amarela) (modificado de Fraga *et al.* 2024).

RESULTADOS

Geologia local

Na área de estudo, afloram rochas metavulcânicas félsicas, hololeucocráticas, foliadas e porfiroclásticas, com porfiroclastos esparsos de alcalifeldspato e quartzo. Localmente, há também lentes centimétricas a decimétricas de metabasitos (anfibólio-epidoto-clorita xisto). O pacote exibe foliação milonítica de médio a alto ângulo (mergulho para SW) com lineação de estiramento de alto ângulo, podendo transicionar para L-tectonitos em certos afloramentos

No garimpo essas rochas encaixantes dos veios mineralizados estão metamorfizadas em baixo grau (clorita actinolita xisto) e cisalhadas (N70W 60-70/SW), conforme descrito por Mendes *et al*. (2022), além de apresentar variados graus de hidrotermalismo ao longo de veios de quartzo (N30E 70-90/NW) que é a direção dos chafts e das frentes de trabalho do garimpo (Figura 2A-B).

Análises litoquímicas revelam que os metariolitos que hospedam os veios de quartzo mineralizados são classificados quimicamente como ferroanos, alcalicálcicos a alcalinos, metaluminosos e com alto teor em sílica (74,0-76,7%), o que sugere que façam parte da Formação Cachoeira da Ilha, com a identificação de ignimbritos. Uma amostra de metariolito apresenta idade de 1984,1 ± 5,8 Ma (U-Pb SHRIMP em zircão), atribuída a idade de cristalização, indicando que a sucessão analisada faz parte do Cinturão Ígneo Orocaima.

Geologia, petrografia e geoquímica do minério

Os metariolitos são cortados por múltiplos veios e vênulas centimétricas sulfetadas e silicificadas, podendo estar encaixadas nos planos de foliação ou discordantes, com halos alteração hidrotermal do tipo sericítico-silicificado, este último com intima relação com a mineralização. Há também outros sulfetos de Fe, Cu, Pb e Zn (calcopirita, bonita, galena e esfarelita), além de minerais secundários de cobre (Figuras 2C-D).

O minério de ouro está associado a veios de quarto leitosos sulfetados, que podem ter localmente variações texturais e na quantidade de sulfeto presente, sendo do tipo pervasivo formando texturas do tipo net-texture e disseminada (Figura 2C-D), e do tipo concentrado em veios e vênula, com alguns centímetros de espessura. O minério tem granulação fina a grossa. Parte do minério está parcialmente oxidado, com tons que variam do cinza amarelado ao laranja amarelado (Figura 2G).

A mineralogia do minério é dominada por sulfetos como a pirita, calcopirita, esfarelita, bornita, e galena, e ouro. A pirita, tem a sua presença variando de 1% a 50% na composição do minério, apresenta sempre coloração amarelo claro e hábito variando de anedral a cúbico e está quase sempre associada ao quartzo. A esfarelita é muito fina, anedral, com concentração variada, onde no halo de alteração proximal do minério de ouro é o principal mineral e que dá uma tonalidade acinzentada (Figura 2D) a rocha. A calcopirita é menos comum, apresenta coloração amarelo escuro, hábito anedral, quase sempre estava associada ao quartzo também. A galena também é rara, subedral a anedral, e está associada a esfarelita e pirita, podendo ou não está associado ao ouro. A bornita é muito rara, hábito anedral, muito fina, com coloração azul escura e geralmente está associada a calcopirita. Por último, o ouro é encontrado dentro dos sulfetos ou livre associado a eles e ao quartzo (Figura 2E).

Como ganga, o mineral que predomina é o quartzo, está frequentemente em forma de veios, fraturas preenchidas ou disseminado na matriz, com coloração branca leitosa ou incolor, brilho variando entre vítreo, perláceo, e hábito geralmente anédrico, com textura preferencialmente maciça. Em algumas amostras, o quartzo compõe entre 30% a 60% da rocha. E os outros minerais que compõem as rochas, incluem o plagioclásio, K-Feldspato, magnetita e biotita. O plagioclásio apresenta-se com a cor esbranquiçada, hábito anédrico e está presente de 15% a 30% nas rochas. O K-feldspato, apresenta-se com coloração rosada a avermelhada, com hábito anédrico. A biotita, apresenta tons escuros como o preto, brilho submetálico, hábito foliado e com a presença nas aulas de 15% a 30%.

A proporção entre minério e ganga varia conforme a intensidade da sulfetação, mas há casos com predominância de veios de quartzo sulfetado e outros onde a ganga é dominante. Frequentemente, a pirita é o sulfeto mais abundante, seguido de esfarelita, calcopirita e, em menor quantidade, galena e bornita.

Os dados geoquímicos obtidos pelo FRX portátil mostraram concentrações elevados para Cu, Zn, Pb e Ag e Au na zona sulfetada. Destaque para 0.3 – 2.85 % de Cu, 1.14 -24% de Zn, até 2720 ppm de Ag, até 2757 ppm de Pb, e até 1340 ppm de Au. Outros elementos relevantes que merecem destaque são o Cl com até 4140 ppm, Co com até 840 ppm e Sc com até 820 ppm.

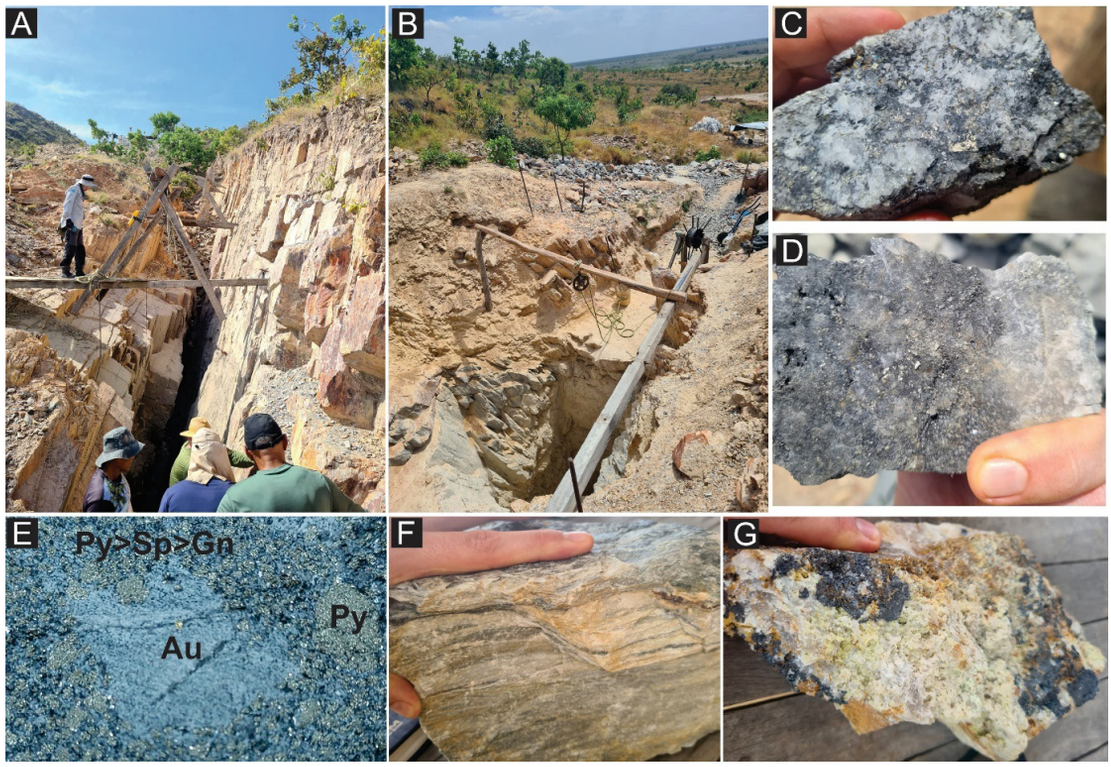


Figura 2. Fotos do garimpo primário do Atola. (A e B) Visão geral da frente de extração do minério em zona com veios sulfetados; (C e D) amostras de mão do minério, com silicificação e sulfetação mais intensos, respectivamente; (E) Ouro livre e visível em amostra de mão rica em sulfetos; (F) rocha metavulcânica milonitizada; (G) minério sulfetado oxidado. Legenda das siglas: Py – pirita, Sp – esfarelita, Gn – Galena e Au- ouro.

DISCUSSÕES

As características texturais e mineralógicas do minério mostram que as rochas passaram por múltiplos eventos geológicos, magmatismo, metamorfismo, cisalhamento e principalmente hidrotermalismo, com algum processo de alteração supergênica também. A predominância de sulfetos associados a minerais de ganga como quartzo, plagioclásio e biotita, além das variações texturais, sugerem um ambiente de formação complexo, relacionado a sistemas hidrotermais.

Ocorrências de ouro hospedadas em cinturões metamórficos e em estruturas deformadas associadas a eventos orogenéticos, geralmente são classificadas como sendo do tipo ouro orogênico, com fluido preferencialmente de origem metamórfico-hidrotermal

(Groves *et al*., 1998; Mayer, 2023.). Entretanto, apesar do GSA estar associado a rochas metavulcânicas cisalhadas e a mineralização ser do tipo de veios quartzo sulfetado, a presença de quantidades significativas de Zn e Pb e relativas de Cu, junto com Au e Ag, sugerem que este depósito de ouro hidrotermal não é puramente orogênico, indicando um forte componente magmático-hidrotermal nele, especificamente *intrusion-related gold systems* (IRGDs), mesmo não tendo sido descritas todas as texturas típicas desse sistema hidrotermal (Hart *et al*., 2004). Como as rochas dessa região são essencialmente orosirianas e compõem o Cinturão Ígneo Orocaima, elas podem ter sido formadas num contexto tectônico de um arco, que pode gerar ambos os tipos de sistema hidrotermal, que são propícios para mineralização de ouro na região.

A relação entre mineralização no sistema mineral orogênico e magmatismo é complexa. Em várias províncias importantes de ouro associado a veios de quartzo, como no Superterrano Eastern Goldfields e na província de Tanami, ambos na Austrália, existe uma estreita relação temporal e, em alguns casos, espacial, entre magmatismo e mineralização (Blewett *et al*., 2010; Huston *et al*., 2007). Entretanto, em outros não, como é o caso daqueles depósitos associado ao evento Benambran, de aproximadamente 440 milhões, onde não se constatou que o magmatismo se sobrepôs à mineralização aurífera, apesar de extensos estudos geocronológicos de granitos e depósitos de ouro em veios (Champion *et al*., 2009).

Estruturalmente, a mineralização ocorre em venulações centimétricas de quartzo com pirita, esfarelita e calcopirita, encaixadas em planos de foliação ou planos discordantes, e os metariolitos hospedeiros exibem foliação milonítica com lineação de estiramento, indicando que a deformação dúctil desempenhou um papel fundamental na canalização dos fluidos mineralizantes, outro critério importante para depósitos orogênicos, mas que também é encontrado nos IRGDs (Goldfarb e Pitcairn, 2023).

A deformação, metamorfismo, cisalhamento e circulação de fluidos hidrotermais tardios, podem estar associados ao desenvolvimento do Cinturão Ígneo Orocaima, que registra magmatismo tardio a pós-orogênico (2,00–1,96 Ga) na área de estudo. Este evento tectônico, associado ao Orógeno Akawai, está inserido em um contexto de convergência continental paleopro-terozoica, com importante atividade magmática e deformacional. A formação das rochas encaixantes (formações Cachoeira da Ilha e Surumu) durante esse intervalo orogenético sugere que a mineralização aurífera foi provavelmente associada a pulsos de fluxo de fluidos hidrotermais ao longo de zonas de cisalhamento geradas ou reativadas durante a fase final desse evento tectônico que está diretamente relacionada a processos tectônicos paleoproterozoicos de colisão e pós-colisão que marcaram a evolução do Escudo das Guianas, no setor norte do Cráton Amazônico.

CONCLUSÕES

A caracterização geológica, petrográfica e mineralógica do GSA permitiu identificar um sistema mineralizado com forte controle estrutural, associado a um contexto tectônico paleoproterozoico. As rochas hospedeiras consistem em metariolitos félsicos e metamáficas da Formação Cachoeira da Ilha e da Formação Surumu, deformados por cisalhamento dúctil e cortados por veios de quartzo mineralizados.

As descrições petrográficas revelaram que a mineralização de ouro é associada a uma sulfetos que predominantemente composta por pirita e esfarelita menores quantidades de calcopirita, galena e bornita, associadas a minerais de ganga como quartzo, plagioclásio, K-feldspato e biotita. As texturas observadas disseminada, veios, vênulas e net-texture, somadas à presença de halos de alteração hidrotermal.

A distribuição da mineralização ao longo de planos de foliação e estruturas discordantes, aliada à presença de lineação de estiramento nos metariolitos, indica que a deformação estrutural foi essencial na condução dos fluidos hidrotermais mineralizantes. A geocronologia obtida (1984 ± 5,8 Ma) e a composição química das rochas encaixantes sustentam a inserção desse sistema no contexto do Cinturão Ígneo Orocaima (magmatismo pós-colisional do Orógeno Akawai).

Sobre a geoquímica do minério, as concentrações de Zn-Cu-Pb evidencia a natureza polimetálica que esse depósito tem para além de Au. O alto teor Cl sugere um fluido salino tipicamente magmático hidrotermal. Por fim destaque importante para as altas concentrações encontradas de Co, que pode ser como um possível e importante coproduto, onde hoje ele tem uma relevância como um metal de transição energética e com cotação altíssima nos mercados e bolsas internacionais. Co é associado a uma fonte ligada a um magmatismo máfico-ultramáfico, que foi descrito como protólito do clorita-actinolita xisto.

Dessa forma, concluímos que a mineralização aurífera da Serra do Atola, tem potencial para ser do tipo polimetálica de Zn-Cu, além de coprodutos de Pb e Co, se enquadra em depósito ouro com fonte magmático hidrotermal, com gênese vinculada a eventos de convergência continental e deformação crustal associados à evolução tectônica paleoproterozoica do Escudo das Guianas. Esse reconhecimento contribui significativamente para o conhecimento geológico da região e reforça seu potencial prospectivo para futuras explorações minerais em ambientes similares. Novos estudos estão sendo feitos nessas rochas que incluem química mineral, litogeoquímica, inclusões fluidas e isótopos estáveis.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos, em primeiro lugar, à comunidade indígena Macuxi, por nos permitirem o acesso ao garimpo da Serra do Atola, dentro de seu território, possibilitando a coleta das amostras que fundamentaram este estudo. Também agradecemos à equipe do Serviço Geológico do Brasil - SGB, cuja parceria foi essencial para a realização da campanha de campo e coleta de dados, sem a qual esta pesquisa não teria sido possível.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, G. F. De; Santos, R. V.; Ferreira, M. A. Metodologia de análise de minerais opacos em depósitos hidrotermais. Revista Brasileira de Geociências, v. 47, n. 1, p. 45–59, 2017.

Barbosa, M. S. Magmatismo pós-orogênico no Cinturão Ígneo Orocaima, norte do Brasil: implicações geodinâmicas. 2020. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2020.

Blewett, R. S.; Henson, P. A.; Roy, I. G.; Champion, D. C.; Cassidy, K. F. Scale-integrated architecture of a world-class gold mineral system: the Archaean eastern Yilgarn Craton, Western Australia. Precambrian Research, v. 183, p. 230-250, 2010.

Champion, D. C.; Kositcin, N.; Huston, D. L.; Mathews, E.; Brown, C. Geodynamic synthesis of the Phanerozoic of eastern Australia and implications for metallogeny. Geoscience Australia Record, 2009/18, 254 p., 2009.

Fraga, L. M. Geologia do norte de Roraima: caracterização de unidades litológicas e suas implicações tectônicas. 2002. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade de Brasília, Brasília, 2002.

Fraga, L. M. *et al*. Evolução geotectônica do Escudo das Guianas e implicações na metalogênese do nordeste da Amazônia. Geologia USP. Série Científica, v. 24, n. 3, p. 15–40, 2024.

Goldfarb, R. J.; Pitcairn, I. Orogenic gold: is a genetic association with magmatism realistic Miner Deposita, v. 58, p. 5–35, 2023. DOI: https://doi.org/10.1007/s00126-022-01146-8.

Groves, D. I.; Goldfarb, R. J.; Gebre-Mariam, M.; Hagemann, S. G.; Robert, F. Orogenic gold deposits: a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. Ore Geology Reviews, v. 13, p. 7–27, 1998.

Hart, C. J. R.; Mair, J. L.; Goldfarb, R. J.; Groves, D. I. Source and redox controls of intrusion-related metallogeny, Tombstone-Tungsten Belt, Yukon, Canada. In: Fifth Hutton Symposium Volume, Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Edinburgh Earth Sciences. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. p. 339–356.

Huston, D. L. *et al*. Lode gold mineral systems of the Tanami Region, northern Australia. Mineralium Deposita, v. 42, p. 175-204, 2007.

Mendes, M. A. *et al*. Estruturação e metamorfismo das rochas metavulcânicas do Grupo Surumu na Serra do Atola, Roraima. Revista Geociências da Amazônia, v. 8, n. 2, p. 112–129, 2022.

Meyer, F. M. Case histories of orogenic gold deposits. Minerals, v. 13, n. 3, p. 369, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/min13030369.

Safiyanu, A. *et al*. Mineralization and alteration patterns in hydrothermal gold systems: insights from petrography and geochemistry. Journal of African Earth Sciences, v. 186, p. 104429, 2022.

Santos, J. O. S. *et al*. Cráton Amazônico e suas províncias. In: Bueno, G. V. *et al*. (org.). Tectônica e evolução geológica do Brasil. São Paulo: [s. n.], 2006. p. 45–78.

Santos, R. V.; Ferreira, M. A. Técnicas de microscopia em minerais opacos: aplicações em depósitos auríferos. Geociências, v. 38, n. 1, p. 101–114, 2019.

ANÁLISE DOS MINERAIS PESADOS NO BAIXO CURSO DO RIO MUCAJAÍ NA REGIÃO DO PAREDÃO, MUNICÍPIO DE ALTO ALEGRE -RORAIMA

Gisela Montenegro Petri[1]; Vladimir De Souza[1]; Carlos Eduardo Lucas Vieira[1]; Lorena Malta Feitoza[1]; Gabriel Araujo de Morais[1]

[1]Universidade Federal de Roraima - UFRR

giselapetri123@gmail.com; vladimir.souza@ufrr.br; carlos.vieira@ufrr.br; lorena.malta@ufrr.br; *gabrielb2k12@gmail.com*

RESUMO

A região do baixo curso do rio Mucajaí, em Roraima, apresenta elevado potencial geológico e tem sido historicamente impactada por atividades de garimpo, o que ressalta a importância de estudos que avaliem seu potencial mineral. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo investigar e caracterizar os minerais pesados presentes nos sedimentos da região do Paredão, município de Alto Alegre – RR. Foram realizadas coletas sistemáticas de sedimentos aluvionares, seguidas de análises macroscópicas por lupa binocular e análises complementares por microscopia eletrônica de varredura e espectroscopia por dispersão de energia (MEV/EDS). Os resultados revelaram uma diversidade significativa de minerais pesados, incluindo ouro, cassiterita, monazita, topázio, zircão, ilmenita, magnetita, xenotímio, granada e hornblenda, além da detecção de elementos terras raras (ETR's) como lantânio (La), neodímio (Nd), cério (Ce) e ítrio (Y). A identificação de minerais com potencial econômico e a presença de elementos críticos reforçam o elevado potencial mineral da área, justificando a necessidade de investigações geológicas e mineralógicas mais detalhadas.

PALAVRAS-CHAVE: Minerais Pesados; Rio Mucajaí; Roraima.

INTRODUÇÃO

O Rio Mucajaí, situado no estado de Roraima, integra a bacia hidrográfica homônima e possui sua nascente no alto curso, com a porção média atravessando as Terras Indígenas Yanomami. Essa bacia abrange uma área de drenagem de aproximadamente 19.500 km² (ANDRETTA; VIANA; MARMOS, 2011), inserida no contexto geológico do domínio da Guiana Central. A região se destaca pela diversidade litológica e estrutural, evidenciada por lineamentos predominantes na direção NE–SW e pela ocorrência de unidades geológicas significativas, como a Suíte Metamórfica Murupu, o Granito Curuxuim, a Suíte Metamórfica Rio Urubu, o Gabro Caracaraí e a Associação AMCG (Anortosito–Mangerito–Charnockito–Granito Rapakivi) (CPRM, 1999).

Apesar de seu elevado potencial geológico, a área de estudo tem sido significativamente impactada pela atividade de garimpo ilegal, com maior intensidade nos trechos alto e médio do rio, particularmente na terra indígena. Mesmo após as operações de desocupação realizadas pela Polícia Federal, os impactos decorrentes dessas atividades ainda são perceptíveis na paisagem, podendo influenciar a mobilização de materiais e favorecer o aparecimento de novas ocorrências minerais no trecho inferior do rio.

A presente pesquisa tem como objetivo investigar e caracterizar a ocorrência de minerais pesados na região do Paredão, situada no município de Alto Alegre, estado de Roraima, com o intuito de avaliar o potencial econômico da área. A região de estudo localiza-se no trecho inferior do rio Mucajaí e é acessada pela rodovia BR-205, a aproximadamente 75,5 km de Boa Vista, seguida por estrada vicinal até as margens do rio (Figura 1A).

MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento deste trabalho foi elaborado em três fases principais: Pré-Campo, Campo e Pós-Campo, conforme as metodologias adaptadas de Pereira (2005) e Souza (2010).

Na etapa pré-campo, foram conduzidos estudos preliminares com ênfase na caracterização geológica da área, por meio de uma revisão bibliográfica abrangente, contemplando artigos científicos, dissertações, teses e relatórios técnicos pertinentes à região e ao tema investigado.

A análise espacial foi realizada por meio do software QGIS, um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de código aberto, para elaborar o mapa de localização, que serviu como base para o planejamento e a logística das atividades de campo.

Na fase de campo, foram realizadas coletas sistemáticas de sedimentos aluvionares em dois pontos ao longo dos meandros do baixo Rio Mucajaí, conforme a metodologia de Souza (2010). As coletas foram iniciadas a partir de escavação de aproximadamente 20 cm para alcançar a fração de cascalho. Cerca de 20 litros de sedimento foram coletados por ponto, ensacados, etiquetados e pesados. O material passou por peneiramento inicial em malha de 5x5 mm para remoção de partículas mais grosseiras, seguido por peneiramento secundário em malha de 1x1 mm para facilitar o processo de bateamento (Figura 1 B).. O bateamento do ponto 1 foi realizado em campo com movimento oscilatório em uma bateia submersa no Rio Mucajaí, concentrando os minerais mais densos no fundo, que foram então coletados para análise laboratorial (Figura 1 C). O ponto 2 teve sua etapa de bateamanto realizada em laboratório com auxílio de uma bacia com água corrente.

Por fim, na etapa pós-campo, os sedimentos coletados foram submetidos ao Laboratório de Geociências (LABENGEO) do Instituto de Geociências (IGEO) da Universidade Federal de Roraima (UFRR). As amostras foram secas naturalmente em placas de petri e, posteriormente, separadas em frações magnéticas e não magnéticas com o uso de um ímã de neodímio. A análise mineralógica inicial foi realizada por meio de microscópio estereoscópio binocular com aumento de até 50x, para a identificação dos

minerais pesados com base em critérios macroscópicos como cor, brilho, hábito cristalino e suscetibilidade magnética, conforme Pereira (2005).

Análises complementares foram efetuadas utilizando as técnicas analíticas avançadas, como a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) de bancada. Marca Hitachi, modelo TM3030 contendo um modulo de Espectroscopia por Dispersão de Energia (EDS) SwiftED3000, no Laboratório de Áreas Degradadas do IGEO/UFRR com o objetivo identificar os minerais descritos anteriormente, além de caracterizar sua composição química com maior precisão.

RESULTADOS

As análises macroscópicas indicaram a presença de um conjunto de minerais em parte compatível com os registros obtidos em estudos anteriores realizados pela CPRM (2017). A identificação mineralógica realizada por meio de lupa binocular revelou a presença de mais de 13 espécies minerais, destacando-se ouro, cassiterita, monazita, topázio, zircão, ilmenita, magnetita, xenotímio, granada, hornblenda, epidoto e possíveis microdiamantes (Figura 2).

A caracterização complementar realizada por microscopia eletrônica de varredura acoplada à espectroscopia por dispersão de energia (MEV/EDS) confirmou a composição dos principais minerais identificados macroscopicamente e revelou a presença de escândio (Sc) como elemento acessório em cristais de zircão. No xenotímio, predominou o ítrio (Y), enquanto elementos terras raras (ETR's), como lantânio (La), neodímio (Nd) e cério (Ce), foram detectados nos minerais do grupo da monazita, os quais também apresentaram, ocasionalmente, elementos como prata (Ag) e fósforo (P) em suas composições.

Grãos de composição atípica também foram identificados, apresentando aproximadamente 93% de (CO2), 3% de (Y2O3) e 3% de (IrO2), segundo os dados obtidos por EDS.

DISCUSSÕES

A diversidade de minerais identificados está diretamente relacionada à geologia da área que que inclui principalmente as unidades Complexo Urariquera, Grupo Cauarane e Suíte Metamórfica Rio Urubu (CPRM, 1999). Essas unidades compreendem rochas ígneas e metamórficas de médio a alto grau, como gnaisses, anfibolitos, migmatitos e granitóides. que podem ser fontes potenciais de minerais resistentes ao intemperismo, como zircão, monazita, xenotímio, granada e ilmenita (DE TOLEDO, 2014).

Os minerais pesados identificados nos sedimentos coletados exibem características relevantes que podem ser associadas às suas possíveis áreas de prove**niência.**

As granadas analisadas, identificadas como almandinas, apresentam maior teor de ferro (Fe) em sua composição, característica comum em rochas metamórficas de médio a alto grau, as encontradas no Grupo Cauarane, nele as rochas apresentam-se intensamente deformadas e polidobrados na fácies xisto verde a anfibolito (REIS *et al*, 2003).

Os ERT's de La, Nd, Ce e Y, encontrados nas análises nos minerais de monazita e xenotímios, tem sua importância no mercado global nas áreas industriais de nova geração (LOUREIRO 2013).

Os grãos de composição atípica têm suas origens ainda são incertas.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo indicaram a presença de uma variedade significativa de minerais pesados no baixo curso do Rio Mucajaí, na região do Paredão, município de Alto Alegre – RR. A identificação de minerais com potencial econômico, como ouro, cassiterita, monazita, topázio, zircão, entre outros, evidencia o potencial econômico da área, justificando a continuidade de investigações geológicas e mineralógicas mais detalhadas.

A análise microscópica via MEV e EDS não apenas validou a identificação mineralógica prévia, como também revelou a presença de escândio (Sc) como elementos acessórios em zircões, Ítrio (Y) nos minerais de xenotímios, lantânio (La), neodímio (Nd), cério (Ce), prata (Ag) e fósforo (P) nos minerais de monazita. Esses achados são particularmente relevantes do ponto de vista econômico de elementos críticos, com aplicações estratégicas em setores de alta tecnologia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CPRM. PROGRAMA LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS BÁSICOS DO BRASIL. Roraima Central, Folhas NA.20-X-B e NA.20-X-D (integrais), NA.20-X-A, NA.20-X-C, NA.21-V-A e NA.21-V-C (parciais). *Escala 1:500.000. Estado de Roraima. Superintendência Regional de Manaus, 1999, 166 p.*

DE TOLEDO, Maria Cristina Motta. Intemperismo e pedogênese. *In:* ***Geologia. USP/UNIVESP/EDUSP****. 2014.*

Loureiro, Francisco Eduardo Lapido *et al*. O Brasil e a reglobalização da indústria das terras raras. CETEM/MCTI, 2013.

Pereira, Ronaldo Mello; Dos Santos Lima, Paulo Roberto Amorim; Ávila, Ciro Alexandre. Minerais em grãos: técnicas de coleta, preparação e identificação. Oficina de Textos, 2005.

Reis, N. J. *et al*. Geologia do estado de Roraima, Brasil. ***Géologie de la France***, n. 2-3-4, p. 121-134, 2003.

Souza, Frederico José Campêlo de; Castro, João Henrique Wustrow. Treinamento em análise mineralógica de minerais pesados. 2010.

Viana, Érica Cristina Acácio; Marmos, José Luiz; Andretta, Elton Rodrigo. Levantamento geoquímico de baixa densidade nas águas superficiais do Baixo Rio Mucajaí (RR). 2011.

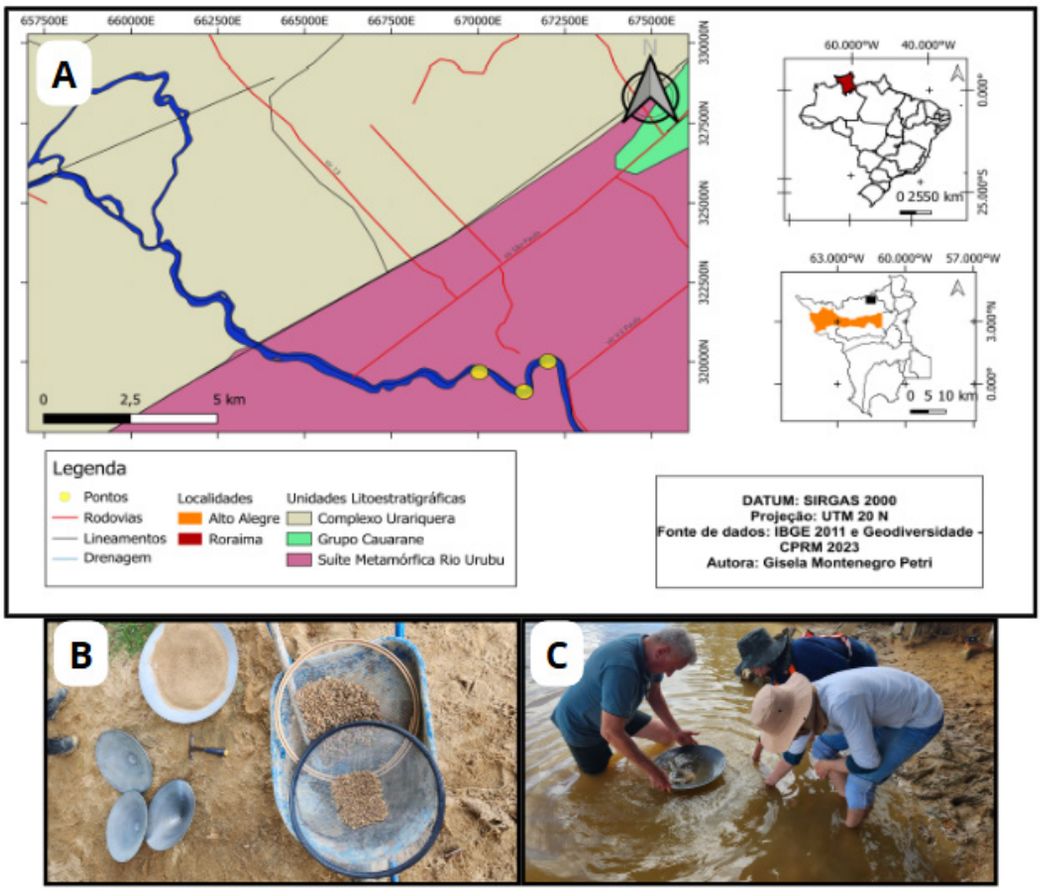


Figura 1 – Suíte Metamórfica Rio Urubu; A) Mapa de localização da área de estudo; B) Coleta de minerais pesados em terra; e C) Coleta dos minerais pesados no Rio Mucajaí

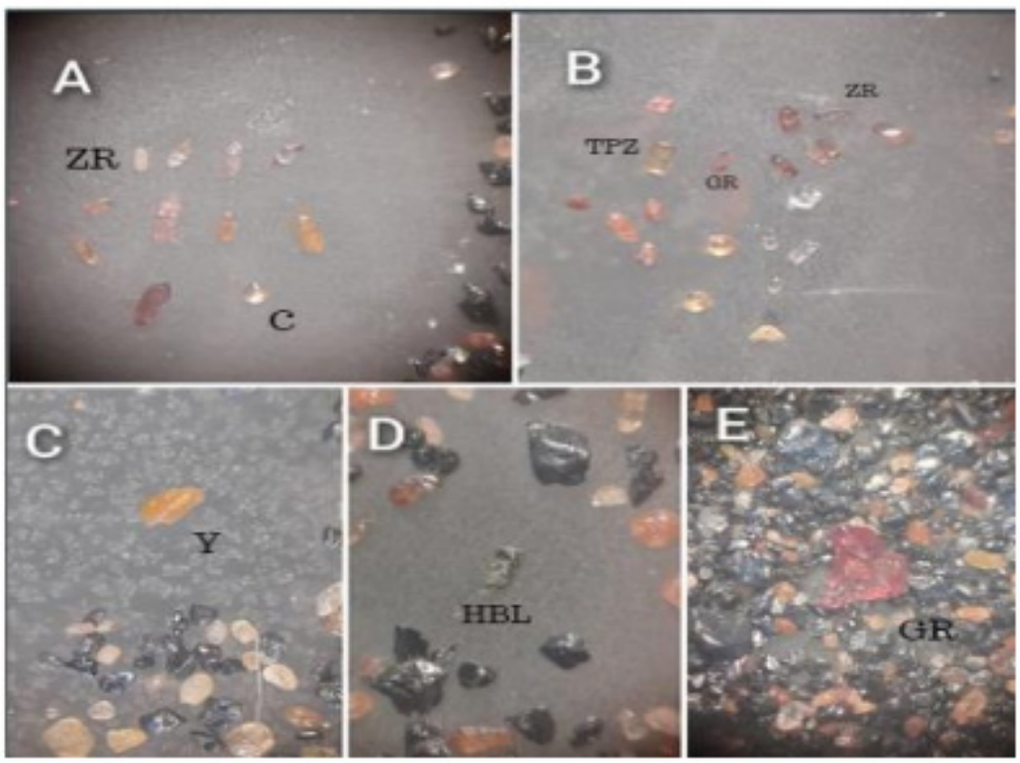


Figura 2 – Espécies minerais encontradas nas amostras: A) Zircões e um possível diamante; B) Topázio, Granadas, Zircões; C) Xenotímio; D) Horblenda; E) Granada.

TECNOLOGIA SUSTENTÁVEL: PROTÓTIPO DE BIODIGESTOR CASEIRO PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS E BIOFERTILIZANTE NO MUNICÍPIO DE BOA VISTA/RR

Tarsila Zandoná Aguilar[1]; Lena Simone Barata Souza[1]; Carlos Sander[1]

[1]Universidade Federal de Roraima-UFRR

tarsilaza@gmail.com; lenabarata@yahoo.com.br; carlos.sander@ufrr.br

RESUMO

O biodigestor é visto como uma alternativa bastante relevante para a discussão sobre as questões ambientais, pois utiliza resíduos que seriam dispensados como descarte para a geração de biogás e digestato ou biofertilizante. A pesquisa em apreço demonstrou os prós e contras na construção e operação de um biodigestor não industrial, tanto um modelo urbano quanto um rural, com enfoque no processo de configuração dos equipamentos, para melhor satisfação no tratamento de resíduos orgânicos, visando o aproveitamento do biogás, podendo ser reproduzido por qualquer indivíduo de interesse. O estudo realizado, desde a construção, implantação até a avaliação, foi comprovado através da viabilidade técnica com as adaptações de alguns elementos formadores. No entanto, a viabilidade energética e a produção do biofertilizante não puderam ser mesuradas em sua plenitude. Ainda assim, com todo inconveniente, foi possível comprovar a implantação da técnica da biodigestão visto a relação direta com o desenvolvimento sustentável, que abrange as áreas ambiental, econômica e social.

PALAVRAS-CHAVE: Biodigestão; Digestado; Resíduos Sólidos Orgânicos; Sustentabilidade; Roraima.

INTRODUÇÃO

O modelo de desenvolvimento industrial, aliado à urbanização acelerada, tem contribuído de forma significativa para os processos de degradação ambiental. O acirramento cada vez mais evidente da crise ambiental, traz consigo questionamentos quanto à racionalidade e os paradigmas teóricos que fomentam o crescimento econômico e desenvolvimento social, e por consequência o desabono quanto à natureza (LEFF, 2001).

Trazendo luz a discussão dos direitos das gerações futuras que possam ser afetadas pelo consumismo desenfreado e a deficiência no gerenciamento dos recursos naturais disponíveis, a discussão sobre o desenvolvimento sustentável se faz necessária e fundamental, a fim de trazer para o cotidiano, noções e ações que prospectem maior qualidade de vida, tanto individual quanto em sociedade (NUNES, 2018).

Diante desse contexto a sustentabilidade não pode e não deve ser vista como um mero apêndice para sociedade, pois para uma melhor vivência é necessário que o homem coexista de comum acordo com o meio ambiente. Desta forma, o biodigestor é visto como uma alternativa bastante relevante para a discussão sobre as questões ambientais, pois utiliza resíduos que seriam dispensados como descarte para a geração de biogás e digestato ou biofertilizante.

A utilização de biogás é uma alternativa à preservação dos recursos hídricos, quer sejam rios, lagos ou lençóis freáticos, por permitirem a diminuição da deposição indiscriminada de resíduos no meio ambiente. Inevitavelmente, reduzirá a demanda por Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), o gás de cozinha, ou mesmo a utilização de lenha ou energia elétrica para os mais diversos usos, cozimento ou aquecimento. De forma isolada, sob o prisma energético e do aquecimento global, o efeito pode parecer pequeno, porém apresenta um enorme potencial e um percentual avantajado de propiciar benefícios tangíveis, principalmente se, grande parte das propriedades com capacidade produtiva adotarem esta tecnologia.

Assim, o presente trabalho visa apontar os prós e contras na construção e operação de um biodigestor não industrial, tanto um modelo urbano quanto um rural, com enfoque no processo de configuração dos equipamentos, para melhor satisfação no tratamento de resíduos orgânicos, propondo o aproveitamento do biogás, podendo ser reproduzido por qualquer indivíduo de interesse.

O propósito é apresentar um biodigestor caseiro que possa ser utilizado numa comunidade de região urbana e rural do município de Boa Vista/RR, partindo desde a construção (montagem do equipamento com materiais acessíveis) e manuseio (alimentação e coleta dos subprodutos durante o processo) do mesmo. Nesse contexto os modelos de biodigestor Chinês e o Indiano são os que apresentam melhores características de reprodutibilidade, sendo indicados no tratamento de efluentes domésticos e de pequenas propriedades rurais (BRASIL, 2020).

O modelo chinês, apesar de ser confeccionado com uma tecnologia robusta, sendo sua construção toda em alvenaria, o modelo aqui proposto é confeccionado com materiais diferentes, no entanto com funcionamento semelhante (Figura 1). Sendo essa uma escolha de destinação de resíduos orgânicos, gerando o biogás, que poderá ser utilizado nas cozinhas em substituição ao GLP, e o digestato, a ser utilizado na fertilização em hortas e plantações.

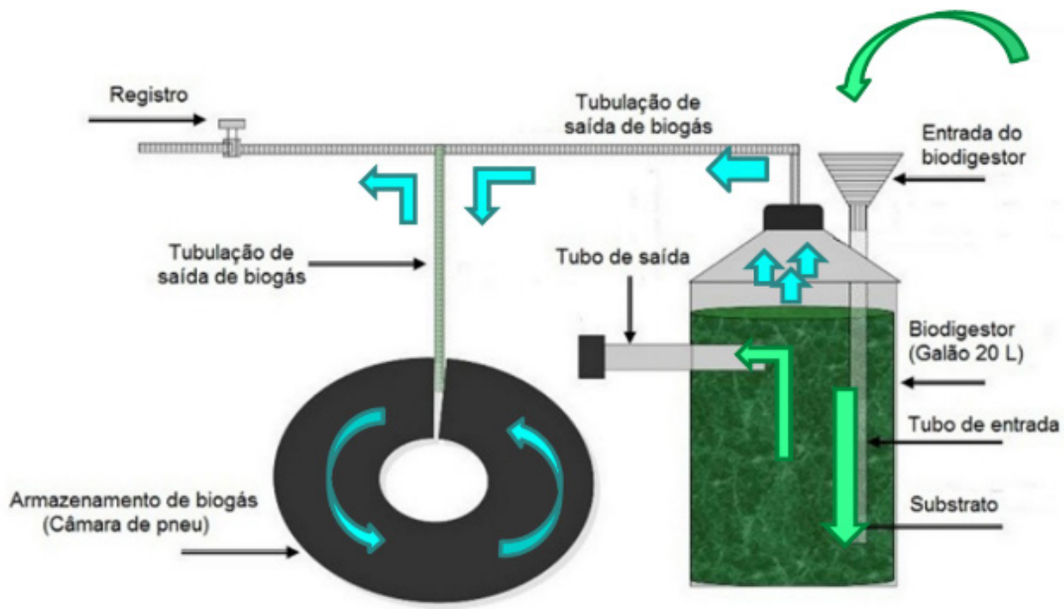


Figura 1 - Representação do funcionamento do biodigestor não industrial. Modificado de BGS (2014).

As áreas de implantação do biodigestor da presente pesquisa perfaz o estado Roraima, uma em meio urbano e outra em uma residência unifamiliar (área rural), está diz respeito a um sítio, propriedade de um pequeno produtor de leite, criador de bovinos e suínos (Figura 2).

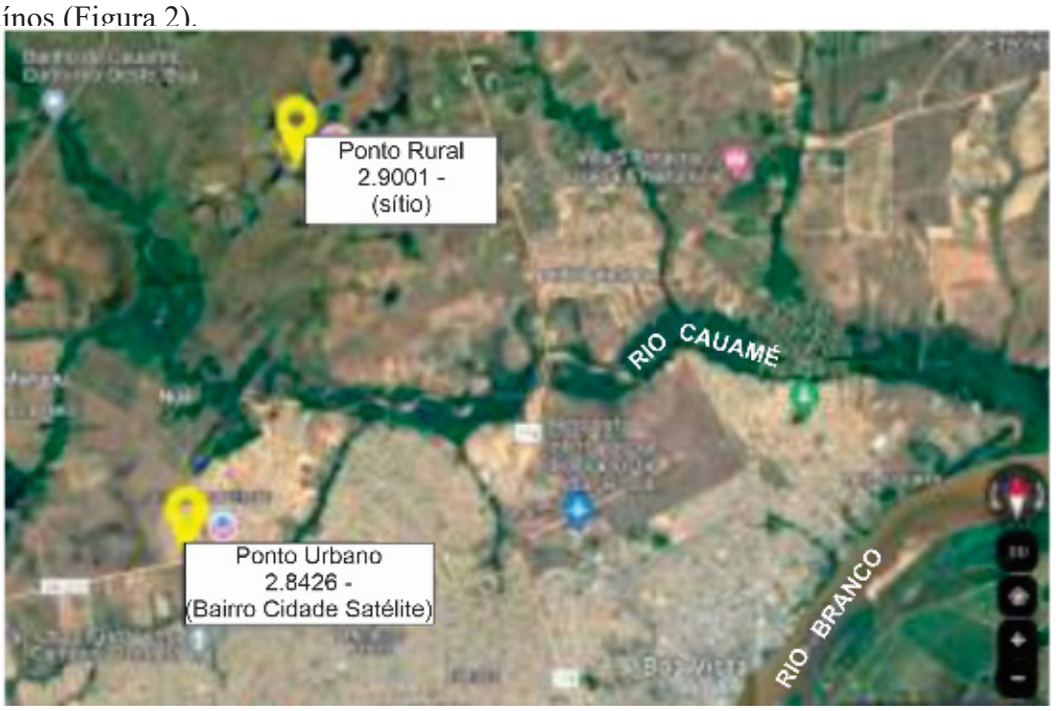


Figura 2 - Exemplificação dos pontos de instalação do biodigestor caseiro. Fonte: Modificado de *Google Maps* (2023).

MATERIAIS E MÉTODOS

A construção dos dois biodigestores, denominados modelo urbano e um biodigestor em meio rural, este último tem maior disponibilidade de substrato.

Os recipientes utilizados para servirem de biodigestores foram distintos, devido a quantidade disponível de substrato, como mencionado. O aparelho urbano foi um galão plástico usado de água de 20 litros, e o aparelho rural foi um tambor (bombona) de 100 litros. Em ambos os equipamentos, além do acesso de entrada do substrato, foram acopladas saídas para recolher o gás produzido e para drenagem do digestato (Figuras 3 e 4).

Figura 3 - Configuração final do biodigestor modelo urbano. Observar o significado das letras: A-galão de armazenamento de matéria para decomposição; B-tubo de entrada para abastecimento com resíduos orgânicos; C-registro de saída de digestato decomposto; D-câmara de pneu para armazenamento de biogás gerado; E-válvula de saída de biogás para teste de chama.

Figura 4 - Configuração final do biodigestor modelo rural. Observar o significado das letras: A-bombona de armazenamento de material orgânico; B-tubo de entrada para abastecimento; C-registro de saída de digestato decomposto; D-câmara de pneu para armazenamento de biogás gerado; E-válvula de saída de biogás para teste de chama.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O primeiro protótipo confeccionado foi do modelo urbano, feito em fevereiro de 2020. Com carga inicial de aproximadamente 16 kg de substrato, de esterco seco bovino diluído em água. No decorrer dos dias seguintes foi feito o carregamento diário com resíduos alimentares triturados e misturados com água, na mesma proporção. A opção inicial pelo esterco seco se deu pelo fato da indisponibilidade do material fresco na época dos testes preliminares.

Com alguns dias do início do processo foi observado um enchimento da câmara, porém no teste de inflamabilidade não foi possível detectar gás suficientemente inflamável. E, nas semanas seguintes não houve nenhuma alteração no enchimento da câmara, logo não houve nenhuma produção de gás, e o digestato produzido também foi em quantidade mínima, apenas alguns mililitros de líquido.

Após quatro semanas sem nenhuma alteração evidente, em relação à produção de gás, foi feita uma nova recarga de esterco animal diluído, para que houvesse uma aceleração na produção dos subprodutos. Infelizmente, fora observado vazamentos, logo a câmara não apresentava o enchimento esperado. Com isso foi feito o esvaziamento total do equipamento e refeito o sistema de vedação, porém ainda se apresentou ineficiente com o tipo de vedação de areia e supercola.

Com tais problemas de vedação detectados, foi tomada decisão em montar um segundo equipamento do mesmo modelo, com vedação de borracha e supercola e com abastecimento inicial de substrato fresco diluído. Após o descanso de 15 (quinze) dias da primeira carga foi dado início a cargas contínuas de resíduos alimentares. Logo nos dias seguintes pôde se notar o enchimento da câmara. Mas, no teste de inflamabilidade não fora detectado queima suficiente do gás gerado, o metano produzido era em pouca quantidade, ou seja, a chama foi de pouca duração. Após cada teste de inflamabilidade era feito o esvaziamento da câmara para que pudesse ter uma análise da produção do gás gerada pelo biodigestor.

Os testes de inflamabilidade mostravam que a produção não era a esperada de gás inflamável, o metano. Desta forma, a opção foi anexar filtros, um do modelo *Iron Sponge* para filtrar impurezas e a possível produção de gás sulfídrico (DA SILVA; MEZZARI, 2019). O outro filtro fora adaptado com água e cal, capaz de dar a coloração azul facilitando a visualização do gás produzido. No entanto, mesmo com essas adaptações, os testes falharam. Não havia uma produção conveniente de gás metano.

O digestato produzido, desde o início das coletas apresentou odor forte, avinagrado. Então, foi possível detectar que não estava havendo a decomposição adequada do material orgânico, ou seja, os micro-organismos não estavam agindo conforme a decomposição anaeróbia deve ocorrer. Pois, para que ocorra a digestão anaeróbia, as atividades dos microrganismos em todas as etapas (hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese) devem ocorrer de maneira equilibrada (BRASIL, 2020).

Devido aos problemas apresentados com a vedação dos equipamentos e consequentemente a ineficácia do biodigestor, foi tomada decisão em fazer um terceiro com outro material de vedação, o veda-calha. Nesse momento, foi confeccionado, também, o equipamento de modelo rural. Ambos deveriam agir no mesmo período, a partir de agosto de 2020, para que pudesse obter parâmetros de comparação.

Com duas semanas após a instalação dos equipamentos e dado início com a primeira carga de esterco fresco de gado diluído, foi iniciado o abastecimento com material orgânico advindo dos descartes alimentares das cozinhas.

Após um mês do início do processo, o equipamento modelo urbano, apresentou enchimento da câmara e o teste de inflamabilidade foi bem satisfatório. O equipamento modelo rural, por ser maior, precisou de mais material orgânico, cerca de um acréscimo de 20 (vinte) litros. Após esse abastecimento foi analisada a produção de gás e no teste de inflamabilidade, sendo observada a chama (Figura 5).

Figura 5 - Chama observada com ignição

Quanto ao digestato (Figura 6A-B), após 30 (trinta) dias do início, só se pôde fazer a coleta no modelo urbano, que ainda apresentou odor muito forte, ocasionado por um processo de acidificação do material em decomposição. O equilíbrio das etapas de digestão anaeróbia, pelo processo de degradação da matéria orgânica, não estava transcorrendo como o previsto e desejável. Estima-se que tal evento ocorreu devido a não seguridade das condições ideais dos parâmetros de operação, tais como a temperatura, pH, agitação e carga de alimentação (BRASIL, 2020).

Figura 6 - Retirada do digestato do equipamento e configuração do digestato obtido. A. Imagem da esquerda exemplifica a coleta do digestado. B. Imagem da direita mostra o digestado dentro de um balde

Com o período de 60 (sessenta) dias após o início do processo com o terceiro equipamento modelo urbano, foram detectados micro vazamentos e ressecamento do galão, o que consequentemente levou a interferência na observação e medição da inflamabilidade. O modelo rural, teve bom desempenho quanto a vedação, porém, como indicado que teria de ficar em local arejado que pudesse ter incidência solar para mantimento da

temperatura interna (BGS, 2019; FRARE, GIMENES, PEREIRA, 2009), houve também um ressecamento, neste, na entrada da câmara de armazenamento do gás, e posteriormente na tubulação maleável, o que ocasionou vazamentos, retardando, mais uma vez, a verificação da produção de biogás.

A produção de biogás em ambos os modelos desenvolvidos, não foi considerada suficiente para que pudesse suprir o fornecimento de gás em substituição ao GLP, para o funcionamento do fogão, por exemplo.

O garrafão plástico de 20 (vinte) litros, apresentou uma durabilidade curta, por conta de intempéries que sofreu e, talvez, pela ação interna da fermentação. Sendo esse um item essencial para a montagem de um biodigestor, o recomendado é utilizar um recipiente com configuração de material resistente, fabricado em plástico em polietileno de alta densidade, assim como o tambor que foi utilizado no modelo rural.

Algumas inconformidades surgiram no decorrer da pesquisa, acarretando no comprometimento da continuidade, como a vedação dos biodigestores, além da disponibilidade da matéria de alimentação do equipamento urbano, como o esterco fresco de bovino ou suíno, para a iniciação da atividade microbiana.

Como o fator de maior problema na construção dos biodigestores foi à vedação, isso também, porque o biogás apresenta em sua composição gases corrosivos como o dióxido de carbono CO_2 e o gás sulfídrico H_2S, esse pode ter sido o fator que levou a deterioração da cola utilizada no primeiro protótipo confeccionado. Porém, com a utilização de outros métodos, como o veda calha, e a aplicação de pedaços de câmara de ar com cola solucionaram momentaneamente tal problema nos equipamentos seguintes.

Após a conclusão da confecção de cada biodigestor, foram instalados em local que pudessem ter incidência solar para a manutenção da temperatura interna, condição que em Roraima é um fator positivo, pois há um melhor rendimento do biodigestor em superfície, onde a temperatura em que se encontra o biodigestor esteja na faixa indicada para que as bactérias metanogênicas possam ter um melhor desempenho, que é entre 35° C e 40°C (ESTOPPEY, 2010).

Seguindo a literatura, em elevadas temperaturas a atividade microbiana é aumentada, fazendo com que a matéria orgânica se degrade mais rápido e levando a uma diminuição do tempo de produção do biogás (LI *et al*., 2017). Logo, com o decorrer do tempo, caso a temperatura fique controlada e sem variações drásticas, os resultados podem ser melhores e mais satisfatórios na obtenção do biogás e do digestato (KARLSSON, 2014).

Cabe salientar que a pressão produzida pelos gases dentro do biodigestor é baixa, logo para que o gás pudesse entrar na câmara de ar foi necessário retirar a válvula do pito da câmara de ar, a qual é o principal ponto de inspeção visual da produção de biogás, por meio da variação de volume.

É importante dizer também, que devido aos reparos necessários para a eficiência da vedação, a câmara de ar utilizada para o armazenamento do gás, apresentou rachaduras, devido a exposição prolongada à luz solar e demais intempéries, o que resultou em outros vazamentos, sendo necessária a substituição desta parte do equipamento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa demonstrou, de forma simples, a viabilidade de implantação, construção, manutenção e a difusão da tecnologia da utilização do biodigestor caseiro de baixo custo para residências urbanas e rurais. Visto que, a aceitação inicial e a avaliação são consideradas positivas, principalmente nos aspectos da obtenção de um retorno, tanto ambiental quanto financeiro, quanto a possível substituição do gás de cozinha.

Os custos advindos da construção dos biodigestores no presente estudo foram relativamente baixos já que parte dos materiais puderam ser reaproveitados ou foram doados. O uso de materiais reaproveitados, reciclados ou sem uso atual, podem ser uma alternativa economicamente viável para a construção do biodigestor, já que não precisa ser necessariamente com materiais novos, apenas estando em bom estado de conservação.

A confecção e implantação dos biodigestores nas localidades escolhidas comprovou a viabilidade técnica com adaptações nos equipamentos. No entanto, a viabilidade energética com o biogás e a produção do biofertilizante não puderam ser mensuradas, devido a recorrentes adaptações nos equipamentos. Mas, apesar dos inconvenientes ocorridos, pôde ser comprovando que é possível implementar técnicas já conhecidas de forma inovadora, a fim de alcançar o desenvolvimento sustentável, que abrange as áreas ambiental, econômica e social. Porém, se faz necessário uma ampla divulgação dos conhecimentos acerca da utilização de biodigestores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Estoppey, N. Evaluation of small-scale biogas systems for the treatment of faeces and kitchen waste. (2010). Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), Dübendorf, Switzerland. p.7.

BGS. Equipamentos para Biogás. Biodigestores ao redor do mundo. Disponível em: <https://www.bgsequipamentos.com.br/biodigestores-ao-redordo-mundo>. Acesso em: 17 set. 2019.

BRASIL. Fundamentos da Digestão Anaeróbia de Substratos Agroindustriais. Projeto Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira: GEF Biogás Brasil. (2020). CIBIOGÁS, Centro Internacional de Energias Renováveis. UTFPR, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. MCTI. Brasília-DF, ago. 2020.

Da Silva, M.L.B.; Mezzari, M.P. Tratamento e purificação de biogás. Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato. (2019). Capítulo IV, p. 69-93.

Estoppey, N. Evaluation of small-scale biogas systems for the treatment of faeces and kitchen waste. (2010). Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), Dübendorf, Switzerland. p.7.

Frare, L. M.; Gimenes, M. L.; Pereira, N. C. Processo para remoção de ácido sulfídrico de biogás. (2009). Engenharia Sanitária e Ambiental, Paraná, 14, 2, 167-172.

Karlsson, T. *et al*. Manual básico de biogás. (2014). 1 ed. Lajeado: Editora Univates, Rio Grande do Sul, 69 p.

Leff, E. Saber ambiental: sustentabilidade, racionalidade, complexidade, poder. (2001). ed 5. Petrópolis: Vozes, 494 p.

Li, L. *et al*. Anaerobic digestion of food waste: A review focusing on process stability. (2017). Bioresource Technology, 248, 20-28.

Nunes, T. S. Reciclagem, o meio ambiente e a garantia constitucional. (2018). In. Congresso de Direito Constitucional do Estado de Roraima, V, 2018, Boa Vista, Roraima. Resumos... Roraima: Universidade Estadual de Roraima, p. 34.

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E GEOQUÍMICA DE METAIS DAS ROCHAS VULCÂNICAS HIDROTERMALIZADAS DO GARIMPO DO GAVIÃO, SUDESTE DO AMAZONAS

Roberta Loureiro Lima[1]; Tiago Felipe Arruda Maia[1]; Antônio Charles da S. Oliveira[2]; Mayara Fraeda Barbosa Teixeira[1]
[1]Universidade Federal do Amazonas – UFAM; [2]Serviço Geológico do Brasil – SGB

robertaloureiro.l@hotmail.com; tiagotmaia@ufam.edu.br; charles.oliveira@cprm.gov.br; mayarafraeda@ufam.edu.br

RESUMO

O Garimpo Gavião, localizado no município de Novo Aripuanã (AM), insere-se em um contexto geológico paleoproterozoico dominado por rochas tufáceas e riolíticas do Grupo Serra do Gavião (1,51–1,52 Ga). A área pertence à Província Rondônia–Juruena, entre os domínios Roosevelt–Aripuanã e Juruena que é marcada por intensa alteração hidrotermal e estruturação rúptil-dúctil. Este estudo caracterizou as rochas hidrotermalizadas a partir de furos de sondagem e fez análises geoquímicsa pontuais por meio de Fluorescência de raio-X portátil. Os dados de furos de sondagem reveraram rochas vulcânicas fortemente hidrotermalizadas, com alteração hidrotermal propilítica e sericítica dominantes, além de zonas fortemente sulfetadas (pirita e raras calcopiritas), e silicificadas. A geoquímica revelou uma ausência de ouro nas amostras analisadas, zona com sulfetos. Para os metais, o diagrama multielementar revelou enriquecimento significativo de enxofre e anomalia positiva de molibdênio em algumas amostras, sugerindo variações nos fluidos mineralizantes.

PALAVRAS-CHAVE: Ouro, Garimpo do Gavião, Petrografia, Minério

INTRODUÇÃO

O Garimpo de Ouro (Au) do Gavião (GG), localizado na região sudeste do estado do Amazonas, teve sua exploração inicial concentrada em depósitos aluvionares entre 1985 e 1995. Posteriormente, entre 1997 e 2002, empresas juniores de mineração conduziram pesquisas voltadas à mineralização primária, realizando campanhas de sondagem com diversos furos. Após a interrupção dessas atividades, a criação do Parque Nacional Campos Amazônicos na região tornou inviável a explotação do depósito. No entanto, o GG permanece como um exemplo relevante para o estudo de sistemas auríferos proterozoicos no Cráton Amazônico.

A região sudeste do Amazonas destaca-se como fronteira mineral prospectiva. Estudos recentes (Meloni *et al.*, 2022; Goulart *et al*., 2019) confirmaram sua ligação geológica e, possivelmente, metalogenética com as províncias de Tapajós (Vasquez *et al.,* 2024) e Juruena-Teles Pires (Rizzotto *et al*., 2022). Meloni *et al*. (2022) descreveram dezenas de ocorrências de ouro hospedadas em sucessões vulcano-sedimentares cronocorrelatas a essas províncias, agrupando-as no Distrito Aurífero Eldorado do Juma.

Oliveira e Almeida (2021) demonstram que o Terreno Juruena, no sudeste do Amazonas, tem sua compartimentação controlada pela Faixa Deformacional Roosevelt-Guariba (FDRG; 1,51–1,46 Ga), uma estrutura litosférica intracontinental de direção NW-SE. Essa faixa justapõe sequências supracrustais (Grupos Colíder e Vila do Carmo - Reis *et al*., 2013) e suítes plutônicas (Suítes Teodósia e Igarapé das Lontras, 1,76–1,75 Ga - Almeida *et al*., 2016) do Juruena, a Leste, enquanto, a oeste, faz o contato entre rochas estaterianas Juruena e granitoides e sucessões vulcânicas do magmatismo Serra da Providência (1,57–1,51 Ga - Almeida *et al*., 2016; Oliveira e Lira, 2019). É nessa borda oeste da FDRG que se localiza o GG, cerca de 12 km da margem direita do RioRoosevelt, importante afluente do Rio Aripuanã.

Oliveira e Lira (2019) descrevem, ao longo do Rio Roosevelt, sucessões vulcânicas félsicas (piroclásticas, derrames efusivos e intrusões subvulcânicas) agrupadas no Grupo Serra do Gavião, além de diques sin-magmáticos máficos da Suíte Matá-Mata. Essas unidades são marcadas por intensa estruturação rúptil a rúptil-dúctil (direção NE-SW) e alteração hidrotermal. Os autores também reportam uma ocorrência polimetálica (Au-Cu-Pb-Zn) associada a essas rochas. Datações U-Pb em zircão revelaram idades de cristalização entre 1,51 e 1,52 Ga para o Grupo Serra do Gavião, ao qual esses autores incluíram as rochas vulcânicas hospedeiras da mineralização do GG (Galé *et al*., 2015; Souza *et al*., 2016).

Este trabalho apresenta uma análise integrada das rochas hospedeiras da mineralização no GG, com base em descrições mineralógicas e texturais de intervalos de testemunhos de sondagem. Além de análises químicas pontuais de Fluorescência de Raio-X.

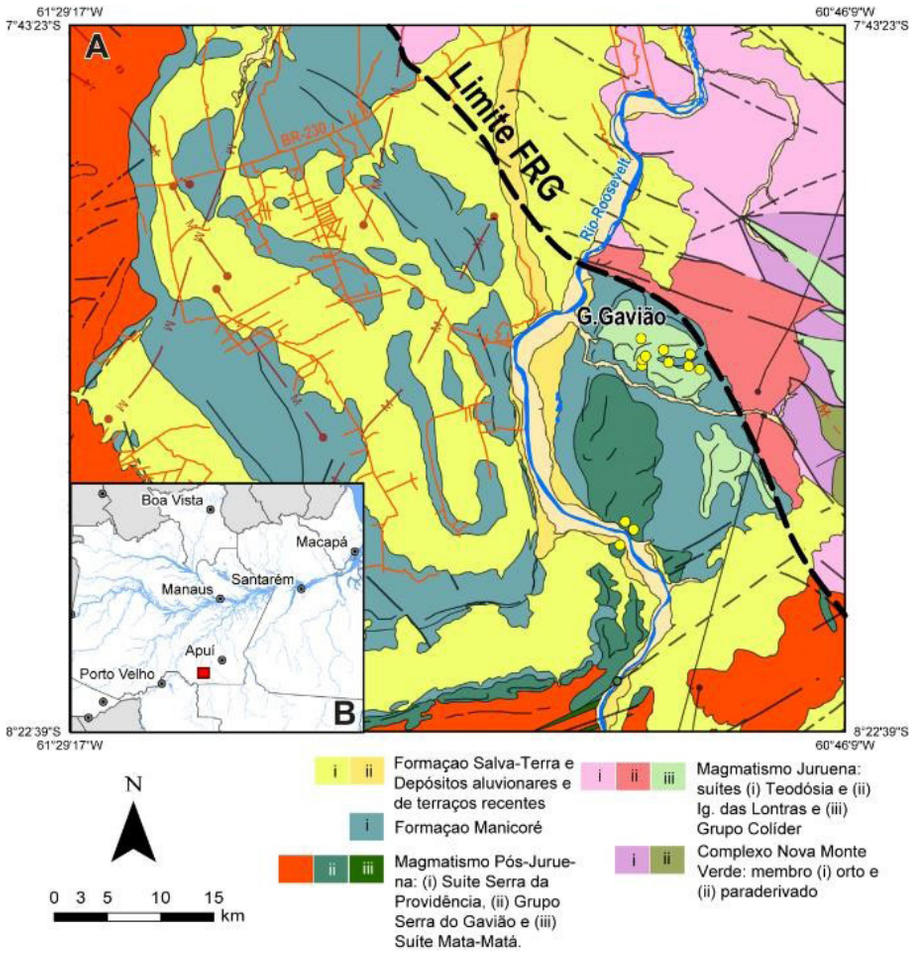


Figura 1 – A) Mapa geológico simplificado, destacando ocorrência de minerais (círculos amarelos), compilado Oliveira *et al*. (2019). B) mapa de localização mostrando área no sudeste do Amazonas (quadrado vermelho).

MATERIAIS E MÉTODOS

A caracterização das amostras utilizadas neste estudo seguiu critérios macroscópicos e petrográficos, com os principais aspectos texturais, mineralógicos e estruturais das rochas associadas à mineralização aurífera no Garimpo do Gavião. Inicialmente, foi realizada a descrição macroscópica dos testemunhos de furos de sondagem, totalizando 832 metros lineares. Foi realizada uma descrição detalhada dos intervalos considerados mais relevantes para o entendimento da mineralização, separando as observações por amostra e/ou intervalo dentro dos testemunhos. Essa análise permitiu identificar as principais unidades litológicas, como rochas graníticas, metassedimentares e zonas de veios de quartzo, bem como estruturas relevantes como zonas de fraturamento e alteração hidrotermal. Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos por meio de uma parceria técnico-científica entre o Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM (unidade regional de Manaus) e a Universidade Federal do Amazonas (UFAM), o que possibilitou o acesso ao acervo de testemunhos de sondagem.

Algumas dessas amostras foram utilizadas na confecção de lâminas com seção polida, analisadas no laboratório da Universidade Federal do Amazonas (UFAM). A caracterização petrográfica foi realizada em microscópio trinocular, com luz transmitida e re-

fletida. Foram descritos os minerais da ganga (quartzo, clorita, serpentina), bem como minerais opacos relacionados à mineralização (Pirita, Galena, Calcopirita). Por fim, todas as informações obtidas foram organizadas em um banco de dados digital, contendo a descrição de cada amostra e intervalo estudado, acompanhadas de registros fotográficos dos testemunhos e das lâminas. Esse banco serviu como base para a análise integrada dos dados geológicos e para a construção de perfis interpretativos dos furos de sondagem.

Análises multielementares foram realizadas utilizando o Olympus Vanta C Series. Esse equipamento portátil de fluorescência de raio X tem um detector SSD (Silicon Drift Detector) com área ativa de 8 mm2 (milímetros quadrados), tubo de raio X com ânodo de prata (Ag), operando com tensões de até 50 kV. Os elementos detectáveis são Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As,

Se, Rb, Sr, Zr, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Ba, W, Pb, Th, U, Ta, Cs, Au, Sc e Pl. Para a análise foram feitas 3 leituras por amostra, onde posteriormente foram calculadas as médias das medidas.

RESULTADOS

Geologia Local

A área do garimpo Gavião está inserida na Província Rondônia–Juruena, mais precisamente na região de transição entre os domínios Roosevelt–Aripuanã e Juruena. A geologia local é marcada pela presença de rochas vulcânicas e intrusivas de arco magmático paleoproterozoico, atribuídas às suítes Colíder, Teodósio e Teles Pires, conforme descrito por Costa *et al*. (2010). Essas unidades são cortadas por granitóides pós- tectônicos mesoproterozoicos, relacionados à suíte Serra da Providência.

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos a partir da descrição litológica de furos de sondagem disponibilizados pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM). Dentre os furos analisados, destaca-se um total de 832 metros de testemunhos de sondagem, onde um furo específico o GG-08, com 149.05m, foi descrito detalhadamente, aonde foram descritos dois principais litotipos, ambos fortemente hidrotermalizados (Figura 2).

A primeira litologia corresponde a Tufos cineríticos (Figuras 2A-B), com coloração cinza escuro a esverdeado, textura afanítica, com cristais de biotita, quartzo e plagioclásio. A segunda litologia corresponde a uma brecha tectônica/brecha hidrotermal com fragmentos litícos (Figura 2F) com clastos angulosos de até 4 cm, textura fanerítica e mineralogia composta por K- feldspato, quartzo e plagioclásio. A rocha exibe intensa alteração hidrotermal dos tipos propilítica, sericítica, silicificação e potassificação (Figuras 2C-F). Veios e vênulas de quartzo são frequentes, com texturas tipo comb e crustiforme, muitas vezes formando sistemas tipo stockwork (Figuras 2A-C), com ou sem sulfetação associada (pirita e possível calcopirita) (Figuras 2G-H). Em alguns intervalos ocorre adulária associada à sericitização. Este mesmo litotipo está intercalado com ignimbrito com fiames (Figura 2G) entre 72,75-75 metros e Tufo à cristal com pumice (Figura 2E) alteração hidrotermal do tipo propilítica, de forma pervasiva e em veios e vênulas, com mineralogia composta por sericita, biotita, quartzo e raros grãos disseminados de pirita (fina a muito fina, de hábito cúbico a alotriomórfico).

Do intervalo 143,30 a 149,05 m, ocorre uma brecha vulcânica, litologicamente muito semelhante ao tipo descrito anteriormente. A carbonatação é restrita a veios e vênulas, que exibem texturas comb e crustiformes, com cavidades miarolíticas. Esses veios pertencem a diferentes gerações, podendo ocorrer de forma isolada ou em sistemas tipo stockwork, com ou sem sulfetos. Os sulfetos (principalmente pirita) estão associados a sericita, quartzo, biotita e, eventualmente, epidoto.

Geoquímica

Para a caracterização geoquímica das amostras representadas no garimpo estudado, foi elaborado um diagrama multielementar com dados de concentração (em ppm, em escala logarítmica) de metais (Co, Cu, Mo, Pb, Zn), semimetais (As, Sb) e enxofre (S), conforme apresentado na Figura 3. Esse modelo gráfico permite comparar os padrões de distribuição dos elementos nas amostras B, E, G e H, possibilitando identificar anomalias e assinaturas geoquímicas associadas a processos mineralizantes. Destaca-se o enriquecimento expressivo de enxofre, principalmente na amostra B, sugerindo forte influência de mineralização sulfurada.

A rocha exibe além disso, observa-se relativa uniformidade nos teores de Co, Cu, Zn, As e Sb, (Figura 3) enquanto a amostra G apresenta leve anomalia positiva em Mo, o que pode indicar variações nas condições de formação ou fontes distintas dos fluidos mineralizantes.

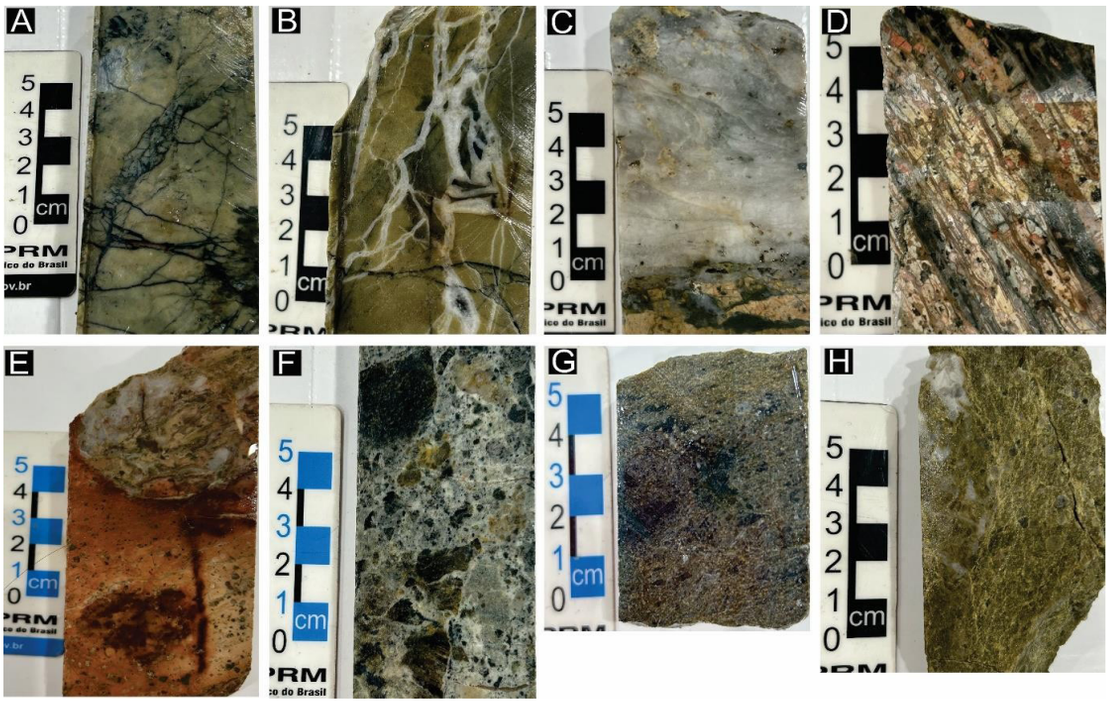


Figura 2. Prancha de fotos de amostras do testemunho de sondagem do furo GG-08, mostrando os principais litotipos descritos e os diferentes estilos e alterações hidrotermais descritas. (A) Tufo cinerítico com fraturas cataclásticas preenchidas por clorita + epidoto; (B) Tufo cinerítico com fraturas hidraúlico preenchidas por veios quartzo em padrão *stockwork* (pervasivo, sem uma direção preferencial dos veios); (C) Rocha vulcânica Propilitizada, com veio de quartzo e sulfetos; (D) rocha de fluxo vulcânico fraturado, com posterior preenchimentos dos veios, além de potassificação + propilitização associadas; (E) Tufo à cristal com pumice; (F) Brecha tectônica/brecha hidrotermal com fragmentos litícos; (G) Ignibrito com fiames fortemente sulfetado e propilitizado; (H) Tufo cinerítico fortemente sulfetado.

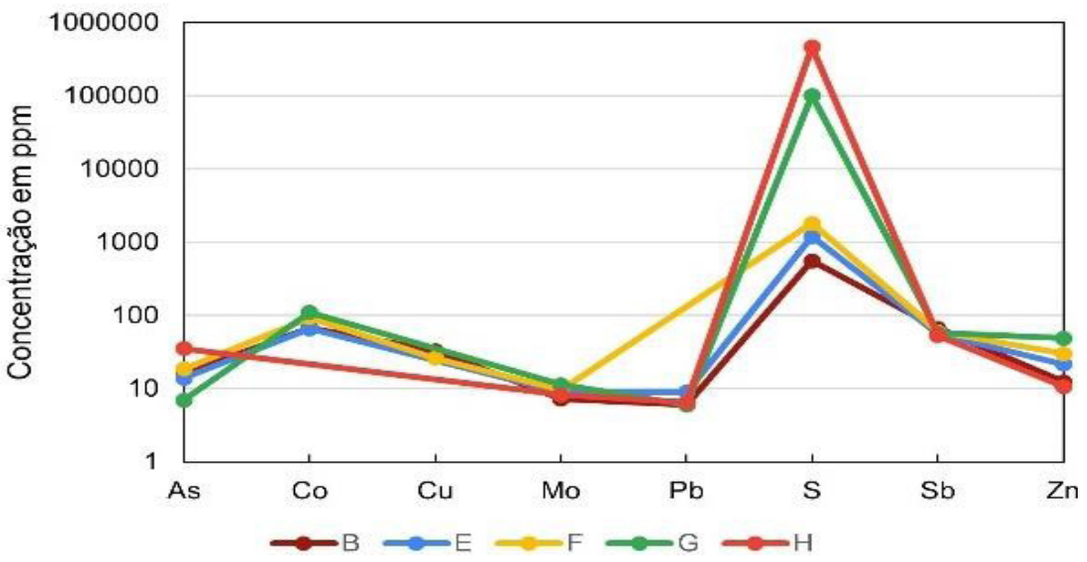


Figura 3: Diagrama multielementar de metais e semimetais mais enxofre de parte das amostras descritas na figura 2, com a identificação da amostra sendo a mesma da legenda do diagrama (figura 2B é a amostra B e assim por diante).

DISCUSSÕES

As rochas encaixantes, compostas por metavulcânicas, exibem alterações hidrotermais propilítica, sericítica, silicificação e potassificação, onde a primeira está associada aos sulfetos, tanto associado a fraturas preenchidas quanto disseminada nas rochas. A posição geológica do garimpo Gavião, entre as províncias Tapajós e Juruena, sugere um ambiente com possível superposição de eventos hidrotermais ligados à evolução tectônica do Cráton Amazônico. Outros ocorrencias de ouro são descritas na região, com caractéristicas semelhantes, como o Garimpo do Juma (CPRM, 2010), podendo terem sido formados por sistemas minerais semelhantes.

CONCLUSÕES

Os tipos litológicos observados no perfil analisado se correlacionam à sequência vulcanoclástica Vila do Carmo, com predominância de tufos cinerítico e brechas vulcânicas ao longo dos 149 metros de profundidade. A associação das alterações hidrotermais potássica, sericítica, e propilítica, onde está última, eventualmente, encontra-se sulfetada e fortemente silicificada, está na parte mais rasa do furo, e em sua maior parte, em veios e vênulas, preferencialmente na parte superior da primeira litologia, a brecha vulcânica. Alteração hidrotermal, junto comas as texturas observadas no garimpo Gavião apresenta características típicas de depósitos hidrotermais do tipo low sulfidation, com presença de sulfetos disseminados ou em veios, principalmente pirita e raras calcopiritas. Esses depósitos estão associados a zonas de cisalhamento e formaram-se em contextos tectônicos compressivos ou pós-colisionais, durante o Paleoproterozoico.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, CNPq e ao Instituto Serrapilheira, pelo apoio financeiro e por acreditarem na importância da ciência. Também sou grata à CPRM pela disponibilidade dos dados essenciais para a condução do estudo. De modo especial expresso minha gratidão a minha amiga Yanka Cesar que esteve ao meu lado durante essa jornada, oferecendo apoio e ajuda. Ao Projeto VIP-AMAZÔNIA que dá apoio a essa pesquisa e que é financiado pelo Instituto Serrapilheira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida ME, Oliveira RG, Souza MA, Lima FG. 2016. Geocronologia e evolução tectônica das suítes graníticas do Terreno Juruena, sudeste do Amazonas. Revista Brasileira de Geociências 46(2):145–164.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL.

Metalogenia do distrito aurífero do Rio Juma – Nova Aripuanã, AM. Brasília: CPRM, 2010. 44 p. (Série Ouro – Informes Gerais, nº 17). ISBN 978-85-7499- 093-4.

Goulart LQ, Fonseca MAV, Ribeiro DML. 2019. Geologia e evolução metalogenética do sudeste do Amazonas: novas perspectivas para prospecção mineral. Geologia USP. Série Científica 19(3):83– 100.

Galé, M. R. *et al*. (2015). Caracterização litogeoquímica e geocronológica das rochas vulcânicas associadas à mineralização aurífera no Garimpo do Papagaio, Província Aurífera de Alta Floresta, Mato Grosso. Revista Brasileira de Geociências, 45(3), 523–536.

Meloni JHG, Silva LA, Castro NRS. 2022. Ouro no sudeste do Amazonas: caracterização do Distrito Aurífero Eldorado do Juma. Revista Brasileira de Geociências 52(1):99–118.

Oliveira RG, Almeida ME. 2021. Compartimentação estrutural do Terreno Juruena no sudeste do Amazonas. Geociências (São Paulo) 40(2):201–214.

Oliveira RG, Lira EB. 2019. Sucessões vulcânicas félsicas e máficas ao longo do Rio Roosevelt: implicações tectônicas e metalogenéticas no sudeste do Amazonas. Geologia da Amazônia 17(2):101– 120.

Reis NJ, Santos JS, Ferreira FJ. 2013. Estratigrafia e evolução tectônica do Grupo Vila do Carmo, sudeste do Amazonas. Boletim de Geociências da Petrobras 21(1/2):65–84.

Rizzotto GJ, Souza ML, Fernandes CP. 2022. Metalogênese da Província Juruena-Teles Pires: implicações para a evolução crustal do sudoeste do Cráton Amazônico. Brazilian Journal of Geology 52(4):743–762.

Souza, L. G. M. *et al*. (2016). Avaliação dos teores de As, Cd e Pb em solos e sedimentos de áreas de garimpo de ouro nos municípios de Pontes e Lacerda e Nova Lacerda, Vale do Alto Guaporé, MT. *Geochimica Brasiliensis*, 30(2), 15–28.

Vasquez ML, Costa JBS, Teixeira W. 2024. Província Mineral Tapajós: novas abordagens geológicas e metalogenéticas. *Revista Geologia da Amazônia* 18(1):25–42.

MAPA DE RECURSOS MINERAIS DO ESTADO DE RORAIMA EM ESCALA 1:1.000.000: UMA NOVA INTEGRAÇÃO

Leonardo Aguiar[1]; Michele Zorzetti Pitarello[1]; Túlio Amós de Araújo Mendes[1]; Vanessa da Silva Oliveira[1]; Paulo Roberto Santos Lopes[1]; Antônio Charles Silva Oliveira[1]; Heitor Flávio Grazziotin[1]; Marcelo Esteves Almeida[1]; Paulo Roberto Rodrigues Benevides Filho[1]

[1]Serviço Geológico do Brasil - SGB

leonardo.aguiar@sgb.gov.br; michele.pitarello@sgb.gov.br; tulio.mendes@sgb.gov.br; vanessa.silva@sgb.gov.br; paulo.lopes@sgb.gov.br; charles.oliveira@sgb.gov.br; marcelo.esteves@sgb.gov.br; paulo.benevides@sgb.gov.br; heitor.grazziotin@sgb.gov.br

RESUMO

O mapa de recursos minerais do estado de Roraima apresenta um panorama abrangente dos recursos minerais do estado, destacando ocorrências e depósitos. A compilação integra dados bibliográficos, áreas de extração e garimpo retiradas de imagens aéreas e informações de processos minerários. O resultado são 431 áreas com recursos minerais, compiladas e apresentadas sobre o mapa estadual de associações geotectônicas em escala 1:1.000.000, acompanhado de encartes geofísicos e geoquímicos de suporte.

PALAVRAS-CHAVE: Roraima; Recursos Minerais; Ouro; Diamante;

INTRODUÇÃO

O mapa de recursos minerais do estado de Roraima é parte do projeto de integração estadual "Geologia e Recursos Minerais do Estado de Roraima", do Serviço Geológico do Brasil (SGB), tendo como produtos finais, além do mapa aqui descrito, o Mapa Geológico do Estado de Roraima (Mendes *et al*., 2023) e a Nota Explicativa (Mendes *et al*., no prelo). Nele são apresentados, de forma abrangente, os recursos minerais do estado, destacando as principais ocorrências e depósitos minerais, sua distribuição geológica e, quando disponível, um breve histórico da exploração do recurso em questão.

As ocorrências numericamente mais significativas, como as de ouro e diamante, foram organizadas com base em suas associações geológicas, como no caso do Supergrupo Roraima e do Cinturão Ígneo Orocaima. Além disso, especialmente em áreas onde há escassez de informações, como os diversos garimpos ilegais na região noroeste do estado, as ocorrências são abordadas como associações espaciais, podendo ou não estar relacionadas com o seu substrato rochoso.

Também foram descritas ocorrências de outros minerais metálicos, como estanho, molibdênio e nióbio/tântalo e de minerais não metálicos, como o depósito de fosfato da Serra do Repartimento. O mapa e a nota explicativa incluem ainda a descrição de insumos para construção civil e uso industrial, bem como ocorrências menos comuns para a região, como turfa e diatomito.

MATERIAIS E MÉTODOS

A integração de dados foi realizada com base em instruções técnicas do SGB e foram formatados seguindo os procedimentos padrões das divisões de Geologia Básica (DIGEOB) e de Geologia Econômica (DIGECO).

Dos dados bibliográficos, foram integrados somente os recursos minerais classificados como "Ocorrência" ou "Depósito", excluindo, com análise prévia, o que havia sido classificado como "Indício". Mapas e coordenadas de recursos minerais foram georreferenciados e extraídos e, quando necessário, ajustados segundo imagens aéreas históricas e/ou recentes, utilizando os *software* ArcGIS Pro e Google Earth e a plataforma online Planet.

Áreas de extração legalizada, como para materiais de construção, que não possuem referência atrelada, foram integrados utilizando imagens aéreas recentes e dados de processos da Agência Nacional de Mineração (ANM).

Para a região noroeste do estado, área da Terra Indígena Yanomami (TIY), foram integradas todas as áreas de garimpo visíveis em imagens aéreas históricas e recentes, sendo distribuídas em pontos com toponímia derivada de levantamentos aéreos realizados no final da década de 1980 e início de 1990. Para essa região, os garimpos foram classificados como ocorrências de ouro, porém com possível extração, principal ou como subproduto, de cassiterita.

A atividade das extrações minerais do estado foi verificada por imagens aéreas para todo o ano de 2022, utilizando a plataforma online Planet.

RESULTADOS

A integração de dados bibliográficos e de áreas de extração em imagens aéreas resultou na compilação de 431 áreas com recursos minerais no estado. Dessas áreas, 423 foram classificadas como ocorrências e 8 como depósitos minerais. Os depósitos são: areia (1); diamante (6) e; fosfato (1). As ocorrências são: ametista (2); areia (8); argila (15); brita (10); diamante (98); elementos terras raras (4); cassiterita (1); laterita (11); molibdênio (1); nióbio/tântalo (5); ouro (257); quartzo (1); rocha ornamental (4); sal (1); titânio (3) e; turfa (2).

Essa compilação foi apresentada sobre um mapa de associações geotectônicas (Figura 1), baseado no mapa geológico também em escala 1:1.000.000, com a simbologia dos recursos minerais indicando: substância mineral; classe genética; *status*; tamanho e; morfologia. A relação de todos os recursos foi apresentada em tabela anexa ao mapa com mais informações como toponímia e tipologia.

Acompanham o mapa principal nove encartes de dados geotectônicos, geofísicos e geoquímicos, confeccionados com os dados disponíveis no SGB: Mapa tectônico do Escudo das Guianas; Mapa Aerogamaespectrométrico (ternário RGB); Mapa Aeromagnetométrico (CMA com primeira derivada vertical); Mapa gravimétrico (anomalia Bouguer); Mapa de áreas institucionais; Mapa de disponibilidade de dados de sedimento de corrente e concentrado de bateia; Mapa de disponibilidade de dados de geoquímica de solo; Mapa de pintas de ouro em concentrado de bateia (quantitativo) e; Índice de conhecimento geocientífico.

DISCUSSÕES

As ocorrências e depósitos minerais compilados serão apresentados resumidamente nos itens abaixo. As referências bibliográficas relacionadas a cada ponto estão disponíveis no mapa e na nota explicativa.

Metais nobres

Ouro

Esse metal é extraído no estado desde a descoberta de diamante, frequentemente como subproduto dessa extração. Sua origem tem sido correlacionada a depósitos conglomeráticos basais do Supergrupo Roraima, como as formações Arai e Tepequém. No entanto, também foi atribuída uma origem primária, associada a extensas venulações de quartzo e um evento hidrotermal pós-deposicional, em regiões como Igarapé do Sol e Serra do Urucá. Para a região da Serra Verde, com ouro grosso em depósitos aluvionares neogênicos, foi sugerida uma mineralização supergênica

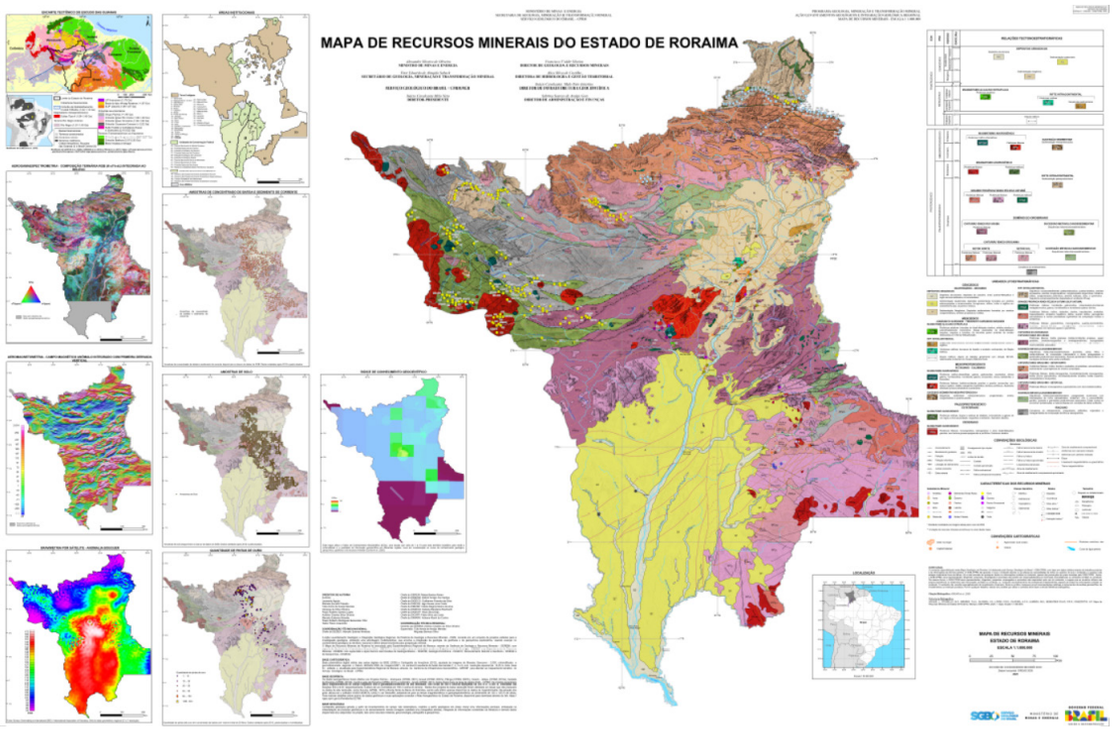


Figura 1 – Mapa de recursos minerais do estado de Roraima (imagem reduzida).

O Cinturão Ígneo Orocaima também mostra potencial para ouro. Na região do baixo Rio Uraricaá, conhecida como Garimpo Santa Rosa, a extração ocorreu em depósitos aluvionares e coluvionares. O metalotecto mais provável são rochas xistosas e miloníticas/cataclásticas cortadas por veios de quartzo desenvolvidas sobre rochas vulcânicas do Grupo Surumu. A região da Serra do Atola é um garimpo de ouro mais recente. A mineralização primária de ouro ocorre em zonas de deformação com silicificação e sulfetação associada às rochas metavulcânicas ácidas do Grupo Surumu e depósitos coluvionares também são garimpados.

A região noroeste do estado, incluindo principalmente, o Complexo Uraricoera, o Grupo Parima e a região da Serra do Uafaranda, concentra a maioria das ocorrências de ouro em Roraima. Nessa região o ouro foi associado às rochas do Supergrupo Roraima e porções básicas do Grupo Parima. Desde 2018, houve uma intensificação das invasões garimpeiras à TIY, com muitas frentes abertas nos anos 80 sendo reativadas e áreas degradadas expandidas.

Outras ocorrências de ouro incluem:

Garimpo Anauá: ocorrência em saprólitos graníticos com mineralização restrita e controlada por faixas miloníticas e hidrotermalizadas.

Serra da Lua: Ocorrência recente, com mineralização em veios de quartzo, espinélio e pirita em paragnaisse aluminoso migmatítico do Grupo Cauarane.

Rio Jatapu: Ocorrência de ouro aluvionar associada ao contato de rochas graníticas da Suíte Água Branca com diques básicos da Formação Seringa.

Cabeceira do Tacutu: Garimpo relacionada a blocos de veios de quartzo associados a paragnaisses do Grupo Caurane.

Minerais metálicos

Estanho (Cassiterita)

Esse mineral foi historicamente garimpado na Serra das Surucucus, com extração significativa em 1975-1976. Associou-se à mineralização aluvionar a erosão de granitos da Suíte Surucucus. Mais recentemente, tem sido noticiada a extração de cassiterita ilegal, junto com ouro, na TIY, nos rios Mucajaí e Parima.

Elementos Terras Raras (ETRs)

Essas ocorrências estão relacionadas a rochas fenitizadas, brechas silicosas cataclástico-hidrotermais e rochas alcalinas do Complexo Alcalino Apiaú. Duas ocorrências mostram enriquecimento supergênico em lateritos, com altos teores de ETR e Th, além de Pb, Zn, Nb e U.

Molibdênio

Na Serra da Guariba (Morro do Bezerro), a mineralização se distribui em uma zona de cisalhamento NW-SE, com molibdenita e minerais de cobre. A gênese é sugerida como um sistema magmático-hidrotermal relacionado a granitos da suíte Saracura/Pedra Pintada.

Nióbio/Tântalo

A ocorrência mais antiga é a do Igarapé do Erau, descoberta nos anos 60, com mineralização em veios de quartzo em gnaisses e xistos, associada a fases pegmatíticas. Quatro outras ocorrências na bacia do Igarapé Saramandaia, como depósitos aluvionares próximos ao Granito Igarapé Azul.

Titânio

Duas ocorrências associadas a Nb e ETR foram descritas e relacionadas a ortognaisses milonitizados e alteração hidrotermal (fenitização). Há também uma ocorrência de ilmenita na Serra do Erau, com extração eluvionar e em veios de quartzo.

Vanádio

Uma ocorrência de Fe-Ti-V foi recentemente descrita, com concentrações magmáticas de titanomagnetita vanadífera em corpo de anortosito da Suíte Uraricaá.

Recursos minerais não-metálicos

Fosfato

O depósito de P, Ba e ETR da Serra do Repartimento (Iracema) é um dos mais detalhados, associado a rochas alcalinas da Suíte Apiaú e produtos de alteração supergênica (saprólitos e lateritos). O depósito de fosfato é estimado em 3,5 milhões de toneladas com teor médio de 3% a 5%.

Sal

Uma ocorrência foi descrita em um furo de sondagem realizado em rochas sedimentares do Gráben do Tacutu, em níveis evaporíticos intercalados.

Gemas

Ametista

Uma ocorrência na Vila Moderna, associada a granito da Suíte Moderna. Outra ocorrência na bacia do Igarapé Tucumã, em aluviões sobre saprólitos de granitos da Suíte Aricamã e veios de quartzo.

Diamante

Ocorrências datam do início do século XX, com descobertas no Rio Suapi, Serra do Urucá e Tepequém. Inicialmente, a origem foi correlacionada ao magmatismo básico que corta o Supergrupo Roraima, mas foi reinterpretada como detrítica, associada aos pacotes conglomeráticos basais do Supergrupo Roraima.

Rochas e minerais industriais

Seixo, areia, argila e laterito

Esses materiais de construção são explorados perto dos centros consumidores locais. As principais fontes de seixo, areia e argila são os depósitos aluvionares ativos e terraços do Rio Branco. O Rio Anauá também possui depósitos de areia de alta pureza. Depósitos eólicos da Formação Areias Brancas também são fontes. Perfis lateríticos e crostas ferruginosas são fontes de argila além de nódulos lateríticos para pavimentação rústica de estradas.

Rocha ornamental e brita

Extrações ativas na Serra Nova Olinda (basaltos da Formação Apoteri para brita), Mucajaí (ortognaisses do Corpo Igarapé Branco para brita e cantaria), Rorainópolis (granitos da Suíte Água Branca) e em Caracaraí (charnockitoides da Suíte Serra da Prata). O pó de rocha de basaltos da Formação Apoteri mostra potencial como remineralizador de solo.

Diatomito

Uma ocorrência foi descrita nas cabeceiras do Igarapé Poraquê, associada a depósitos lacustres neogênicos da Formação Boa Vista.

Quartzo

Uma ocorrência de veio de quartzo leitoso de grande extensão foi descrita perto da cabeceira do Igarapé Trovão, cortando granitos da Suíte Pedra Pintada.

Recursos energéticos

Turfa

Lentes de turfa de poucos metros de espessura foram descritas intercaladas com arenitos da Formação Içá em afluentes dos rios Catrimâni e Xeriuini.

CONCLUSÕES

O estado de Roraima possui uma rica e diversificada gama de ocorrências minerais, que abrangem desde gemas e metais nobres até recursos metálicos, não-metálicos, materiais industriais, bem como recursos energéticos. O conhecimento geológico de muitas dessas regiões é ainda incipiente e a integração e apresentação desses dados no mapa de recursos minerais estadual visa uma melhor visualização do potencial mineiro do estado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Mendes, T.A.A.; Oliveira, A.C.S.; Lopes, P.R.S.; Aguiar, L.; Grazziotin, H.F.; Almeida, M.E.; Benevides Filho, P.R.R. (2023). Mapa Geológico do Estado de Roraima. Manaus: SGB-CPRM, 2023. 1 mapa. Escala 1:1.000.000.

Mendes, T.A.A.; Oliveira, A.C.S.; Lopes, P.R.S.; Aguiar, L.; Grazziotin, H.F.; Almeida, M.E.; Benevides Filho, P.R.R. (no prelo). Geologia e Recursos Minerais do Estado de Roraima. Manaus: SGB-CPRM, em publicação.

O DEPOSITO DE OURO CUADRAZON NO CERRO FRONTINO: COLÔMBIA

Larissa dos Santos Nascimento[1]; Carlos Alejandro Salazar[2]; Marta Edith Velásquez David[2]

[1]Programa de pós-graduação em Geociências – Universidade Federal do Amazonas-UFAM; [2] Departamento de Geociências ICE-UFAM

larissasnascimento.lsn@gmail.com; csalazar@ufam.edu.br; edith@ufam.edu.br

RESUMO

A Mina La Cuadrazón está inserida no distrito mineiro El Cerro, localizado a sudoeste da cidade de Frontino, Antioquia, Colômbia, onde o Gabro Cerro Frontino é representado por pulsos magmáticos máficos a intermedrários que podem estar intimamente relacionados à tectônica andina. Considerando as características do contexto geológico de ocorrência desses distritos auríferos nos andes colombianos, fica claro que o entendimento do estilo estrutural de ocorrência e a origem dos processos metalogenéticos são tão relevantes como a idade e as características dos fluidos mineralizantes. Na Jazida aurífera Cuadrazón ocorrem veios mineralizados com Au associado calcopirita, pirrotita, molibdenita, galena, pirita, esfalerita hospedados em gabros e piroxenitos do stock gabro Cerro Frontino. A origem, estilo de ocorrência e paragênese do Au, assim como dos veios mineralizados, são temas em aberto. As feições encontradas nesta pesquisa, apesar de ser representativas de diversos tipos de depósito, permitiram inferir que a jazida aurífera Cuadrazón representa um depósito do tipo skarn-epitermal de Zn-Pb-Cu e Au.

PALAVRAS-CHAVE: strain, jazidas de ouro do tipo epitermal, Au em skarn

INTRODUÇÃO

A Mina La Cuadrazón faz parte do distrito mineiro El Cerro, localizado a sudoeste da cidade de Frontino, Departamento de Antioquia na Colômbia (Figura 1A, B). Geologicamente, esta porção dos Andes na Colômbia representa um arco, resultado da interação entre as placas Caribe, Nazca, Sul-Americana e a microplaca Panamá, durante a Orogenia Andina.

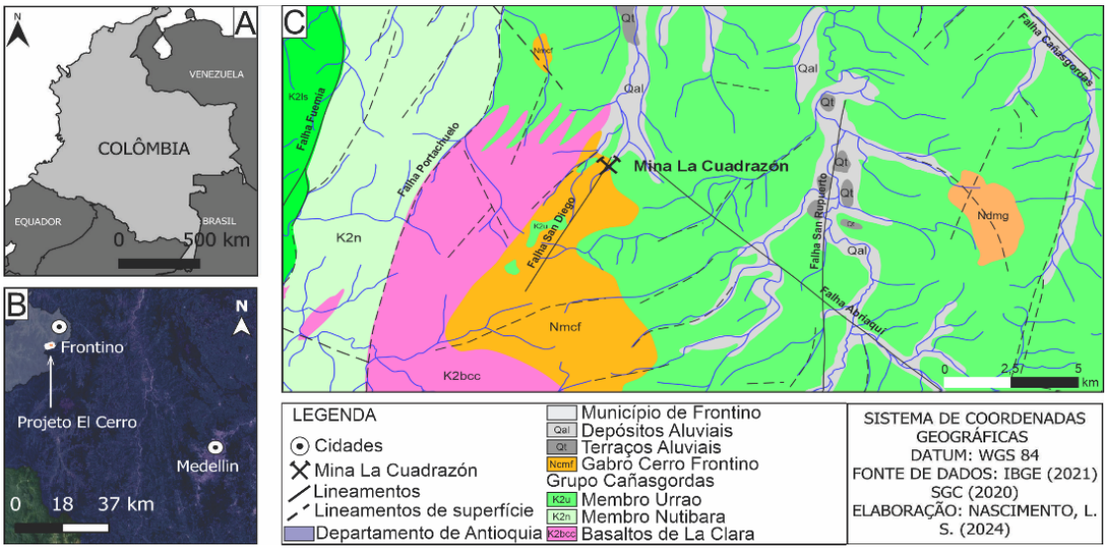


Figura 1: Localização da área de estudo. (A, B) Localização do Projeto El Cerro; (C) Geologia regional (Modificado de González e Londoño, 2002)

Regionalmente ocorrem 3 unidades principais (Figura 1C): i) Basaltos de La Clara, constituída por sills e diques de diabásio, lavas basálticas afaníticas a microporfiríticas, localmente tufos básicos, conglomerados, brechas e lentes de rochas sedimentares. ii) Rochas sedimentares, do Cretáceo Inferior, pertencentes ao membro Urrao do Grupo Cañasgordas (K2u), classificadas como siltito, arenito fino, lamito e raro chert. iii) rochas ígneas intrusivas, do Mioceno, pertencentes ao Gabro Cerro Frontino, composta por dioritos, gabro piroxenítico a piroxenito e monzonitos. Na região, ainda são descritos diques dioríticos de espessura variável (GONZÁLEZ E LONDOÑO, 2002). A interação dos intrusivos máficos com as rochas sedimentares gerou uma zona cornubianítica de fácies hornblenda (Hb-Skarn) e quartzitos, como resultado de recristalização das rochas sedimentares (GONZÁLEZ E LONDOÑO, 2002). **Os métodos** aplicados em esta pesquisa incluem: i) trabalho de campo, colheita de amostras de rochas e de veios mineralizados, corte e lapidação de lâminas de rochas. Análises petrográficas, tratamento de dados.

RESULTADOS

A exploração da Mina La Cuadrazón é realizada em uma galeria (Figura 2) orientada para direção 005º interceptando rochas essencialmente do gabro piroxenítico a piroxenito e skarn.

A mineralização de ouro e sulfetos ocorre na forma de veios de quartzo e carbonato hospedados nas rochas básicas e/ou de forma disseminada no skarn. Estruturalmente as rochas básicas exibem estruturas que seguem um padrão dominante de tendência 355°-030°, e com mergulhos altos, principalmente para W.

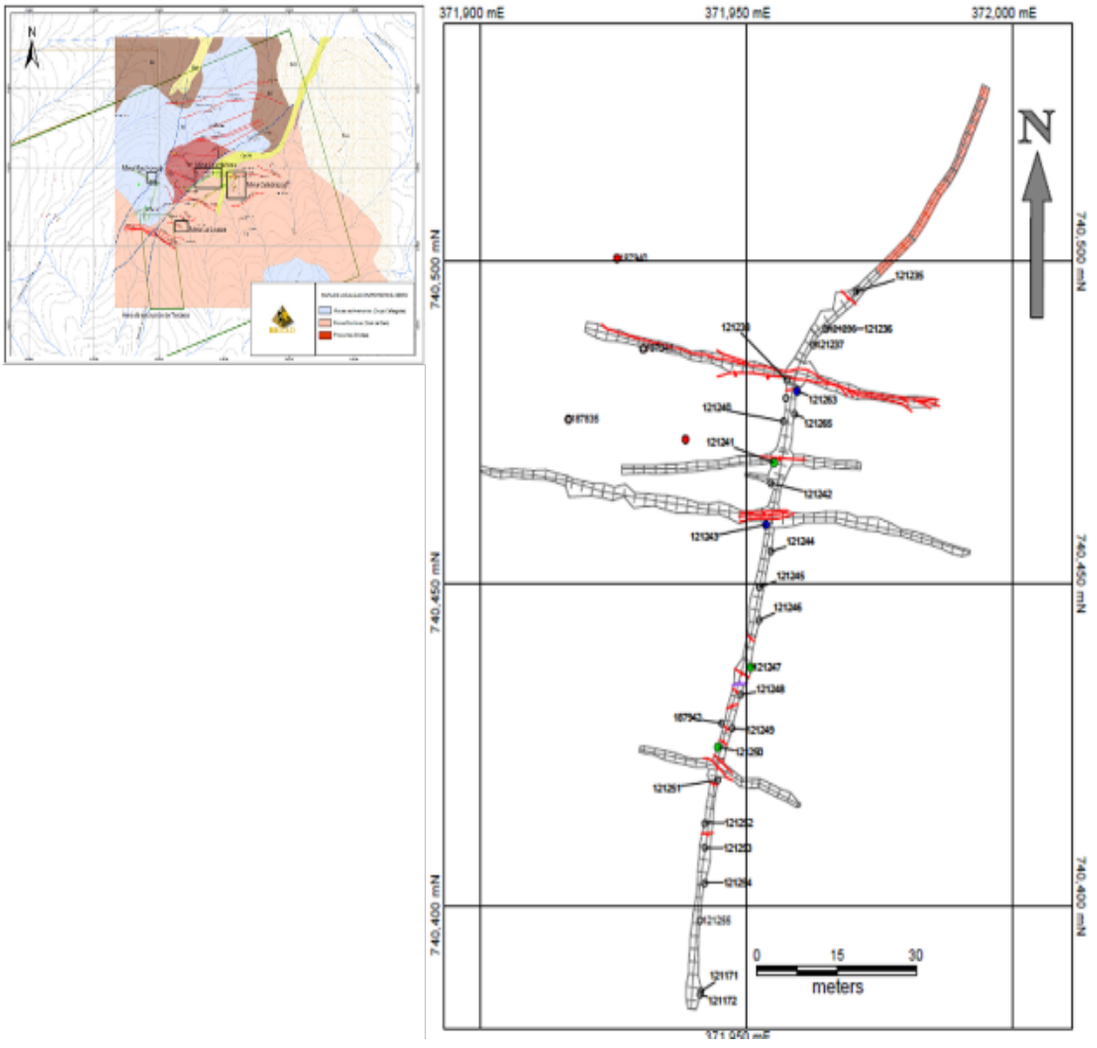


Figura 2: Geologia Local, mapa estrutural/geoquímico e galerias da Mina La Cuadrazon (Extraído de B2Gold, 2012).

O Gabro Cerro Frontino é composto por gabro, gabro piroxenítico e raro piroxenito e diorito. Esses litotipos compõem um corpo alongado intrusivo nas rochas sedimentares do membro Urrao (Grupo Cañasgordas), e, em afloramento são rochas maciças, de cor cinza a preta, deformadas por zonas de cisalhamento, fortemente silicificada com sulfetos e veios polimetálicos quartzosos a quartzo-carbonáticos, com espessura variando de milimétricas a centimétricas (Figura 3).

Figura 3: Rochas hospedeiras da mineralização em afloramento, galeria da Mina La Cuadrazón. (A) Relação do gabro intrusivo (1) na rocha hospedeira sedimentar (2) com formação de *skarn.* (B) Zona de cisalhamento silicificada, com bandas mineralizadas associadas.

Em amostra de mão, os litotipos básicos são de cor cinza escuro, variando a cinza esbranquiçado, textura granítica, fanerítica inequigranular fina a média, maciça. São constituídas por augita e plagioclásio, além de biotita, hornblenda por uralitização de piroxênio, apatita e magnetita (Figura 4A). Essas rochas podem ter até 86% de minerais máficos. Dioritos são constituídos por plagioclásio, augita e biotita, além de hornblenda (uralitização), apatita e magnetita, calcopirita, pirrotita, pirita, hematita, quartzo e titanita (Figura 4B). A associação mineral mostra uma sequência de cristalização ígnea iniciada em piroxênio e plagioclásio, magnetita, apatita, seguida por anfibólio e biotita na fase final com sulfetos, óxidos e quartzo na fase hidrotermal sobreposta.

O contato gabro rochas sedimentares exibe zona skarnítica (Figura 5ª) além de silicificação (quartzo) pervasiva nos sedimentos do Membro Urrao, com formação de diopsídio, calcita e rutilo, clorita, Pirita (Figuras 5B, C). Alteração e feldspato para sericita em bandas de deformação (Figura 5 C).

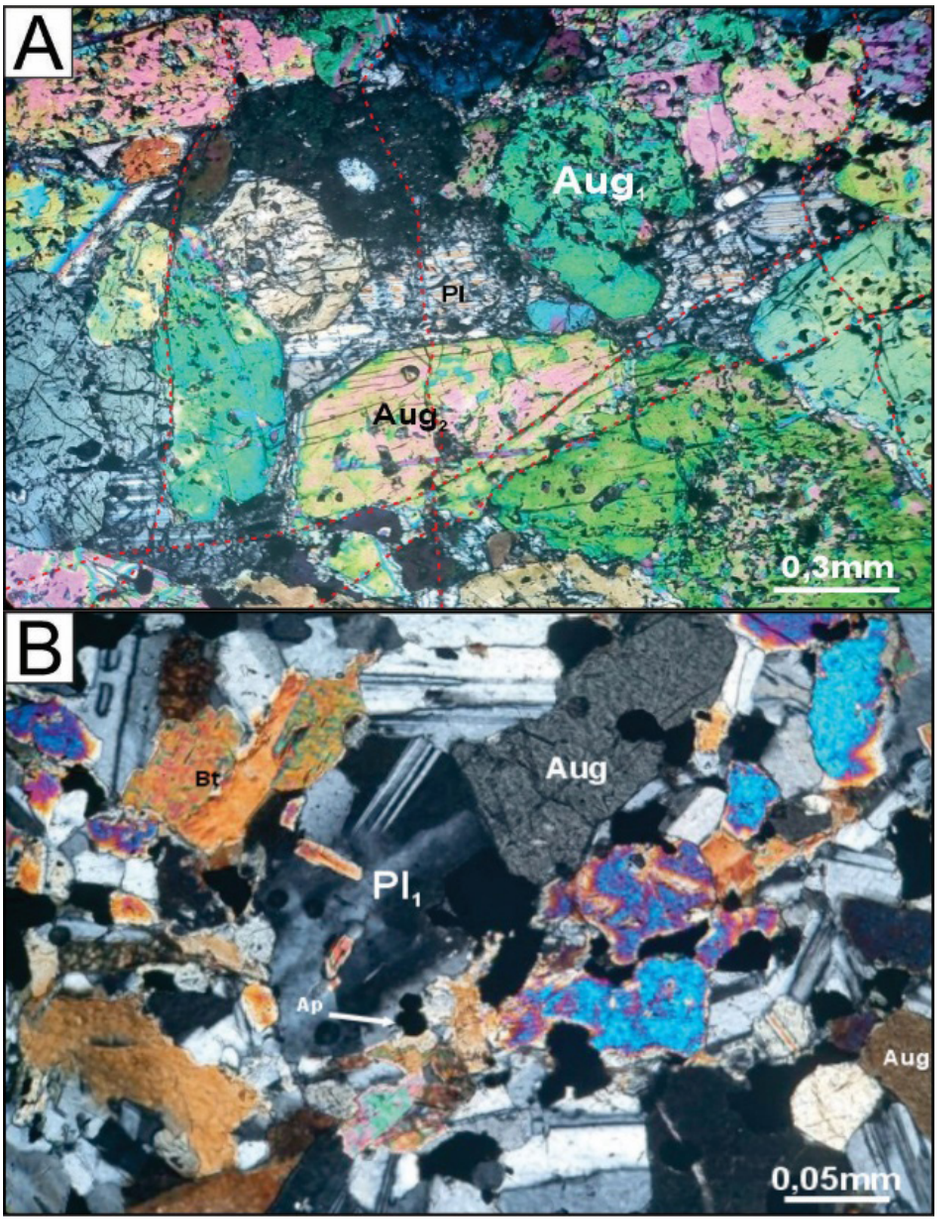


Figura 4: Fotomicrografias da Assembleia mineral das rochas da Mina La Cuadrazon. (A) Piroxenito deformado e com estruturas rúpteis intercristalinas. (B) Diorito com plagioclásio deformado com geminação mecânica em cunha.

Os halos de alteração hidrotermal nas rochas básicas são: alteração propilítica seletivamente pervasiva de minerais como piroxênio para associações de clorita+epidoto+pirita±carbonato e quartzo. O plagioclásio exibe saussuritização. Alteração de potássica com K-feldspato+biotita associada a ocorrência de quartzo, que tem predomínio na área ao redor de veios de quartzo+ calcopirita+pirita+esfalerita+galena, esten-dendo-se até por dezenas de cm. Associação de minerais como sericita+quartzo+pirita que definem a alteração sericítica também foi identificada.

O mineral de minério se caracteriza por sulfetos de ferro e/ou cobre como calcopirita, pirita, pirrotita, esfalerita, galena e ouro livre em matriz de quartzo e/ou carbonato. Os minerais de minério não ultrapassam o 5% do volume da rocha. Alteração associada à mineralização que afeta ambas as unidades litológicas, gabro e skarn (figura 5C).

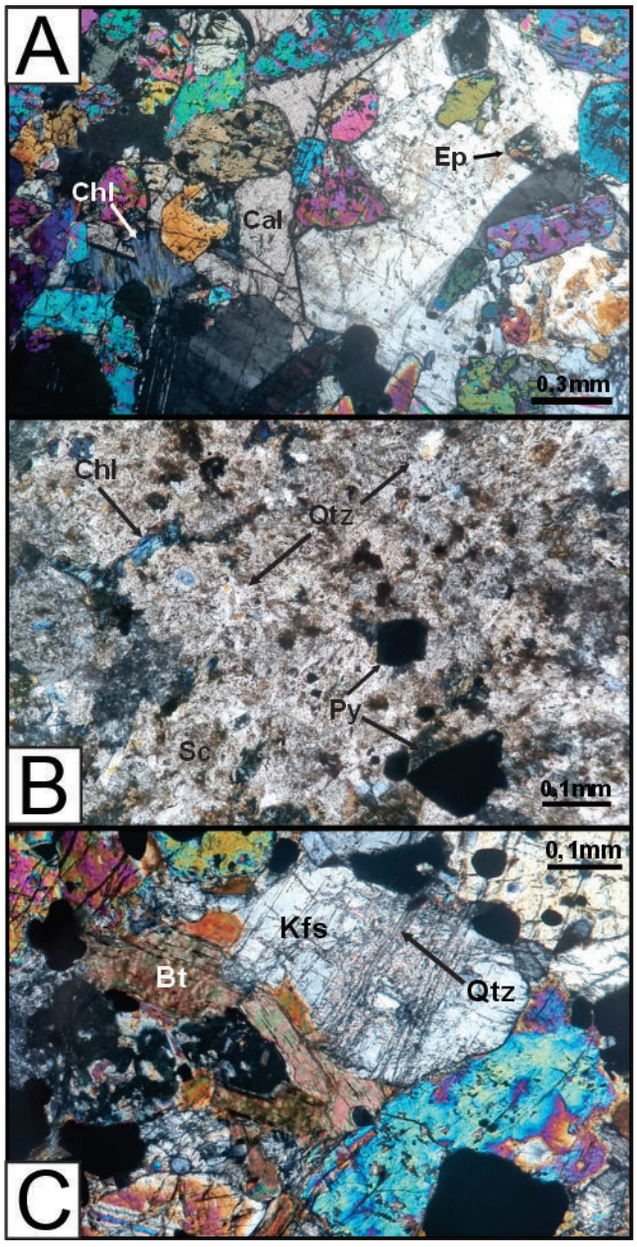


Figura 5: Alteração das rochas na mineração La Cuadrazon. (A) Alteração pervasiva do tipo propilitica; (B) Alteração sericítica; (C) Alteração potássica.

Ocorrem em veios e disseminados. Os veios, em média de 5cm de espessura, alcançando até 25cm, com densidade de 3 veios/m. nos limites dos veios o gabro desenvolve silicificação. Esses veios contêm quartzo±pirrotita±calcopirita±pirita±galena ±esfalerita e ouro livre. Esta associação mineral ocorre preenchendo estruturas como fraturas e zonas de cisalhamento orientadas para 255°/30°-80°, variando para 075°/30°-80°, e para 110°/30°-80°.

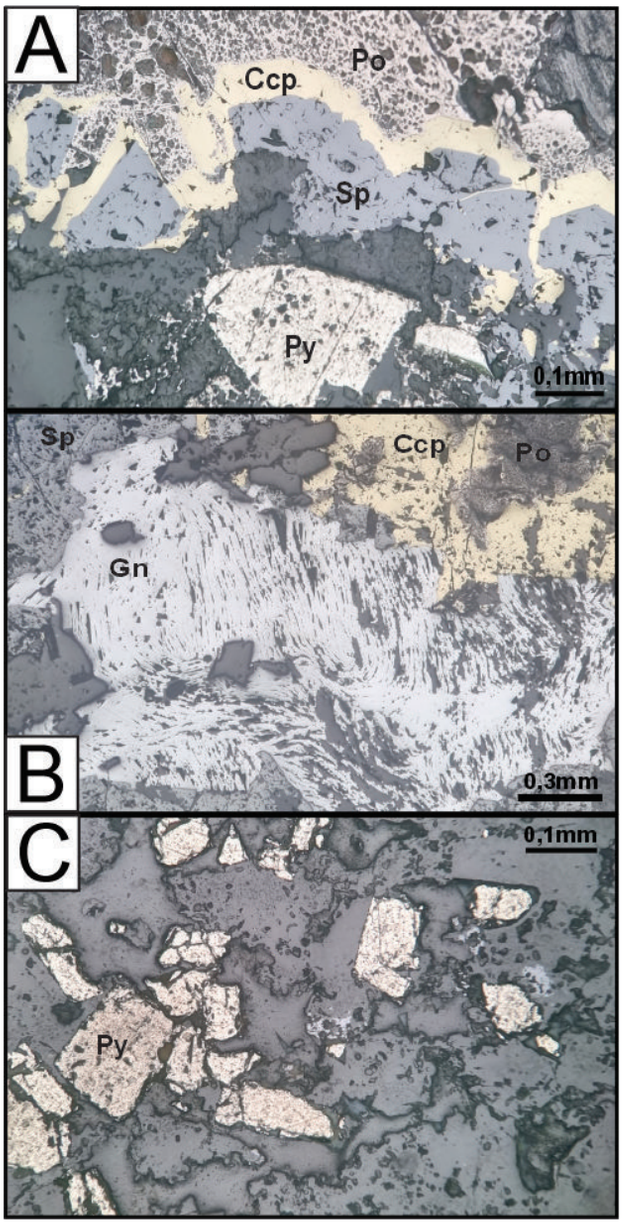


Figura 6: Microfotografias dos minerais de minério da Mina La Cuadrazon nos veios de quartzo em gabro. (A) pirrotita, calcopirita e esfalerita. (B) galena, calcopirita esfalerita. (C) pirita euedrica

A mineralização disseminada está predominantemente na zona de *skarn* e gera um zoneamento dado pelo enriquecimento dos sulfetos em direção ao contato com o gabro. É constituída por calcopirita e pirrotina com esporádica pirita. Macroscopicamente se apresentam agregados minerais de calcopirita. Esfalerita, calcopirita e a galena são os sulfetos mais abundantes (figura 6ª).

Nos veios, a esfalerita desenvolve cristais anédricos, de até alguns centímetros de diâmetro, com limites de grãos bem definidos, em geral associada à calcopirita e galena (figura 6), também anédrica e que ocorre muitas vezes isolada, com desmistura de esfalerita. Em áreas de enriquecimento a esfalerita forma agregados em mosaico e intercrescimentos com galena, pirrotita, pirita e calcopirita (figura 6B). A galena é geralmente associada à esfalerita. Galena de grande tamanho apresenta deformação interna (Figura 6B) e é associada a pirita, esfalerita, calcopirita e pirrotita.

A pirita (figura 6C) e a pirrotita são muito comuns, com variação em texturas e tamanhos de grãos. O tamanho de grão da pirita é de até 0,5 mm, enquanto o da pirrotita é de até 0,2 mm. Pirita ocorre como agregados finos a médios de cristais euédricos com calcita intersticial, clorita e quartzo em associação cogenética com esfalerita e galena.

DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

A jazida aurífera Cuadrazon faz parte de uma série de depósitos que estão inseridos em rochas ígneas do Mioceno de composição básica a intermediaria que intrudiram rochas volcanossedimentares do Cretáceo superior. Esta sequência de rochas representa a sedimentação sobre crosta oceânica gerada no processo de subducção que inicia entre o Aptiano – Santoniano (DUNCAN E HARGRAVES, 1984), desenvolvendo o arco de ilha sobre crosta oceânica (GONZALEZ E LONDOÑO, 2002). A fase final da sedimentação e a fase vulcânica estiveram relacionadas com a migração da zona de subducção para oeste a inícios do Paleogeno (DUNCAN E HARGRAVES, 1984; TOUSSAINT E RESTREPO, 1988) reativa o emplaçamento magmático de corpos plutônicos de afinidade calcioalcalina (ÁLVAREZ, 1983), monzodioriticas e stocks gabroicos como o de Cerro Frontino. (MUÑOZ, 1989; GRÖSSER, 1989; DESMET, 1994).

Tendo em conta este cenário tectônico e as caraterísticas das áreas mineralizadas na Mina La Cuadrazón, os veios encaixados em zonas de cisalhamento exibem preenchimento mineral correlacionável com um processo hidrotermal intimamente associado a intrusões e, uma mineralização disseminada na área de skarn com silicificação pervasiva. Em ambos os estilos de mineralização há o desenvolvimento de clorita, calcita e epidoto além de calcopirita, pirita, esfalerita e galena disseminada, e ouro livre.

As características desta mineralização apresentam feições múltiplas que podem ser representativas de vários tipos de depósitos. Ao fazer análises comparativas com depósitos já descritos em ambientes geológicos similares, as evidências geológicas apresentadas, as feições mineralógicas e texturais observadas na mina La Cuadrazón são compatíveis com um sistema do tipo skarn-epitermal Zn-Pb-Cu e Au.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa teve fomento da FAPEAM (Projeto Posgrad 2024-2025). Bolsa de mestrado 2023-2025 CAPES. Programa de redução de assimetrias da CAPES, PRAPG. Edital 014/2023.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alvarez, J.; 1.983. Geología de la Cordillera Central y el Occidente Colom-biano y petroquímica de los intrusivos granitoides MesoCenozoicos. Bol. Geol. Ingeominas. Bogotá Vol. 26, No.2, pp1-175.

B2gold, 2012. La cuadrazon mine Structural and thematic map. Relatório interno.

Desmet, A. 1994. Ophiolites et series basaltiques cretacées des regions caraibes et nordandines: bassins marginaux, dorsalis au plateaux oceaniques? Tesis Doctorado, U. H. Poincare, 597p. Nancy

Duncan, R.; Hargraves, R. 1984. Plate tectonics evolution of the Caribbean Region in the mantle reference frame. En: Bonini, W.; Hargraves, R.; Shagan, R. (eds). The Caribbean South American plate boundary and regional tectonics. Geol. Soc. Am. Mem., 162: 81.94. Boulder.

González, H., Londoño, A. (2002). Catálogo de las unidades litoestratigráficas de Colombia, Granodiorita de Nudillales, Cordillera Occidental, Departamento de Antioquia. *Ingeominas*.

Grösser, J. 1989. Geotectonic evolution of the western Cordillera of Colombia: new aspect from geochemical data on volcanic rocks. J. S. Am. Earth Sci., 2(4):359-369.

Megaw, P. K.M, Ruiz, J., And Titley, S.R., 1988, High Temperature, Carbonate Hosted, Ag-Pb-Zn-(Cu) Deposits of Northern Mexico, Econ. Geol., Vol. 83, Nr. 8, pp. 1856-1885.

Meinert, L. D., 1992, Skarn and Skarn Deposits, Geoscience Canada, Vol. 19, Nr. 4, pp. 145-162.

Muñoz, R. 1989. Contributions to the petrography and geochesmistry of cretaceous volcanites of the northern West Cordillera of Colombia. 5 Congr Col. Geol., 1: 61-91. Bucaramanga.

Toussaint, J.; Restrepo, J. 1988. Son alóctonos los Andes Colombianos?. U. Nal.,Rev. I.C.N.E., 1:17-41 p. Medellín.

O OURO PRIMÁRIO DA SERRA DO ATOLA, NORMANDIA-RORAIMA

Heitor Flávio Grazziotin[1]; Vivian Larissa Cavalcante Gonçalves[2]

[1] Serviço Geológico do Brasil-CPRM; [2] Universidade Federal do Amazonas-UFAM

heitor.grazziotin@sgb.gov.br; vivianlgcavalcante@gmail.com

RESUMO

A área lavrada do depósito de ouro primário do Atola em quatro setores, 1 a 4, media aproximadamente 2.250/660 m. O ouro hospeda-se em veios de quartzo com espessuras de 5-7 a 15 cm, alcançando 20-25 cm. Orientam-se no Az. 290^0-300^0 a 320^0/45^0-70^{0}SW, e 75^0 a N-S/mergulhos a 90^0; e nas zonas de borda das encaixantes riolíticas a riodacíticas das formações Surumu e Cachoeira da Ilha. Os vestígios de hidrotermalismo nos veios são: silicificação, sulfetação, muscovitização, sericitização, hematitização, goethitização, vesículas, *box-works* de sulfetos e *gossans*. Nas zonas de borda as encaixantes estão hidrotermalizadas e mineralizadas, englobam sericita (clorita)-quartzo xistos a milonitos. Nestas zonas os veios e as encaixantes apresentam sulfetos. A análise em luz refletida dos veios e encaixantes da zona de borda, apresentou o ouro, prata, pirita, galena, blenda, bornita, covelita, calcocita, calcopirita e rodocrosita (carbonato de manganês). Os óxidos são hematita, goethita, magnetita (martita), que junto com silicatos compoem a ganga. As análises MEV-EDS das partículas revelaram a prata como o elemento nativo mais associado ao ouro e formam o *eletrum,* respectivamente em porcentagens de 49,28 (Ag) e 50,72% (Au). As Análises químicas dos veios e encaixantes revelaram significativas anomalias em Au, além de Ag, Cu, Pb e Zn para os setores 1 a 4; os elementos traços estão nos sulfetos, o Fe como óxido apresenta-se na hematita, goethita e magnetita, e o S na pirita e demais sulfetos.

PALAVRAS-CHAVE: ouro, primário, sulfetos, hidrotermalismo.

INTRODUÇÃO

O depósito de ouro primário da serra do Atola está inserido no Cinturão Ígneo Orocaima (1.99-1.96 Ga), um amplo magmatismo plutono-vulcânico Barbosa (2020), que juntamente com os cinturões Cauarane-Coereni e Rio Urubu materializa a Orogenêne Akawai (Fraga *et al*., 2024), na porção central do Escudo das Guianas, Cráton Amazonas.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área pesquisada se localiza na porção norte-oriental do estado de Roraima, no município de Normandia (Figura 1). Foram confeccionadas seções delgadas polidas no laboratório do Serviço Geológico do Brasil - CPRM de Manaus. As (LAMIN –MA).

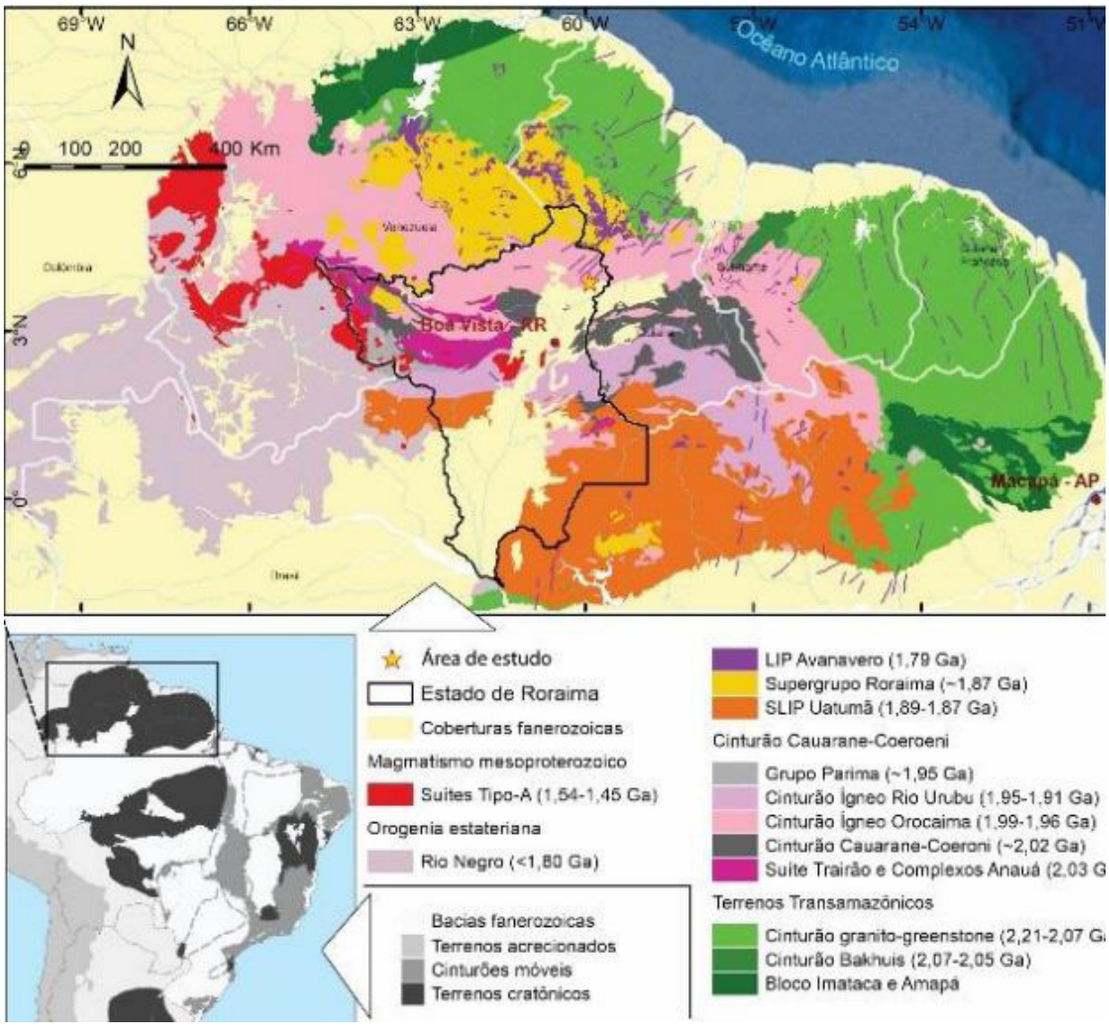


Figura 1 - Localização da área pesquisada (estrela amarela) no contexto do mapa geológico simplificado do Escudo das Guianas (modificado de Fraga *et al*. 2024).

As análises petrográficas foram realizadas em microscópio de luz transmitida e refletida de marca OLYMPUS, modelo BX41, objetivas de 2x, 4x, 10x e 40x, e as fotomicrografias capturadas com câmera Olympus, modelo X-775 acoplada ao microscópio. As Análises químicas dos veios de quartzo foram feitas pela SGS-GEOSOL, método fire-assay - ICP para Au, Pt e Pd e por ICM-42Q, por digestão multiácida - ICP OES /ICP MS para elementos traços em quartzo. Enquanto que nas encaixantes dos veios, fire-assay - ICP para Au, Pt e Pd, fusão por metaborato de lítio ICP-OES/MS por digestão com água régia e digestão multiácida.

As análises MEV (microscopia eletrônica de varredura) foram feitas em microscópio modelo LS15 da Zeiss no Laboratório de Análise Minerais de Belém (LAMIN-BE) do Serviço Geológico do Brasil - CPRM. As partículas de ouro foram montadas sobre fita de carbono colada na cabeça de pinos de alumínio (stubs). As imagens eletrônicas e análises químicas foram feitas em alto vácuo (3,0 – 1,5 10^{-5} mPa), usando filamento de tungstênio. Para as imagens de elétron retroespalhado (Backscat-

tering Eletron - BSE) com tensão de aceleração de 20 kV e corrente de chegada de 120 pA. As imagens foram obtidas a uma distância de 8,5 e 9 mm e ampliação de 500 e 1100 vezes. As análises químicas das partículas de ouro e minerais agregados foram por espectrometria por dispersão de energia (Energy Dispersive Spectrometry – EDS) de raios X em detector X-Act SSD 10 mm^2 da Oxford Instruments. Os resultados analíticos foram adquiridos a 8,5 mm de distância com tensão de aceleração de 20 kV, corrente de chegada de 700 Pa e taxa de contagem de saída de cerca de 2000 cps. Os resultados obtidos foram padronizados por espectros de energia de padrões do programa AZTec da Oxford Instruments.

RESULTADOS

Ao longo da serra foram mapeados quatro alvos, setores 1 a 4, de dimensões aproximada de 2.250/660 m. As atitudes dos veios (filões) variam de Az. 290°-300° a 320°/45° - 70SW°, para Az.75° a N-S, ambos com mergulhos verticais a subverticais; (Figuras 2A, 2B e 2C). As espessuras variam de 5-7 a 15 cm, 20-25 cm, as profundidades dos atingiam 12 metros.

Figura 2 - A: Veio de quartzo mineralizado (lado direito), Az 115°- 295°/70° SW, vulcânica félsica milonítica de zona de borda. Estação HG-01A, Setor 1; B: veio de quartzo de Az 320° em contato com clorita-quartzo milonito. Estação HG-02A, Setor 2; C: Veio, N – S/Vert., espessura de 8 cm. Estação HG-04A, Setor 4.

Em petrografia de luz refletida (Figura 3), estão presentes o ouro com sulcos de polimento, galena com figuras de arranque triangulares, covelita, azul, alterando para calcocita, branca. Ocorrem ainda a bornita, digenita, calcopirita, e rodocrosita, carbonato de manganês, magnetita que altera-se para martita, que além dos silicatos representados por quartzo, plagioclásio, K-feldspato, biotita e muscovita, são os principais componentes da ganga.

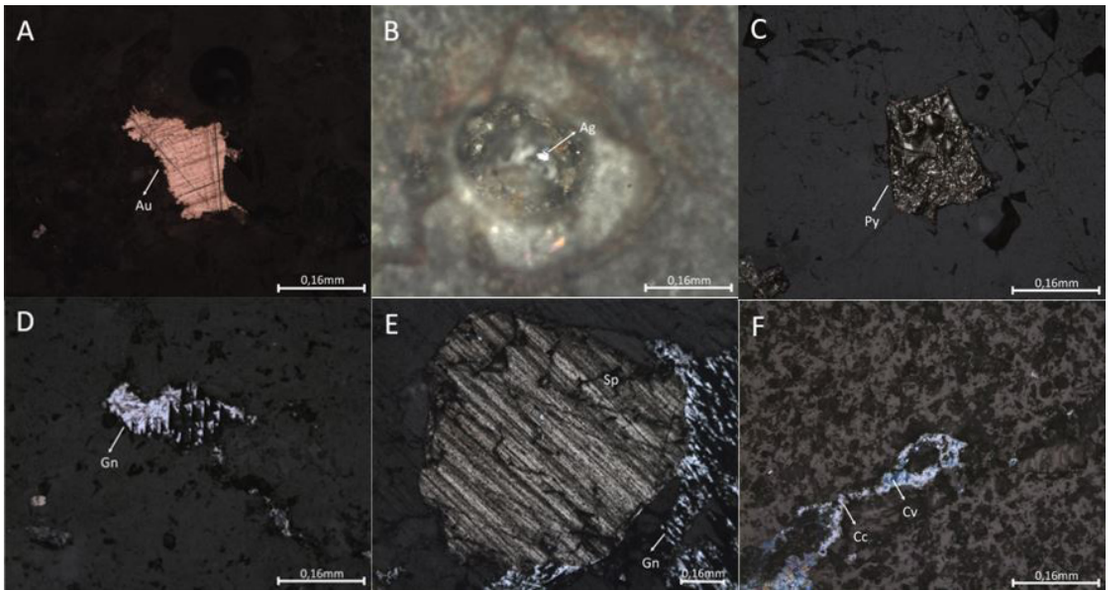


Figura 3 - A: Ouro. B: Prata. C: Pirita. D: Galena. E: Esfalerita;
F: Covellita alterando para calcocita

A prata ocorre na forma nativa, a análise do ponto 6 (Figura 4), da partícula de ouro da amostra de veio de quartzo HG-R-01B2 - setor 2, no MEV-EDS, a liga de ouro e prata em porcentagem de 49,28 de prata e 50,72% de ouro caracteriza o *eletrum*, Branco (2008).

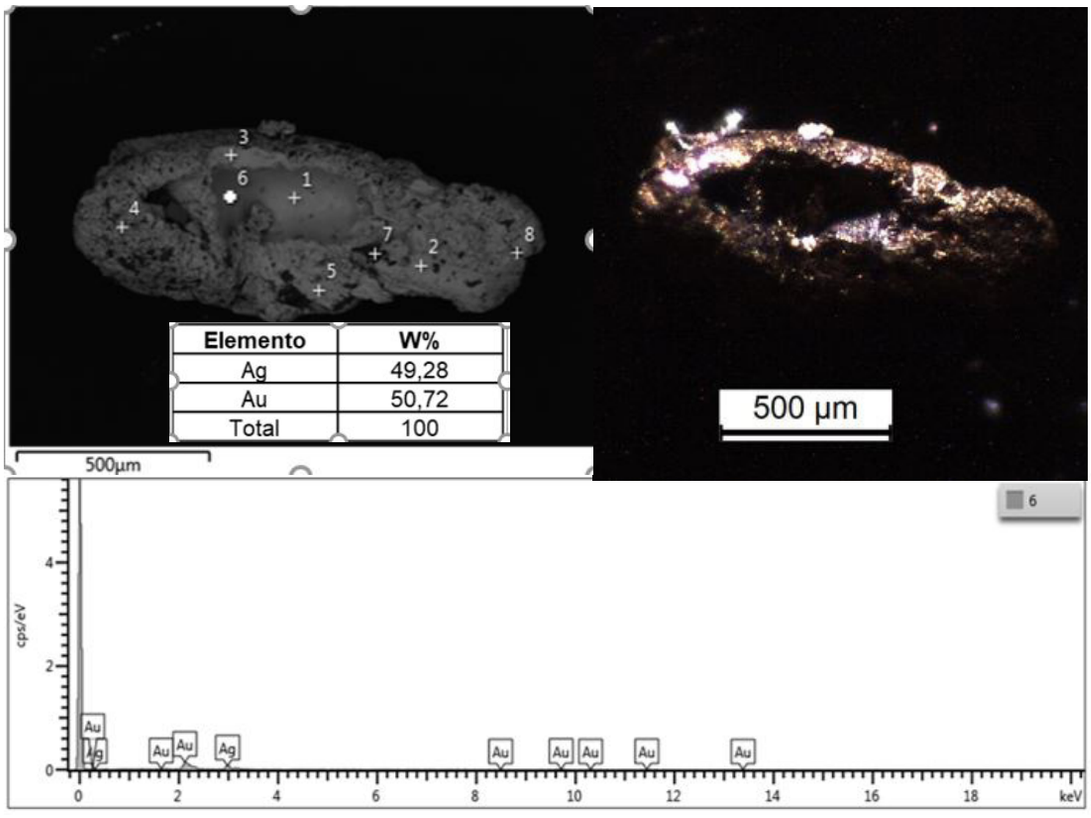


Figura 4 – Análise MEV-EDS em pinta de ouro, amostra HG-R-01B2.

A Tabela 1 mostra os resultados dos teores médios de ouro, prata e os principais elementos traços obtidos por análise química que acompanham a mineralização aurífera, e que estão presentes nos sulfetos das amostras dos veios e das encaixantes das zonas de borda das frentes de lavra.

	Setor	Amostra	Au (ppb)	Ag (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	S (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
Serra do Atola	1	veio	43690	7,56	526,96	>10.000	<100	3034,86	1534,33
		encaixante	20061	4,73	115,31	NA	NA	1640,62	462,24
	2	veio	83469	9,12	2174,71	>10.000	19371,34	4447,81	2422,02
		encaixante	4570	4,85	294,47	NA	NA	607,81	3845,85
	3	veio	72037	8,11	355,89	>10.000	1849,55	48,42	18,71
		encaixante	3211	28,71	185,44	NA	NA	63,24	25,88
	4	veio	29475	3,18	162,35	>10.000	<100	1109,20	279,14

Tabela 1. Teores médios de ouro, prata e principais elementos traços. (*) - Rocha encaixante; (>) - Maior que o limite de detecção; (<) - Menor que o limite de detecção; NA - Não analisado.

DISCUSSÕES

Os veios de quartzo estão inseridos em zonas de cisalhamento dúctil, com controle estrutural e são intrusivos em metavulcânicas ácidas a intermediárias deformadas, riolíticas a riodacíticas das formações Cachoeira Ilha 1984 Ma (U-Pb SHRIMP em zircão) e Surumu. A mineralização está hospedada nos veios e nas zonas de borda das encaixantes, pelo fato destas englobarem vênulas de espessuras reduzidas até submilimétricas inseridas nas encaixantes, onde é visível a textura tipo *strings* (cordões) nos halos de alteração hidrotermal. Nestas zonas proximais aos veios as encaixantes mostram textura xistosa, os litótipos são sericita (clorita)-quartzo xistos, e milonitos presentes nos sítios mais proximais aos veios, revelando localmente um dinamometamorfismo atingindo no máximo o grau baixo.

Vestígios de hidrotermalismo são observados nos veios e nas zonas de bordas das rochas encaixantes, nos halos de alteração hidrotermal tais como silicificação, muscovitização, sericitização, hematitização, goethitização, textura vesicular, sacaroidal, *net--texture* e disseminada, *box-works* de sulfetos e *gossans*.

A associação de elementos nativos como o ouro e a prata foi confirmada nas análises petrográficas, e no MEV (Microscópio eletrônico de varredura) com a presença do *eletrum*, (Figura 3), mineral formado pela liga metálica de ouro + prata em porcentagem elevada, Au=50,72% + Ag=42,28%. O eletrum cristaliza no sistema cúbico, e a condição para a formação da liga é, em geral, 30 a 40% de prata, Branco (2008).

Considerando as análises químicas dos elementos traços da Tabela 1, pode-se observar que a mineralização do Atola revela uma nítida associação de ouro, com prata, cobre, chumbo e zinco, que são os elementos traços dos sulfetos, o ferro é encontrado nos óxidos como a hematita, goethita e magnetita, e em todos os casos supera o limite de detecção, o enxofre está contido na pirita e demais sulfetos.

CONCLUSÕES

As mineralizações de ouro dos quatro setores nas frentes de lavra do Atola, estão hospedadas nos veios de quartzo e nas zonas de borda das encaixantes, ambos sulfetados e com hidrotermalismo pervasivo.

O depósito do Atola, por ser intrusivo nas metavulcânicas deformadas das formações Cachoeira da Ilha e Surumu, com mineralização em veios de quartzo, que revelam um controle estrutural em zona de cisalhamento dúctil, pelo fato de ter sido afetado pela Orogênese Akawai e estar inserido no cinturão ígneo Orocaima, para o Atola seria sugerido o tipo orogênico, depósitos de ouro de origem hidrotermal hospedados em cinturões metamórficos deformados. Tal como os modelos preconizados por (Groves *et al*., 1998), Mayer (2023).

A mineralização do Atola é de natureza polimetálica, definida pela associação de ouro, prata, cobre, chumbo e zinco, que são os elementos traços presentes nos sulfetos dos veios e encaixantes das zonas de borda.

Para o vulcanismo calcioalcalino de arco continental da Formação Cachoeira da Ilha, a presença de sulfetos com quantidade significativa de ferro reduzido, e oxidado na hematita, goethita e magnetita, junto à associação metálica de Au, Ag, Pb, Zn e Cu na zona mineralizada, sugere o tipo epitermal, e são diagnósticas do grupo de baixa sulfetação, os depósitos epitermais são uma classe de depósitos hidrotermais epigenéticos formados em temperaturas relativamente baixas (< 300° C), em PH neutro, em ambientes rasos a profundidades de 1 e 2 km; Tavares (2021). A paragênese de calcopirita, *eletrum*, esfalerita, e galena, com ou sem a presença de adularia, é característica de depósitos epitermais de baixa sulfetação (Biondi, 2015).

Por fim, pode ser concluído que o depósito da serra do Atola está vinculado a eventos de deformação crustal durante o Paleoproterozóico do Escudo das Guianas. Os dados adquiridos até o momento trouxeram significativa contribuição para o conhecimento geológico local e regional, e para a descoberta de novas ocorrências em ambientes similares. Entretanto, estudos e análises como química mineral e inclusões fluídas, poderão melhor elucidar a tipologia do depósito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barbosa, M. S. (2020). Magmatismo pós-orogênico no Cinturão Ígneo Orocaima, norte do Brasil: implicações geodinâmicas. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2020.

Biondi, J. C. (2015). Processos metalogenéticos e os depósitos minerais brasileiros. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015, 547p.

Branco, P. M. (2008). Dicionário de mineralogia e gemologia. São Paulo: Oficina de Textos, 2008, 153.

Fraga, L. M. *et al*. (2024). Evolução geotectônica do Escudo das Guianas e implicações na metalogênese do nordeste da Amazônia. Geologia USP. *Série Científica*, *v. 24, n. 3*, 15–40.

Foster, R. P. (1993). Gold metalogeny and exploration. London: Chappman & Hall, 1993, 432 p.

Mayer, F. M. (2023). Case Histories of Orogenic Gold Deposits. Minerals, 13(3), 369. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/min13030369> Acessado em: 18 jun. 2025.

Tavares, R. (2021). Depósitos Epitermais. Disponível em: <https://www.segufmg.com/post/depósitos-epitermais>. Acesso em: 15 jun. 2025

ST5: RECURSOS HÍDRICOS, GEOLOGIA AMBIENTAL E GEOLOGIA DE ENGENHARIA

IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DO GARIMPO DE OURO NO RIO MADEIRA COM IMAGENS DE RADAR E ÓPTICAS: ASPECTOS HIDRODINÂMICOS, GEOMORFOLÓGICOS E GEOLÓGICOS

Anna Beatriz Monteiro[1]; Naziano Pantoja Filizola Junior[1]; Rogério Ribeiro Marinho[1]

[1]Universidade Federal do Amazonas - UFAM, Programa de Pós- Graduação em Geociências

*(annabeatrizdom@gmail.com; **nazianofilizola@ufam.edu.br**; rogeo@ufam.edu.br)*

RESUMO

A pesquisa analisa a relação entre garimpo, dinâmica fluvial, geologia e geomorfologia no rio Madeira, com foco na identificação de detecção de dragas e balsas de garimpo. Utilizando imagens de Radar de Abertura Sintética (SAR) do satélite Sentinel-1 e ópticas do satélite CBERS 4A, foram detectadas balsas e dragas, revelando padrões de atividade entre os anos de 2020 e 2023, como a intensificação da atividade garimpeira durante a seca do Rio Madeira. A geologia local, se mostra pobre em ouro primário, associada à erosão fluvial, favorecendo a formação de depósitos aluvionares. A análise geomorfológica demonstra forte correlação entre planícies aluviais, sinuosidade do rio e garimpo, relacionados com os padrões de distribuição das balsas e as características geomorfológicas e hidrológicas da região, indicando estreita associação entre o garimpo e a morfologia do terreno. A metodologia desenvolvida contribui para o monitoramento ambiental ao permitir a detecção sistemática de atividades de garimpo e sua correlação com parâmetros físicos da paisagem fluvial, subsidiando a gestão sustentável dos recursos naturais

PALAVRAS-CHAVE: Garimpo; rio Madeira; ouro; balsas.

INTRODUÇÃO

Segundo Guyout (1993) a bacia do rio Madeira, a maior sub-bacia da Amazônia, desempenha um papel fundamental no transporte de sedimentos, incluindo ouro, recurso amplamente explorado na região.

O garimpo nos rios da Amazônia causa impactos como degradação da água, assoreamento e contaminação por metais, especialmente onde a dinâmica fluvial favorece a deposição de minerais.

O garimpo ilegal é um desafio à gestão ambiental, agravado pela mobilidade das balsas e pela sazonalidade do rio Madeira. O sensoriamento remoto é essencial para o monitoramento, mas enfrenta limitações devido à operação submersa das embarcações e à variação nas condições hidrológicas (Castro e Almeida, 2012).

Diante do exposto, o presente estudo busca responder como a distribuição das balsas de garimpo no rio Madeira varia ao longo do ciclo hidrológico e quais fatores geomorfológicos e geológicos influenciam essa distribuição e formação dos depósitos auríferos. O objetivo central desta pesquisa é identificar e analisar a distribuição espacial de balsas de garimpo no rio Madeira e sua relação com o ciclo hidrológico, características geológicas e geomorfológicas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo está localizada na porção sudoeste da bacia Amazônica, na bacia do rio Madeira. Na porção brasileira, no estado do Amazonas, especificamente no município de Manicoré, em uma área com recorte de aproximadamente 4.150,933 km².

Este estudo foi conduzido através das seguintes etapas e materiais:

O processamento das imagens ópticas do CBERS 4A, do sensor WPM (resolução espacial de 2m), foram realizadas no QGIS, através do plugin "CBERS 4A Downloader" e das imagens SAR do Sentinel-1A (resolução espacial de 10m) na plataforma SNAP. O processamento das imagens SAR seguiu protocolo de calibração, filtragem e correção radiométrica e geométrica conforme Gomes (2020). Estas foram processadas para identificação de balsas através de interpretação visual. Tanto as imagens ópticas quanto as de radar foram adquiridas para os meses de junho, julho, setembro e outubro de 2020 a 2023. O modelo digital de elevação Copernicus DEM (30 m) foi acessado via plugin OpenTopography no QGIS.

Os níveis de cota do rio Madeira foram obtidos junto a Agência Nacional de Águas (ANA) para a estação Manicoré (código 15700000), analisados por meio de gráficos do regime hidrológico (2020-2023) conforme recomendções de Muniz (2013).

Os parâmetros geomorfológicos foram analisados em conjunto com a quantidade de balsas detectadas. O cálculo do índice de sinuosidade (Is) foi realizado conforme Antoneli e Thomaz (2007).

RESULTADOS

Identificação das balsas de garimpo utilizando imagens de radar - Sentinel 1-A e CBERS 4A

A utilização de imagens do Sentinel-1A, permitiu a identificação de balsas de garimpo mesmo em condições climáticas adversas e durante a noite. O sensor SAR demonstrou eficiência na detecção de embarcações com estruturas metálicas, visíveis como pontos brilhantes devido à intensa reflexão do sinal de radar.

Já as imagens do sensor WPM do CBERS 4A, permitiram maior nitidez e a identificação detalhada de diferentes tipos de embarcações (Figura 1). Entretanto, não foi possível diferenciar balsas de dragas de garimpo, devido à ausência de detalhes estruturais visíveis.

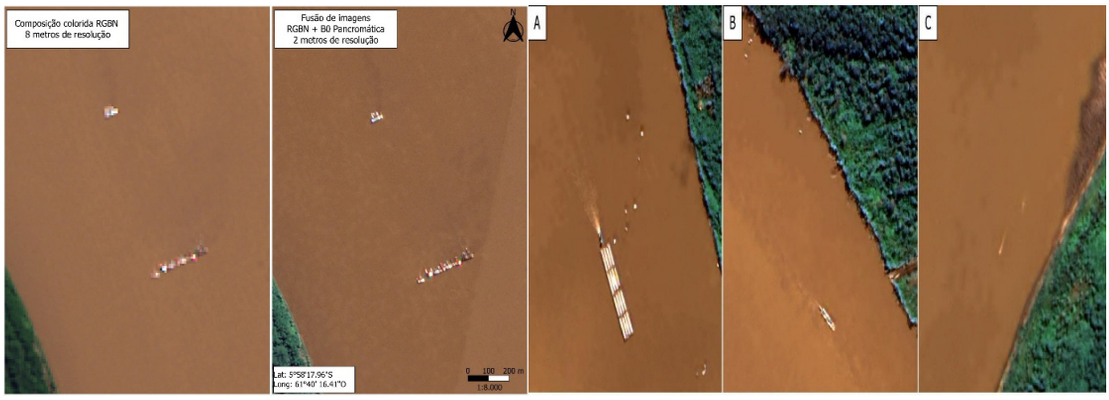


Figura 1 - Comparação entre as etapas de processamento das imagens CBERS 4A, composição Colorida RGBN com a banda Pancromática de 2 metros de resolução. E diferentes tipos de embarcações identificadas. A) Balsa transportando container, os pontos ao lado são dragas de garimpo. B) Barcos, com dragas de garimpo na porção superior esquerda da imagem. C) Canoas e voadeiras (pelo rastro deixado). Imagem de Junho de 2023.

Com resolução espacial de 2 metros e escala de visualização 1:30.000, as imagens permitiram detectar balsas de garimpo em detalhes, evidenciando mudanças no posicionamento das embarcações e refletindo a dinâmica da atividade.

Quantificação e variação temporal das balsas de garimpo relacionadas ao contexto hidrológico

As imagens utilizadas abrangem os anos de 2020 a 2023, focando nos meses de junho e nos períodos de vazante: julho, setembro e outubro. Em 2023, o mês de julho foi selecionado por ser representativo do início da vazante. Essa seleção permitiu observar uma variação significativa na quantidade de balsas de garimpo durante os meses analisados (Figura 2).

De 2020 a 2023, a quantidade de balsas oscilou, com aumento constante nos meses de vazante. Em 2023, apesar da vazante, houve uma leve queda, registrando-se 136 balsas em operação no mês de julho. Essa dinâmica reflete o ciclo hidrológico, onde a vazante, com menor nível de água e correnteza enfraquecida, facilita a operação de dragas e balsas, tornando a atividade menos perigosa e mais eficiente.

A atividade garimpeira não altera diretamente o ciclo hidrológico, mas pode influenciar o curso do rio e o transporte de sedimentos, variando em intensidade conforme suas flutuações naturais.

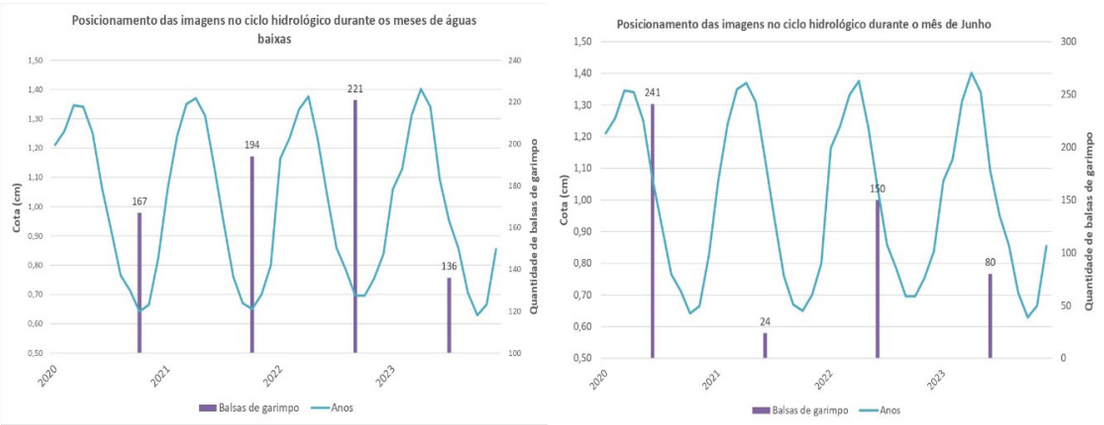


Figura 2 - Gráficos comparativos entre os valores dos hidrogramas da estação 15700000 de Manicoré nos anos de 2020 a 2023 e as quantidades de balsas de garimpo contabilizadas no mês de Junho e nos meses de águas baixas.

Relações entre garimpo e aspectos geológicos e geomorfológicos

As unidades litológicas presentes na área de estudo são unicamente sedimentares, sendo elas Formação Içá, Terraços Fluviais e Depósitos Aluvionares.

As rochas da área não contêm ouro primário. O mineral é transportado pelo rio após processos erosivos e depositado em sedimentos aluvionares no trecho estudado. A extração ocorre no leito do rio, onde sedimentos grossos, como cascalhos e areias com seixos, são depositados, sendo alvos da dragagem. No rio Madeira, o ouro garimpado está associado ao transporte fluvial de materiais aluvionares e coluvionares. O material intemperizado é continuamente desagregado, transportado e depositado em áreas favoráveis à sedimentação como os Depósitos Aluvionares, que coincidem com os maiores aglomerados de balsas. Têm topografia plana e são sujeitos a inundações sazonais. A comparação entre a posição das balsas e o arcabouço geológico destaca a relevância da geomorfologia fluvial. O mapa geomorfológico (Figura 3) evidenciou a concentração de balsas de garimpo próximas às barras fluviais e no interior da planície fluvial. A análise estatística empregou parâmetros como área da planície fluvial, índice de sinuosidade, número de lagos, ilhas e barras fluviais, correlacionando-os à densidade de balsas. A área de estudo foi dividida em oito partes iguais (518 km² cada) para identificar padrões específicos. Os resultados obtidos indicam que regiões com maior planície fluvial apresentam mais lagos e maior deposição de sedimentos, favorecendo a concentração de ouro.

A análise da relação entre a área da planície fluvial e o índice de sinuosidade (Figura 4) revelou que, quanto maior a deposição, mais meandrante é o rio. As subáreas 1 e 2 apresentam maior sinuosidade e planície alargada, enquanto nas subáreas 4 e 8 o rio é mais retilíneo e a planície reduzida. A deposição e a formação de barras fluviais são favorecidas pelos meandros, que diminuem a velocidade da correnteza, as laterais e de pontal predominam. Regiões com maior índice de sinuosidade apresentam barras de grande porte, locais propícios à concentração de minerais pesados, como o ouro.

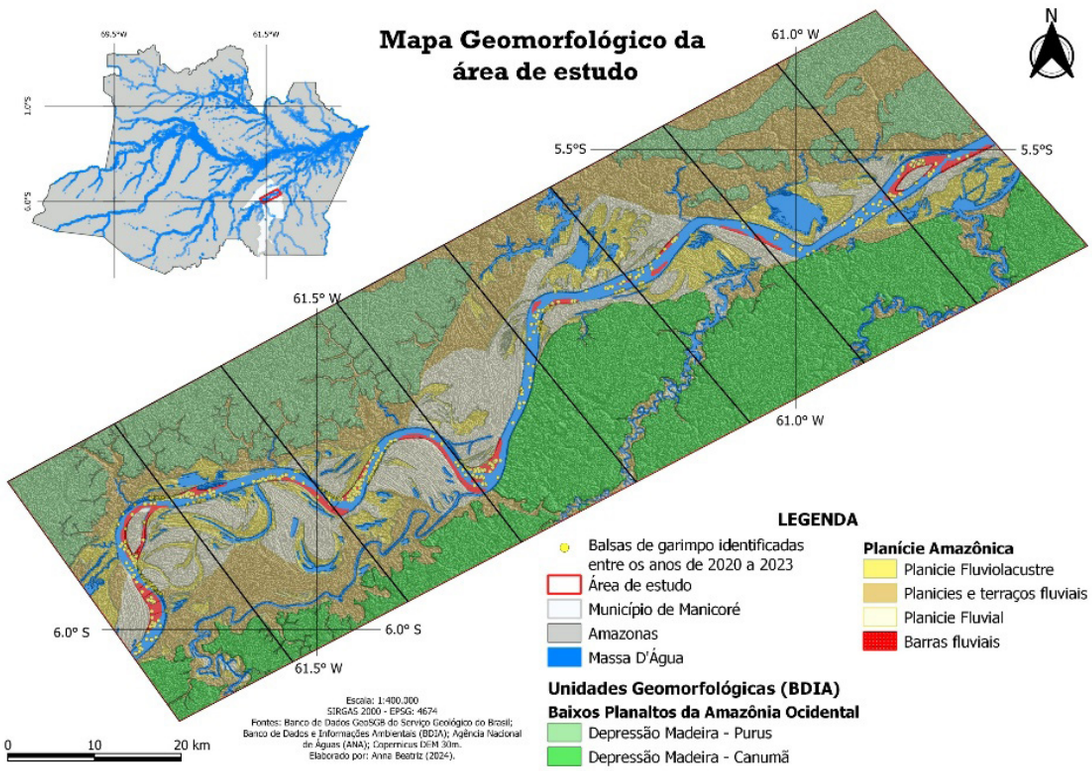
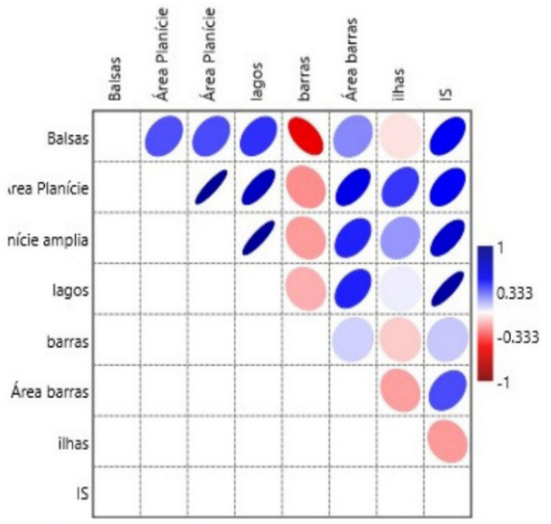


Figura 3 – Mapa Geomorfológico da área de estudo, com a divisão da área de estudo para análise.

O mapa corrobora a correlação entre a concentração de balsas e a presença de extensas barras fluviais. A maior densidade de balsas ocorre nas subáreas 1, 2 e 3, onde foram identificadas seis barras fluviais de grande porte (24 km²). Cerca de 60% das balsas detectadas situam-se a montante de Manicoré, onde há maior sinuosidade, maior largura da planície fluvial, mais lagos e barras.

A atividade garimpeira impacta a hidrodinâmica fluvial, pois a remoção de sedimentos altera o equilíbrio sedimentar e pode modificar o curso do rio. Na estiagem, garimpeiros extraem ouro em áreas litorâneas, causando derrubada de barrancos e formação de cavas. A formação de barras centrais indica relação direta com o garimpo, apesar de sua influência ser menos evidente em barras laterais e de pontal.



Áreas	Quant. Balsas	Quant. Balsas (%)	Área Planície Fluvial ampliada (km²)	Área Planície Fluvio-lacustre (km²)	N° de lagos	N° de barras fluviais	Área total das barras fluviais (km²)	N° de ilhas	Índice de sinuosidade
1	281	23,28%	303,509	248,49	21	2	11,87	1	1,26
2	140	11,60%	308,66	279,62	31	2	5,92	2	1,21
3	212	17,56%	254,8	230,18	31	2	6,93	0	1,34
4	112	9,28%	217,73	191,1	2	2	3,79	0	1,04
5	83	6,88%	221,06	187,59	8	7	4,79	1	1,18
6	64	5,30%	290,16	223,93	17	4	11,64	1	1,14
7	163	13,50%	240,08	179,89	4	1	0,99	2	1,11
8	152	12,59%	235,43	188,79	11	2	9,57	1	1,06
Total	1207	100,00%	2071,429	1729,59	125	22	55,5	8	

Figura 4 – Gráfico matriz de correlação de Pearson, identificando a análise de parâmetros geomorfológicos e quantidade de balsas, onde a elipse bem alongada significa forte correlação (positiva ou negativa, dependendo da inclinação e cor) e o círculo pouca correlação.

DISCUSSÕES

A análise mostra a relação entre garimpo, dinâmica fluvial, geologia e geomorfologia no rio Madeira. O sensor Sentinel-1A detectou balsas em qualquer condição climática, enquanto o CBERS 4A possibilitou a identificação das balsas, permitindo diferenciá-las de outros tipos de embarcações e realizar sua quantificação. Entre 2020 e 2023, houve aumento de balsas na vazante e redução na cheia, o garimpo impacta o ambiente, mas não altera o ciclo hidrológico, que influencia sua intensidade.

A geologia local demonstra que as rochas da região não contêm ouro, o que destaca a importância da geomorfologia e da hidrodinâmica. A análise geomorfológica evidenciou uma forte correlação entre a área da planície fluvial, a presença de ouro e a intensificação da atividade garimpeira durante o período de seca.

CONCLUSÕES

A análise integrada de dados geoespaciais, geomorfologia e hidrodinâmica identificaram padrões do garimpo e áreas com potencial aurífero no rio Madeira. Além do mapeamento geológico o geomorfológico permite monitorar o garimpo ilegal e áreas vulneráveis, destaca a importância de entender as interações natureza-sociedade para uma gestão eficaz.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Antoneli, V.; Thomaz, E. L. (2007). Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista-Guamiranga-PR. *Caminhos de Geografia*, *8*(21), 46-58.

Castro, S. M.; Almeida, J. R. (2012). Dragagem e conflitos ambientais em portos clássicos e modernos: uma revisão. *Sociedade & Natureza, v. 24, p. 519-533.*

Gomes R. M. (2020). Detecção de dragas e balsas garimpeiras na calha do rio Boia utilizando imagens dos sensores Sentinel 1A e 1B. *PIBIC – CENSIPAM.*

Guyout, J. L. (1993). Hydrogéochime des fleuves de L'Amazonie Bolivienne. *Tese de Doutorado – Université Bordeaux, França.*

Muniz, L. S. (2013). Análise dos padrões fluviométricos da Bacia do Rio Madeira – Brasil. *Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Amazonas, Manaus. 2013.*

USO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E GRAU DE EXPOSIÇÃO NA ÁREA URBANA DA SEDE MUNICIPAL DE CASTANHAL (PA)

João Eduardo Sousa Mendonça Vieira [1]; Aline Maria Meiguins de Lima[2]; Yuri Antonio da Silva Rocha[3]

[1]Universidade Federal do Pará - UFPA; [2]Universidade Federal do Pará - UFPA; [3]Universidade Federal do Pará - UFPA

joaoesmv@gmail.com; ameiguins@ufpa.br; eng.yurirocha@gmail.com

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo caracterizar o perfil dos poços utilizados para o abastecimento humano na área urbana da sede municipal de Castanhal (PA) e o grau de exposição que impacta na sua vulnerabilidade a contaminação. Para análise dos poços, foi utilizado o Banco de dados do SIAGAS. Estes foram avaliados segundo seus parâmetros físicos associados e ambiente urbano no qual estavam instalados. Em conjunto foram realizados levantamentos de campo para identificação das formas de uso da água e do ambiente urbano associado. Os resultados mostraram que existe uma forte demanda pelo uso da água subterrânea, e que a forma de utilização não prioriza a segurança hídrica, com a ampliação do grau de exposição a contaminação das águas pelo processo de urbanização, favorecido por um sistema insuficiente de esgotamento sanitário e a implantação de infraestrutura urbana que não conduz a proteção as águas subterrâneas e de sua zona de recarga, comprometendo a gestão de recursos hídricos subterrâneos.

PALAVRAS-CHAVE: Vulnerabilidade; Ambiente urbano; Segurança hídrica.

INTRODUÇÃO

Os usos múltiplos das águas têm gerado situações de conflito em vários setores, principalmente quando a disponibilidade hídrica confronta com o quantitativo de oferta.

As águas subterrâneas têm se mostrado uma alternativa em várias cidades à solução dos problemas de abastecimento decorrentes da dificuldade de se captar dos sistemas superficiais, seja pela qualidade ou pela quantidade insuficiente para a demanda existente (Foster, 2020; Foster e Hirata, 2021).

Porém, as questões normalmente levantadas são referentes a superexploração de sistemas aquíferos. Os mapeamentos sistemáticos do potencial subterrâneo não acompanham a velocidade de crescimento das cidades, e de consequente pressão sobre o consumo (La Vigna, 2022).

E da mesma forma, somam-se as pressões pelo crescimento da área urbana com a ocupação em regiões de baixo custo, que na região amazônica são comumente representadas pela várzea, onde a relação entre as águas superficiais e subterrâneas é intensa (Miguez-Macho; Fan, 2012). Desta forma, este trabalho teve por objetivo caracterizar o perfil dos poços utilizados para o abastecimento humano na área urbana da sede municipal de Castanhal (PA) e o grau de exposição que impacta na sua vulnerabilidade à contaminação.

Castanhal integra a Região Metropolitana de Belém (RMB) tendo alcançado um significativo crescimento populacional saindo de 65.251 habitantes em 1980, para 192.256 habitantes em 2022, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Logo, Castanhal detêm vários fatores que pressionam o uso das águas vinculados ao crescimento urbano, econômico e social. E como a rede de abastecimento estadual de água não consegue atender todas as demandas, a utilização da água subterrânea faz-se necessária.

MATERIAIS E MÉTODOS

O município de Castanhal localiza-se geograficamente no nordeste do estado do Pará; a 65 quilômetros da capital Belém, fazendo parte da Região Metropolitana de Belém, com uma área total de 1.028,89 km^2. Em termos hidrogeológicos na região nordeste do Pará os principais sistemas identificados são o Pirabas, Barreiras e o Pós-Barreiras, os quais encontram-se localizados nas rochas das formações homônimas (Sauma Filho, 1996). Sendo os 3 sistemas hidrogeológicos encontrados na cidade de Castanhal. O fluxo subterrâneo avaliado por Bandeira e Abreu (2012) para a região em torno da sede municipal de Castanhal durante o período chuvoso e menos chuvoso demonstrou que este acompanha a superfície topográfica, com uma inclinação do centro oeste para noroeste e leste, e no referente as consequências do período menos chuvoso, ocorre uma redução dos valores de nível da água nos poços, com a manutenção do fluxo no sentido das águas subterrâneas para as águas superficiais.

No processo de análise foram utilizados os dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) do Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM). Dos 305 poços registrados no SIAGAS para o município de Castanhal, apenas 111 foram selecionados para este estudo, uma vez que, nem todos os poços apresentaram o registro dos parâmetros necessários para análise. Com base neste foi realiza uma avaliação quanto a(ao): distribuição espacial dos poços; uso/consumo da água subterrânea; e aspectos hidrogeológicos, incluindo a profundidade final dos poços, as unidades hidrogeológicas de maior demanda e a distribuição quanto ao nível e vazões.

Por fim foi realizada a avaliação segundo o grau de exposição considerando a vulnerabilidade a contaminação dos poços da área urbana da sede municipal de Castanhal, por meio da elaboração do zoneamento da profundidade dos poços, gerado pela interpolação dos valores utilizando a ferramenta matemática do Inverso do Quadrado da Distância (em ambiente SIG) e posterior reclassificação, para melhor caracterização da densidade e do potencial de comportamento como livre ou semiconfinado.

RESULTADOS

O abastecimento doméstico é o principal consumidor de água subterrânea representando 45% do total dos poços estudados. Esse percentual reflete a dependência da população local dos poços e sistemas de captação subterrânea para atividades cotidianas, como consumo humano, higiene e preparo de alimentos. O abastecimento industrial corresponde a 26,6% indicando sua relevância para a economia local. Empresas de processamento agrícola, indústrias de médio porte e atividades ligadas ao agronegócio provavelmente utilizam água subterrânea para processos produtivos, resfriamento e limpeza.

Quanto ao abastecimento múltiplo, 11,2% englobam sistemas compartilhados entre diferentes setores, como instituições públicas, comércio e serviços. Já o abastecimento urbano (10,2%) refere-se a usos municipais, provavelmente para limpeza de vias públicas, manutenção de parques, fontes e etc. ambos os segmentos reforçam a importância da água subterrânea na integração e infraestrutura urbana da cidade e o forte consumo (Figura 1a).

O setor residencial é o responsável pela maior demanda de poços, abastecendo bairros periféricos onde a rede pública é limitada. A maioria dos poços instalados de 2015 a 2020, por exemplo, atendem comunidades em zonas de ocupação recente. O comércio e serviços também são responsáveis por essa maior demanda de poços tabulares, estabelecimentos como hotéis, postos de gasolina e mercados utilizam água subterrânea para suas atividades complementares.

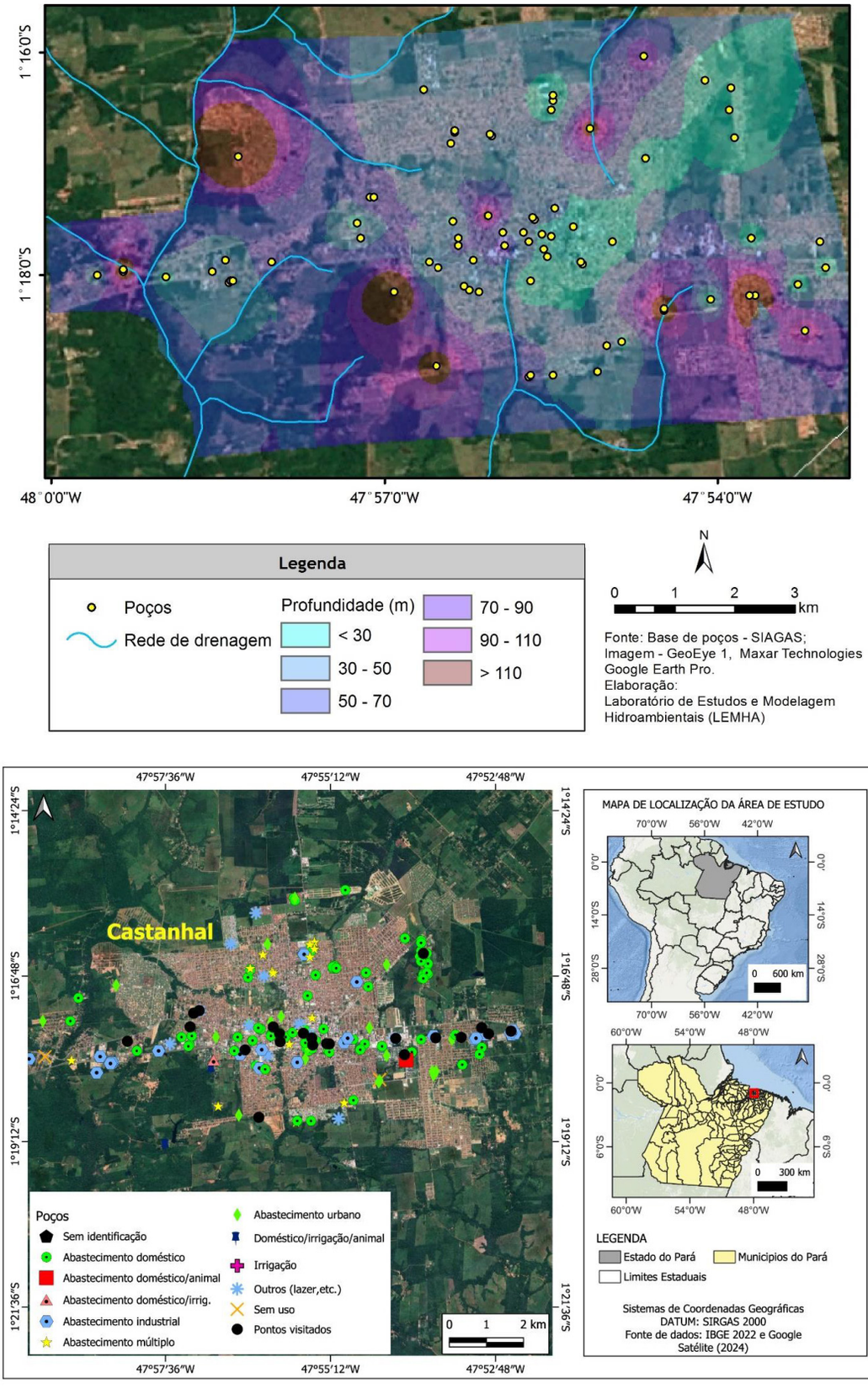


Figura 1 - a) Abastecimento na cidade de Castanhal por poços: usos múltiplos; b) Zoneamento segundo a profundidade dos poços na área urbana da sede municipal de Castanhal.

O setor industrial, consolidado a partir de 2010 às margens da BR-316, depende de poços profundos para processos produtivos; e na zona rural esse aumento dá-se pela ampliação de sistemas de irrigação que sustentam cultivos de pimenta-do-reino e frutíferas, base da economia local.

Segundo Foster e Hirata (1998) o grau de exposição e a vulnerabilidade a contaminação de um aquífero dependem de fatores como sua profundidade, o tipo de material geológico sobrejacente e a taxa de recarga dele. Os poços avaliados na área urbana da sede municipal de Castanhal são amplamente utilizados para o abastecimento.

O perfil quanto a profundidade indicou que do total dos poços avaliados predominam profundidades inferiores a 44 m. CPRM (2002) destaca que nessa faixa é comum encontrarem-se aluviões, juntamente com a cobertura detrítico-lateritica (com variações de teores de areia, silte, argila orgânica, conglomerados e lentes de lateritas ferro aluminosas e espessuras de 8 m a 30 m) e os sedimentos Barreiras (profundidade variando entre 30 m e 100 m, com teores de ferro). Estas águas, mesmo com limitações acabam sendo adotadas por condomínios e indústrias, sendo necessário seu tratamento (cloração, sulfatação e aeração).

Os aquíferos livres, também denominados freáticos (possuem seu nível de água em equilíbrio direto com a atmosfera, sem a presença de camadas impermeáveis superiores) representaram 35,9% do total avaliado (classificado desta forma na plataforma do SIAGAS); estes por corresponderem aos aquíferos superficiais, tem a recarga influenciada diretamente pelas águas superficiais e precipitações locais (Todd e Mays, 2005). Observa-se que deve haver um número bem maior que os que constam no banco de dados do SIAGAS, uma vez que, muitas casas têm poços artesianos não são registrados (Figura 1b).

No referente ao grau de exposição foram avaliadas as condições ambientais da área urbana da sede municipal de Castanhal conforme a profundidade dos poços (Figura 1b). Observa-se que as vias de maior adensamento detêm a maior concentração e mentor faixa de profundidade. Resultando em um maior número de ambientes que configuram exposição a contaminação e consequente o aumento da vulnerabilidade.

DISCUSSÕES

Os resultados obtidos pactuam com o destacado por Cabral (2007) que afirma que a carga contaminante urbana proveniente dos efluentes é tão relevante ou mais que as variações sazonais locais, onde a detecção no aquífero Barreiras (nas condições livre e semiconfinado) de nitrato e/ou amônio indica que o processo de urbanização leva impermeabilização de grandes áreas reduzindo a recarga natural dos aquíferos, afetando consequentemente o fluxo subterrâneo e a diluição de contaminantes, gerando assim uma recarga oriunda dos efluentes crescente e constante. O mesmo destaque é dado ao impacto antropogênico avaliado por Carvalho e Francisco (2020), este representou o principal responsável pelos elevados indicadores de vulnerabilidade na área urbana, caracterizados pela persistência da contaminação superficial em direção aos sistemas aquíferos, principalmente o freático.

Como o município de Castanhal compõe a RMB se reconhece que sua área urbana está em contínuo estado de evolução, assim embora existam variações no fornecimento de água urbana e na dependência de águas subterrâneas, é de se esperar a existência de "fatores comuns críticos" vinculados as formas de abastecimento público e privado motivados principalmente pelas taxas aceleradas de urbanização, aumento do uso de água *per capita e* menor segurança na captação de água de rios seja em decorrência da variabilidade climática (Foster e Hirata, 2011) ou da redução qualitativa da sua oferta (Figura 2).

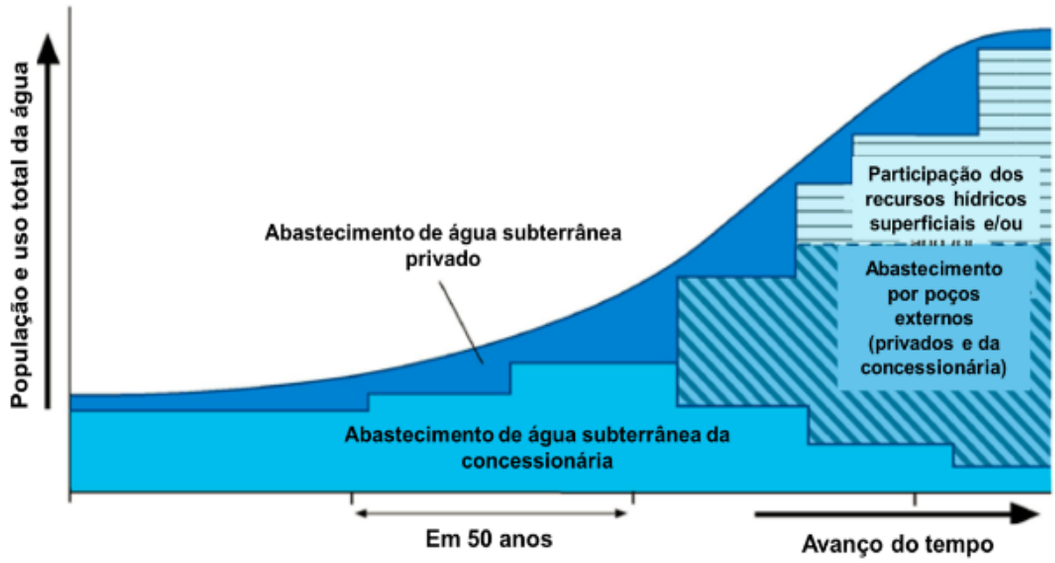


Figura 2 - Evolução temporal típica do abastecimento de água para consumo humano, considerando o desenvolvimento urbano em larga escala (Adaptado do Foster e Hirata, 2011).

CONCLUSÕES

Os dados analisados durante o trabalho evidenciam uma forte dependência de Castanhal para com as águas subterrâneas. Domina o uso de poços tubulares vinculados a aquíferos livres e semiconfinados que demonstram ser os de maior grau de exposição a agentes contaminantes. O base de informações do SIAGAS é a melhor disponível para avaliação das águas subterrâneas, porém tem várias lacunas de informação, havendo necessidade de restringir a avaliação aos dados mais completos e de maior segurança descritiva. No que tange o saneamento básico deve-se haver a instalação de sistemas adequados para coleta e tratamento de efluentes domésticos (esgoto); a realização de estudos sobre a evolução da poluição gerada pelo uso inadequado de fossas sépticas e agentes químicos; e a adoção de diversas medidas de precaução para evitar a infiltração de efluentes de fossas sépticas, chorume proveniente do descarte irregular de lixo a céu aberto o que acarretará na prevenção e diminuição da vulnerabilidade das águas subterrâneas de Castanhal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bandeira, I. C. N., Abreu, F. A. M. (2012). Neotectônica e estruturação dos sistemas hidrogeológicos da região de Castanhal/PA. *Águas Subterrâneas*, 26, 1, 1-17.

Cabral, N. M. T. (2007). Teores de nitrato (NO3-) e amônio (NH4+) nas águas do aquífero Barreiras nos bairros do Reduto, Nazaré e Umarizal-Belém/PA. *Química Nova*, 30, 1804-1808.

Carvalho, G. S., Francisco, C. N. (2020). Vulnerabilidade à contaminação de aquífero em área urbana – aquífero Guaratiba, RJ. *Revista de Geociências do Nordeste*, 6, 2, 186-196.

CPRM. (2002). *Projeto estudos hidrogeológicos da Região Metropolitana de Belém e adjacências*. CPRM - Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais, Serviço Geológico do Brasil – SGB, Belém, 101p.

Foster, S. (2022). The key role for groundwater in urban water-supply security. *Journal of Water and Climate Change,* 13, 10, 3566–3577.

Foster, S., Hirata, R. (1988). Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data. *Technical Manual*, WHO-PAHO/HPE-CEPIS, Lima, 81p.

Foster, S.; Hirata, R. (2011). Groundwater use for urban development: enhancing benefits and reducing risks. *On the Water Front*, 21-29.

La Vigna, F. (2022). Review: Urban groundwater issues and resource management, and their roles in the resilience of cities. *Hydrogeology Journal,* 30, 1657-1683.

Miguez-Macho, G.; Fan, Y. (2012). The role of groundwater in the Amazon water cycle: 2. Influence on seasonal soil moisture and evapotranspiration. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *117,* D15, 1-27.

Sauma Filho, M. (1996). *As águas subterrâneas de Belém e adjacências*: influência da Formação Pirabas e parâmetros físico-químicos para medidas de qualidade. 128f. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém.

SIAGAS. Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. Serviço Geológico do Brasil - SGB. https://siagasweb.sgb.gov.br/layout/.

Todd, D. K., Mays, L. W. (2005). *Groundwater Hydrology*. Wiley, New York, 656p.

LEVANTAMENTO GEOQUÍMICO AMBIENTAL NO ENTORNO DAS COMUNIDADES INDÍGENAS MATURACÁ E ARIABU, TERRA INDÍGENA YANOMAMI, ESTADO DO AMAZONAS

José Luiz Marmos[1]

[1] Serviço Geológico do Brasil - CPRM

jose.marmos@sgb.gov.br

RESUMO

Para estimar a eventual contaminação por mercúrio, gerada por atividades garimpeiras de ouro nas encostas do Pico da Neblina, na bacia do rio Cauaburi, no entorno das comunidades Maturacá e Ariabu, na Terra Indígena Yanomami, norte do Estado do Amazonas, foi executado levantamento geoquímico ambiental na região, que constou da amostragem de águas e sedimentos do rio Cauaburi e seus principais afluentes. Tal levantamento também propiciou a elaboração de um panorama geoquímico da área de estudo. Pelos resultados obtidos, pode-se afirmar que não há degradação química, seja de origem natural ou antrópica, nas águas ou sedimentos fluviais da região. A única exceção diz respeito a um igarapé da margem direita do Cauaburi, que registrou concentração de mercúrio em suas águas pouco acima dos valores máximos permitidos pelas normas legais. Tal anomalia, porém, não está associada à atividade garimpeira, mas é devida à existência, na margem do igarapé, de uma zona onde foi extraída piçarra (cascalho laterítico) para recapeamento da pista de pouso local. O revolvimento do solo nesse ponto facilitou os processos de dissolução e liberação química dos metais, contidos no retículo dos minerais e seu posterior transporte dissolvido para as águas do igarapé. De fato, nesta mesma amostra, foram registradas as maiores concentrações de Al, Fe e Mn em águas, sendo estes os metais mais comuns dos minerais constituintes das piçarreiras. Ademais, a amostra de sedimento deste igarapé revelou os maiores teores detectados de Al, Ba, Ca, Pb, Cu, Hg, P, Ti, U e V, o que comprova que a extração de piçarra executada em sua margem exerce influencia significativa na qualidade das águas e sedimentos do mesmo. Assim, recomenda-se que não seja consumida água desta drenagem até que novas análises constatem que a qualidade de suas águas voltou à condição natural.

PALAVRAS-CHAVE: contaminação; terras indígenas; geoquímica ambiental

INTRODUÇÃO

No âmbito de uma missão técnica com a FIOCRUZ, uma equipe do Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM efetuou levantamento geoquímico ambiental no entorno das comunidades indígenas Maturacá e Ariabu, inseridas na Terra Indígena Yanomami, na bacia do rio Cauaburi, afluente esquerdo do rio Negro.

Os trabalhos de campo constaram da coleta de amostras de águas e sedimentos do rio Cauaburi e seus principais afluentes. Os objetivos principais eram a elaboração de um panorama geoquímico da região e a detecção de eventuais contaminações, notadamente por mercúrio (Hg), nos compartimentos amostrados, tendo como justificativa os relatos da existência de garimpos de ouro a montante da área de estudo.

A área está situada no extremo norte do Estado do Amazonas, próxima à fronteira com a Venezuela e ao Pico da Neblina. As duas comunidades estão separadas por uma drenagem denominada Canal de Maturacá, sendo que a comunidade homônima está assentada na margem direita, e Ariabu na margem esquerda, local onde também se encontra um Pelotão Especial de Fronteira do Exército. O Canal de Maturacá é afluente direito do rio Cauaburi e faz a divisa entre os municípios de São Gabriel da Cachoeira e Santa Izabel do Rio Negro (Figuras 1 e 2). O acesso ao local, a partir de Manaus, é feito por via aérea, rodoviária e fluvial

MATERIAIS E MÉTODOS

As estações de coleta foram planejadas de modo a incluir amostragens no rio Cauaburi e seus maiores afluentes, num trecho com cerca de 12km a montante e 25km a jusante da foz do Canal de Maturacá. Para uma melhor avaliação, a malha de amostragem foi adensada no entorno das duas comunidades.

Nas estações de coleta de águas fluviais foi realizada in loco, por meio de um kit portátil de sondas digitais, a leitura dos seguintes parâmetros físico-químicos: pH, condutividade elétrica (CE), temperatura e oxigênio dissolvido.

As amostras de água foram coletadas em tubos de polietileno de 50mL, com auxílio de seringas descartáveis, em três alíquotas de 50mL: duas alíquotas filtradas (unidades filtrantes com poros de 0,45 µm) para análise de cátions e ânions, e uma alíquota não filtrada para análise específica de mercúrio total.

As amostras de sedimentos fluviais de fundo foram coletadas de forma composta, no leito ativo das drenagens, nos mesmos pontos das amostras de água, dando-se preferência aos locais de deposição de material mais fino, pois é nesse tipo de material (argila e silte) que se concentram os eventuais contaminantes.

Ao final da campanha obteve-se um acervo de 17 amostras de água fluvial e 17 amostras de sedimento de fundo (Figura 3).

As amostras de água foram analisadas no Laboratório de Análises Minerais – LAMIN Manaus, do SGB-CPRM, para 27 cátions, via ICP-OES; 7 ânions, via cromatografia iônica; mercúrio dissolvido (amostra filtrada) e mercúrio total (amostra não filtrada), pelo DMA-80 (analisador específico de Hg).

As amostras de sedimento foram preparadas no LAMIN Manaus, conforme o seguinte procedimento: secagem em estufa, destorroamento, peneiramento a 80# e quarteamento da fração passante em duas alíquotas. Uma das alíquotas foi destinada à determinação de Hg no próprio LAMIN e a outra foi enviada ao laboratório Oceanus, na cidade do Rio de Janeiro, onde foram analisados, por ICP-MS, após digestão em água régia, 53 elementos químicos.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir são apresentados e discutidos, por meio amostral, os resultados das análises laboratoriais.

Figura 1: Imagem de satélite com a localização da comunidade Maturacá e das cidades de São Gabriel da Cachoeira e Santa Izabel do Rio Negro, na bacia do Rio Negro, Estado do Amazonas (Fonte: Google Earth).

Figura 2: Imagem de satélite, em maior detalhe, com a localização das comunidades Ariabu e Maturacá, separadas pelo Canal de Maturacá, e da pista de pouso do Exército (Fonte: Google Earth).

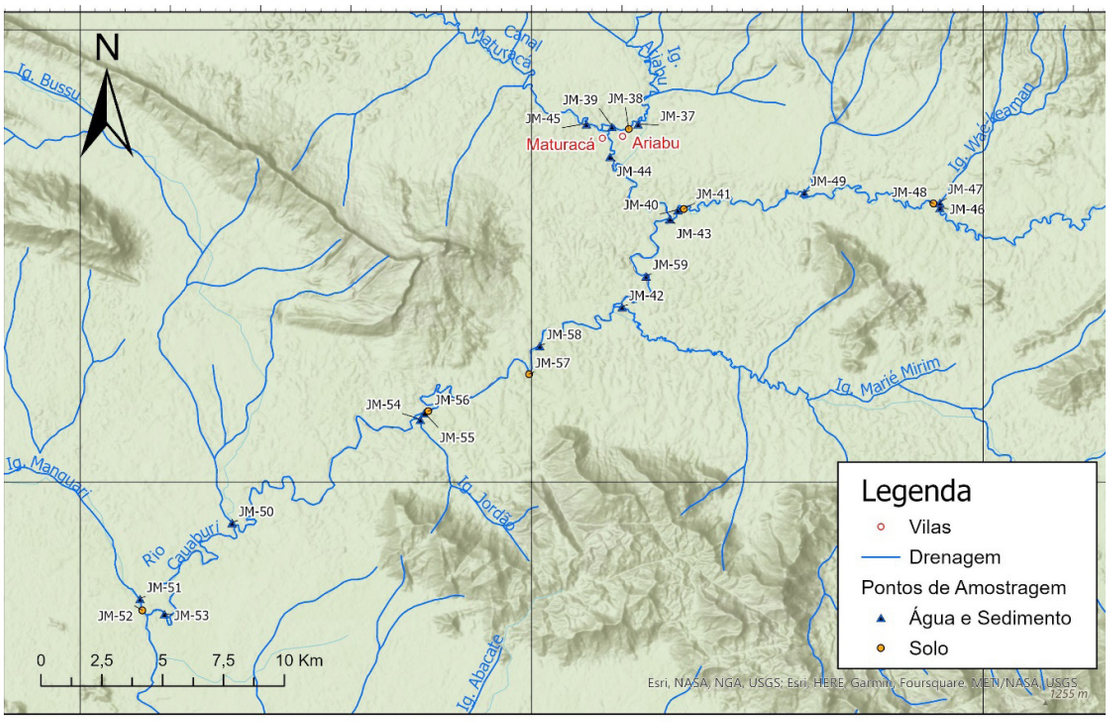


Figura 3: Localização dos pontos de amostragem sobre a rede de drenagem da região.

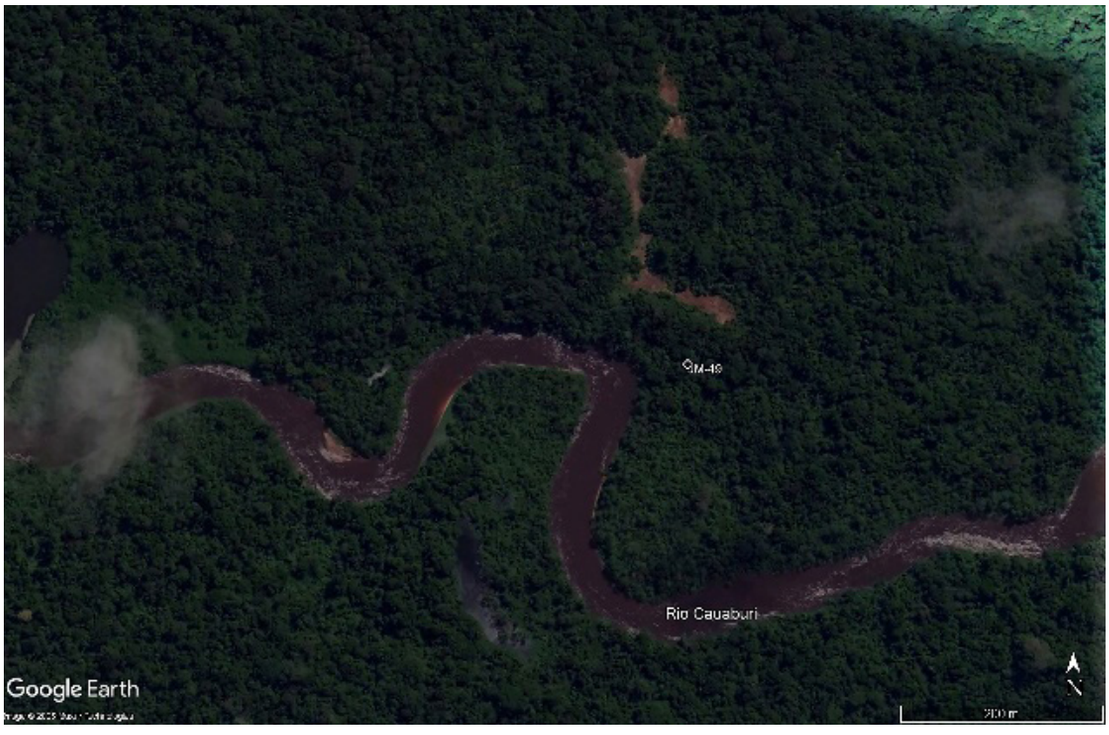


Figura 4: Imagem de satélite com a localização do ponto JM-49, em afluente do rio Cauaburi. A cicatriz na área florestada representa o local onde foi extraída piçarra para recapeamento da pista de pouso.

De fato, esta mesma amostra registrou as maiores concentrações de Al (0,4 mg/L), Fe (1,1 mg/L) e Mn (0,11 mg/L), todas acima dos VMPs, sendo estes os metais mais comuns nos minerais das piçarreiras, o que reforça a hipótese da origem de anomalia de Hg em questão.

O Al revelou concentrações > VMP da CONAMA 357/2005 em 13 pontos, cinco deles em afluentes do rio Cauaburi, onde as águas são naturalmente ácidas (pH < 5,0). O Fe apresentou concentrações > VMP de ambas as normativas em oito pontos, quatro deles em igarapés com águas ácidas. Estes valores são normais na região, de águas pretas, com pH inferior a 5,0, devido à abundância de ácidos orgânicos, que facilita a dissolução dos elementos presentes nos sedimentos e solos.

Dos demais cátions analisados, aqueles com potencial altamente tóxico se dissolvidos nas águas em valores > VMPs, como As, Cd, Pb, Cr, Li, Ni, Sb e Se, as concentrações, em todos os pontos, estão abaixo dos limites de quantificação (LQ) do LAMIN e atestam ausência de contaminação por estes elementos. O mesmo ocorre com os sete ânions analisados, que revelaram concentrações bem inferiores aos VMPs das normas, o que já era sugerido pelos reduzidos valores de CE em todas as amostras: 10 a 53 µS/cm.

Quando se comparam os valores de alguns parâmetros indicativos de contaminação (pH, CE, concentrações de cátions e ânions) entre as amostras coletadas pouco a montante e pouco a jusante das comunidades nos igarapés Ariabu, Maturacá e no rio Cauaburi, verifica-se que as variações observadas são insignificantes e não indicam degradação **química** na rede de drenagem avaliada.

Sedimentos de fundo

Para avaliação dos sedimentos de fundo e detecção de eventuais anomalias associadas a contaminações **químicas** foram utilizados os valores de referência (VMP) determinados pela Resolução CONAMA 454/2012 (Brasil, 2012), que define "limiares de teores" (N1 e N2) de elementos químicos a partir dos quais os sedimentos podem estar contaminados. Neste estudo foram utilizados os valores de classificação para águas doces, tomando-se como referência o nível 1 da mesma (limiar abaixo do qual há menor probabilidade de efeitos adversos à biota).

Os teores de Hg em todas as amostras são muito inferiores ao VMP adotado, comprovando a ausência de contaminação por esse metal tóxico nos sedimentos de fundo. O maior teor (0,05 ppm) foi detectado justamente no ponto JM-49, que registrou também a maior concentração de Hg em águas fluviais.

A amostra coletada neste mesmo ponto registrou os maiores teores detectados de Al (0,15%), Ba (25,8 ppm), Pb (3,7 ppm), Cu (1,5 ppm), P (54 ppm), Ti (0,02%), U (0,42 ppm) e V (2,6 ppm), fato que comprova que a extração de piçarra executada na margem deste igarapé exerce influência na qualidade de suas águas e sedimentos. Nenhum destes teores, porém, é superior ao N1 da CONAMA 454/2012.

CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos pode-se afirmar que não foi constatada degradação **química**, seja natural ou antrópica, nas águas ou sedimentos fluviais da bacia do rio Cauaburi na área de estudo. A única exceção diz respeito a um igarapé que revelou concentração de Hg em suas águas pouco acima dos VMPs pelas normas legais. Tal anomalia,

porém, não está associada à atividade garimpeira, mas é devida à existência, na margem do igarapé, de um local onde foi extraída piçarra. De fato, nesta mesma amostra, foram registradas as maiores concentrações de Al, Fe e Mn em águas, sendo estes os metais mais comuns dos minerais constituintes das piçarreiras.

Ademais, a amostra de sedimento deste igarapé apresentou os maiores teores detectados de Al, Ba, Ca, Pb, Cu, Hg, P, Ti, U e V, o que comprova que a extração de piçarra executada em sua margem exerce influência significativa na qualidade de suas águas e sedimentos. Assim, recomenda-se que não seja consumida água desta drenagem até que novas análises constatem que a qualidade de suas águas voltou à condição natural.

Em relação ao principal contaminante investigado, o mercúrio, todas as amostras de sedimento apresentaram teores do metal muito abaixo do VMP legal, não obstante a ocorrência de garimpos de ouro na região.

Tendo em vista o notável crescimento populacional nas comunidades visitadas recomenda-se a continuidade deste estudo, com um programa de monitoramento de qualidade química e biológica das águas e sedimentos fluviais, com campanhas semestrais de amostragem, com adensamento da malha de amostragem no entorno mais próximo das comunidades.

AGRADECIMENTOS

O autor expressa seus agradecimentos à Fundação Oswaldo Cruz - FIOCRUZ, pelo inestimável apoio logístico durante os trabalhos de campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brasil (2005). Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Brasília: MMA. 23p.

Brasil (2012). Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. Resolução nº 454, de 01 de novembro de 2012. Brasília: MMA. 17p.

Brasil (2021). Ministério da Saúde. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS no. 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Portaria GM/MS no. 888, de 04 de maio de 2021. Brasília: MS. 29p.

DEGRADAÇÃO AMBIENTAL POR MINERAÇÃO NO DISTRITO DO LOURENÇO (AP): MAPEAMENTO E QUANTIFICAÇÃO COM SENSORIAMENTO REMOTO

Idelmir Junior Santana Duarte[1]; Marcelo José de Oliveira[1]; Herondino dos Santos Filho[1]; Helyelson Paredes Moura[1]; Wagner José Pinheiro Costa[2]

[1] Universidade Federal do Amapá – UNIFAP; [2] Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá – IEPA

idelmirjunior07@gmail.com; geomarcelooliveira@gmail.com; herondino@unifap.br; helyelson@unifap.br; costa.wgp@gmail.com

RESUMO

A mineração tem sido historicamente relevante para a economia da Amazônia, mas também figura entre as principais atividades antrópicas causadoras de impactos ambientais significativos, como desmatamento, degradação do solo e alterações em corpos hídricos. No Amapá, o distrito aurífero do Lourenço se destaca como o principal polo de extração artesanal de ouro, hospedando também mineração industrial da mesma substância. Este estudo teve como objetivo mapear e quantificar o avanço da degradação ambiental entre os anos de 2016 e 2023 em 10.556 hectares de quatro áreas de concessão mineral contiguas, utilizando técnicas de sensoriamento remoto. Foram utilizadas imagens de satélite de alta resolução (5 m) da plataforma *PlanetScope*, classificadas em sete classes temáticas por meio de técnicas de classificação supervisionada no software QGIS. Os resultados apontam um crescimento significativo da classe "Solo Exposto", que aumentou em 606,52 hectares, e uma redução de 769,59 hectares na classe "Vegetação", revelando cerca de 7% de perda da cobertura florestal a áreas antropizadas. Também se observou aumento em "Área Urbanizada" e "Vegetação Secundária", o que indica tanto a expansão do núcleo urbano quanto processos de regeneração incipiente da vegetação. As alterações nas classes "Corpo Hídrico" e "Corpo Hídrico Alterado" sugerem impactos diretos sobre a rede de drenagem local. As análises revelam que o uso intensivo do solo tem acelerado a degradação ambiental no distrito, exigindo ações urgentes de planejamento e controle. A pesquisa demonstra ainda a efetividade das geotecnologias como ferramentas de monitoramento, reforçando seu potencial para subsidiar políticas públicas de gestão ambiental e territorial na região amazônica.

PALAVRAS-CHAVE: mineração de ouro; degradação ambiental; sensoriamento remoto; Amapá; Amazônia.

INTRODUÇÃO

A mineração, ainda que importante para o desenvolvimento socioeconômico, é também uma das atividades antrópicas que mais causam impactos negativos ao meio ambiente, quer seja na modalidade industrial ou mesmo na forma de garimpagem, como

ocorre amplamente na Amazônia (Araújo *et al*., 2014; Veiga *et al*., 2002). A mineração artesanal, ainda que localizada, caso não tenha controle ambiental provoca desmatamento, degradação do solo e assoreamento de rios, podendo alterar significativamente o meio físico e biológico, comprometendo os corpos hídricos e intensificando a fragmentação florestal (MapBiomas, 2023; Fearnside, 2022).O Distrito do Lourenço, situado em Calçoene, no Amapá, é uma das mais antigas áreas de garimpo do país, com registros de exploração aurífera desde o final do século XIX (Chagas, 2019; Oliveira, 2010). Ainda hoje, é o principal polo de extração artesanal de ouro no estado, constituindo uma comunidade tradicional garimpeira. Apesar disso, poucos estudos quantificaram de forma objetiva os impactos ambientais causados por essa atividade na região (Brito, 2021).

Diante deste contexto, este trabalho teve como objetivo mapear e quantificar o aumento das áreas degradadas pela pequena mineração artesanal e industrial no Distrito do Lourenço entre 2016 e 2023, com base em imagens de sensoriamento remoto de alta resolução, avaliando as alterações no uso e cobertura da terra e os possíveis efeitos sobre a paisagem e os sistemas hidrográficos locais.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Distrito do Lourenço, localizado a 80 km a oeste da sede de Calçoene, no centro-norte do estado do Amapá (Figura 1). A área situa-se nas proximidades da nascente do rio Cassiporé, na Serra Lombarda, um importante divisor entre as bacias dos rios Araguari e Oiapoque (Silva, 2005; Chagas, 2019).

Segundo o IBGE (2024), a população local é de 2.371 habitantes no Distrito do Lourenço, onde há mais de 10.500 hectares oficialmente destinados à exploração de ouro e tantalita (ANM, 2024); abrangendo áreas sob domínio da COOGAL (91%) e da empresa Oro Amapá (9%), ou seja, à pequena mineração artesanal e industrial (Figura 1).

Procedimentos Metodológicos

O trabalho utilizou imagens de satélite Planet, com 5 m de resolução, referentes aos meses de junho de 2016 e outubro de 2023, selecionadas por menor cobertura de nuvens. As imagens foram processadas no QGIS 3.28, por meio da geração de mosaicos RGB e posterior reprojeção para o sistema SIRGAS 2000 / UTM Zona 22N. As áreas de interesse foram recortadas com base nas poligonais minerárias obtidas no SIGMINE da ANM(Figura 1) .

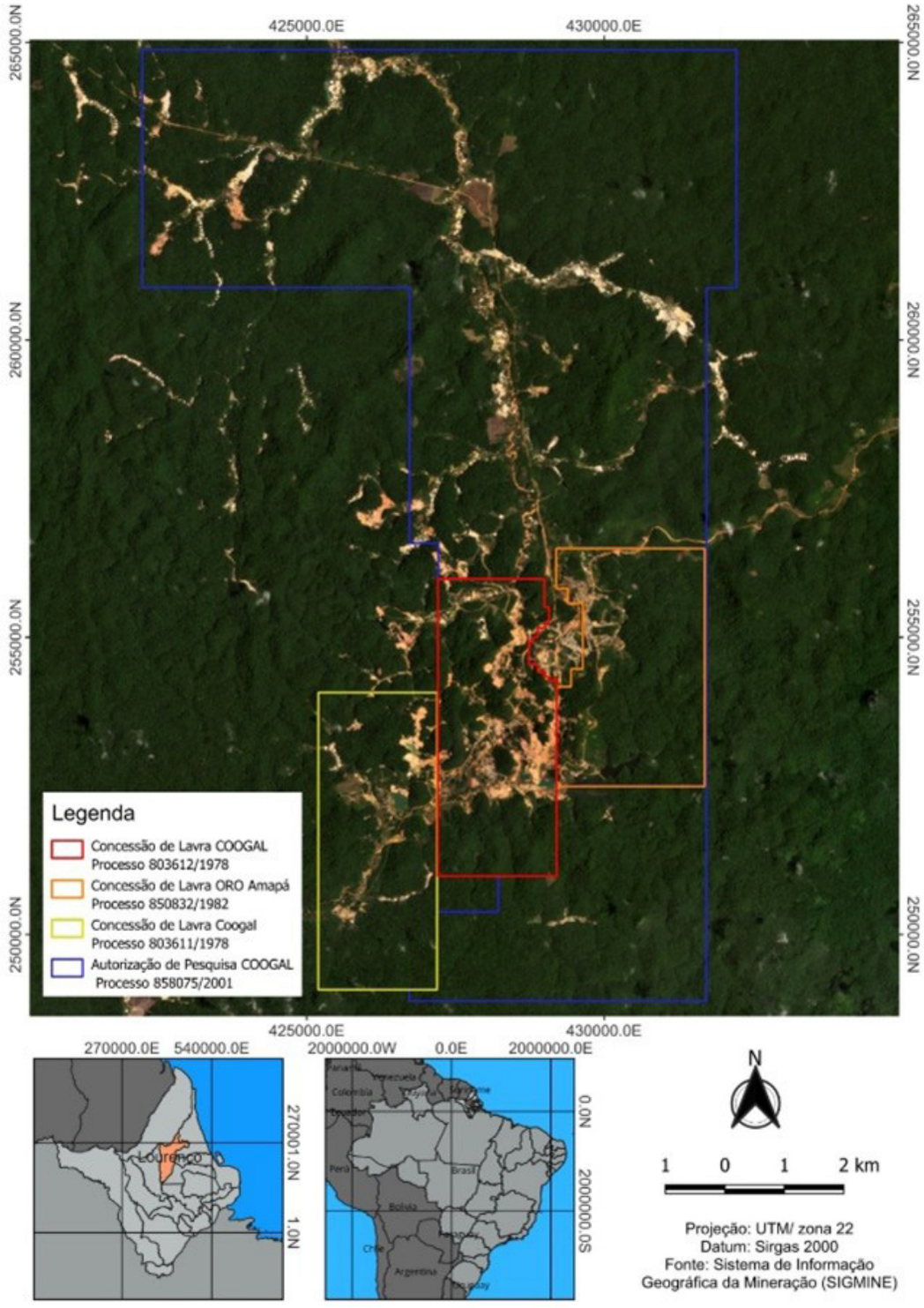


Figura 1. mapa de localização do distrito do Lourenço, com os respectivos processos minerários ativos na região de estudo.

A classificação supervisionada foi feita com o plugin *Dzetsaka*, utilizando sete classes temáticas, entre elas Solo Exposto, Vegetação, Vegetação Secundária, Corpo Hídrico Alterado e Área Urbanizada. A quantificação das áreas foi realizada com a ferramenta "*r.report*". A validação dos resultados incluiu análise da matriz de confusão com uso do plugin *AcATaMA*, com mais de 1.700 pontos por ano, e checagem em campo de 13 pontos georreferenciados.

RESULTADOS

A análise multitemporal das imagens de satélite baseada na classificação realizada revelou mudanças significativas no uso e cobertura do solo nas áreas de concessão mineral do Distrito do Lourenço entre 2016 e 2023 (Figura 2, Tabela 1).

A classe “Solo Exposto” apresentou aumento de 735,49 ha (6,96%) para 1342,01 ha (12,70%), ou seja, quase dobrou. Já a classe “Vegetação” que em 2016, representava 9229,09 ha, ou cerca de 87,35% da área, reduziu para 8459,50 ha (80,06%), totalizando uma perda de 769,59 ha (7,29%).

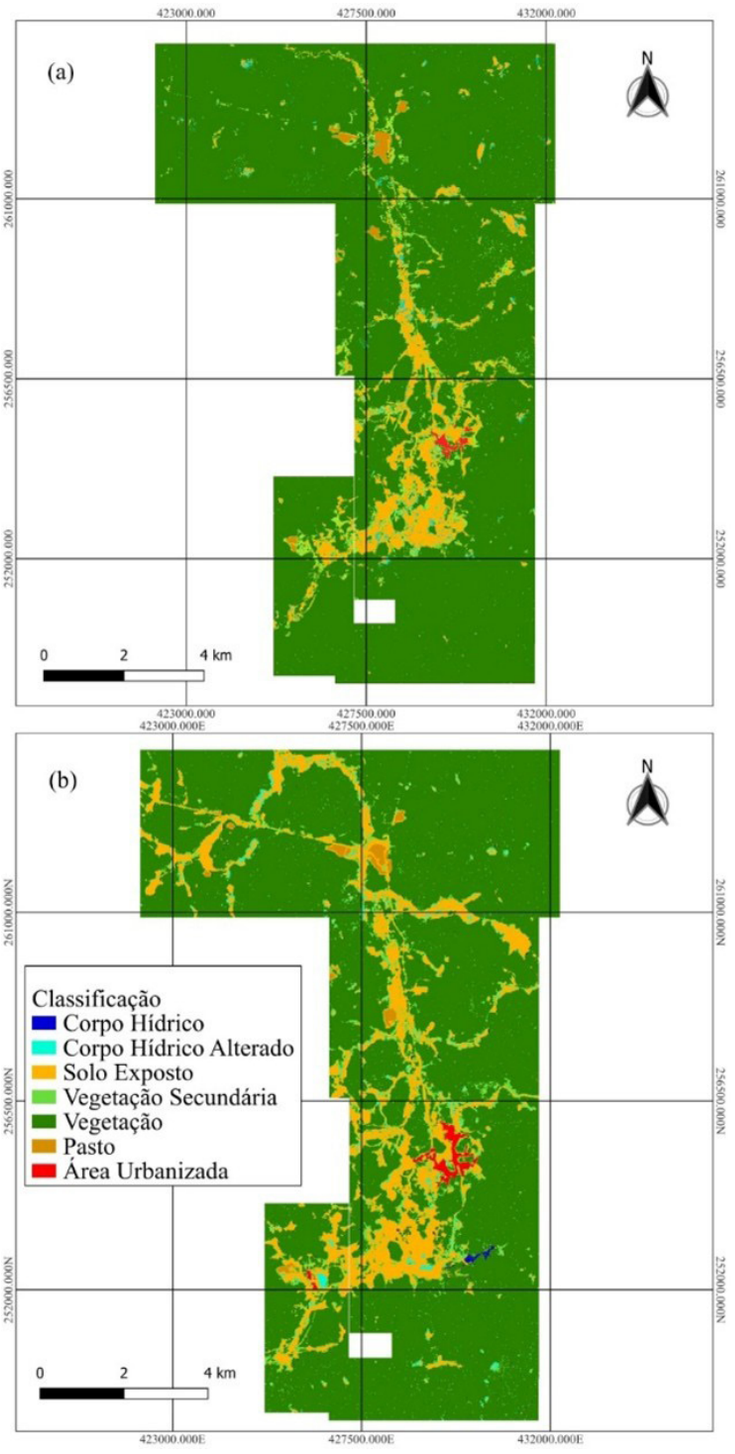


Figura 2. mapa de classificação de usos da área estudada para os anos de 2016 (a) e 2023 (b).

Também houve aumento nas classes "Corpo Hídrico Alterado", de 121,10 ha para 142,37 ha, e "Área Urbanizada", de 20,17 ha para 54,72 ha. A classe "Vegetação Secundária" aumentou de 406,29 ha para 493,58 ha, e a classe "Corpo Hídrico", ausente em 2016, passou a representar 20,38 ha em 2023. A classe "Pasto" permaneceu praticamente estável.

	CLASSES	Área 2016 (hectare)	Área 2016 (%)	Área 2023 (hectare)	Área 2023 (%)
1	Corpo Hídrico	0	0,00	20,38	0,19
2	Corpo Hídrico Alterado	121,10	1,15	142,37	1,35
3	Solo Exposto	735,49	6,96	1342,01	12,70
4	Vegetação Secundária	406,29	3,85	493,58	4,67
5	Vegetação	9229,09	87,35	8459,5	80,06
6	Pasto	54,03	0,51	53,61	0,51
7	Área Urbana	20,17	0,19	54,72	0,52
	Área total	10566,1	100	10566,1	100

Tabela 1. Valores absolutos e percentuais das sete classes analisadas nos anos de 2016 e 2023.

A matriz de confusão mostrou acurácia global de 96,2% em 2016 e 96,5% em 2023. Em 2016, as classes tiveram eficiência entre 96% e 100%, exceto "corpo hídrico alterado" com 68%. Em 2023, a classe "vegetação" obteve 79,8% e "corpo hídrico alterado" 58%, enquanto as demais variaram entre 80% e 100%. Todos os pontos verificados em campo foram classificados corretamente.

DISCUSSÃO

Os resultados indicam avanço significativo da degradação ambiental associada à atividade mineral no Distrito do Lourenço entre 2016 e 2023. O aumento de 606,52 hectares na classe Solo Exposto (de 735,49 ha para 1342,01 ha) reflete a intensificação das frentes de lavra nas áreas sob concessão, revelando pressão direta sobre a cobertura vegetal e o solo. A redução de 769,59 ha da classe Vegetação, equivalente a 7,29% da área original, confirma um processo expressivo de desmatamento no período analisado. A expansão da classe Área Urbanizada em 34,55 ha pode estar associada ao crescimento demográfico e à ocupação informal em áreas de entorno dos garimpos, que, por sua vez, contribui para o aumento da pressão sobre os recursos naturais locais. A classe Corpo Hídrico Alterado também teve crescimento, passando de 121,10 ha para 142,37 ha, o que pode indicar incremento na deposição de sedimentos nos sistemas de drenagem da região. A presença da classe Corpo Hídrico apenas em 2023 (20,38 ha), ausente em 2016, pode ser atribuída a fatores sazonais e à redução da turbidez em determinados trechos. A vegetação secundária, por outro lado, cresceu em apenas 87,29 hectares no período, sinalizando um processo de regeneração lento, considerado como insuficiente para compensar as perdas.

A metodologia utilizada para a classificação das imagens demonstrou eficiência na geração de mapas temáticos de uso e ocupação e para monitorar o avanço de áreas degradadas pela mineração, comprovada pelos resultados validados em campo e a partir do plugin AcAtaMA

CONCLUSÕES

A pesquisa evidenciou o avanço da degradação ambiental no Distrito do Lourenço, com ampliação das áreas de solo exposto e redução da vegetação nativa. As alterações nas classes de uso do solo indicam impactos sobre a cobertura florestal, a hidrografia e a dinâmica urbana local, associadas à intensificação da atividade mineral. Embora tenha havido sinais de regeneração em áreas degradadas, a recuperação ainda é incipiente frente às perdas observadas. Diante desse cenário, reforça-se a urgência de ações de monitoramento contínuo, controle ambiental e políticas públicas voltadas à recuperação e gestão sustentável do território, o que se pressupõe acontecer somente com maior controle ambiental das operações e investimento na recuperação das áreas degradadas com apoio do poder público. As geotecnologias demonstraram grande potencial para apoiar essas estratégias e contribuir para a governança ambiental da região amazônica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amapá (FAPEAP) pelo apoio financeiro à pesquisa que originou este trabalho, no âmbito do projeto sobre o setor garimpeiro do Lourenço.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANM (Agência Nacional de Mineração). SIGMINE - Sistema de Informações Geográficas da Mineração. Disponível em: https://geo.anm.gov.br/portal/apps/webappviewer/index.html?id=6a8f5ccc4b6a4c2bba79759aa952d908. Acesso em 04 de setembro de 2024.

Araújo, E. R.; Olivieri, R. D.; Fernandes, F. R. C. 2014. Atividade mineradora gera riqueza e impactos negativos nas comunidades e no meio ambiente. In: *Recursos minerais e sociedade: impactos humanos, socioambientais e econômicos*. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI.

Basta, P. C. 2023. Garimpo de ouro na Amazônia: a origem da crise sanitária Yanomami. *Cadernos de Saúde Pública*, 39(12): 1–6.

Brito, E. J. 2021. Avaliação preliminar da degradação ambiental por sensoriamento remoto das áreas de concessão mineral para extração de ouro no distrito garimpeiro de Lourenço/AP. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Amapá, Macapá. 61 p.

Chagas, M. A. 2019. A geopolítica do garimpo do Lourenço, norte do Amapá: trajetória, contradições e insustentabilidade. *Boletim Goiano de Geografia*, 39: 1–18. Disponível em: https://revistas.ufg.br/bgg/article/view/55253. Acesso em: 2 dez. 2024.

Fearnside, P. M. 2022. Destruição e conservação da floresta amazônica. Manaus: INPA. Vol. 1. 365p.

Herraiz, A. D.; Silva, M. N. S. 2016. Diagnóstico socioambiental do extrativismo mineral familiar (garimpo) na calha do rio Madeira, em Humaitá, Amazonas. *Pegada: a revista da Geografia do Trabalho*, 16(2): 202–226.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2024). Censo 2022. *Dados Agregados_por_distritos_cor_ou_raca_Calçoene*. Dados Vetoriais. Disponível em: https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/downloads.html?localidade=BR

Liu, W. T. H. 2006. Aplicações de sensoriamento remoto. 2. ed. Campo Grande: Ed. UNIDERP.

Mapbiomas. 2023. Mapeamento anual de cobertura e uso da terra no Brasil entre 1985 a 2022 – Coleção 8. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org. Acesso em: 25 jan. 2025.

Oliveira, M. J. de. 2010a. Diagnóstico do setor mineral do estado do Amapá. Macapá: IEPA. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/arquivos/diagnostico-do-setor-mineral-do-estado-do-amapa.pdf/view. Acesso em: 9 set. 2024.

Sarmento, A. M.; Sousa, L. D. A. 2012. Atividade mineradora de água-marinha em Tenente Ananias/RN. *Sociedade e Território*, 21(1–2): 15–30.

Schmitt, J.; Costa, D. P.; Vieira, U. O. 2008. Monitoramento da mineração ilegal em áreas protegidas na Amazônia. *Olam: ciência & tecnologia*, 8(2): 197–217.

Veiga, M. M.; Silva, A. R. B.; Hinton, J. J. 2002. O garimpo de ouro na Amazônia: aspectos tecnológicos, ambientais e sociais. In: *Extração de ouro: princípios, tecnologia e meio ambiente*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT. cap. 11, p. 277–305.

METAIS E RADÔNIO EM ÁGUAS DO DISTRITO GARIMPEIRO DE LOURENÇO, CALÇOENE (AP)

Marcelo José de Oliveira[1]; Idelmir Junior Santana Duarte[1]; Helyelson Paredes Moura[1]; Wagner José Pinheiro Costa[2]; Karina Cardoso Valverde[1]; José Reinaldo Cardoso Nery[1]

[1] Universidade Federal de Amapá – UNIFAP; [2]Instituto de Pesquisas Cientificas e Tecnológicas do Estado do Amapá (IEPA).

geomarcelooliveira@gmail.com; *idelmirjunior07@gmail.com*; helyelson@unifap.br; *costa.wgp@gmail.com*; karina.valverde@unifap.br; jrney@unifap.br)

RESUMO

A mineração artesanal e em pequena escala (MAPE) na Amazônia representa uma atividade socioeconômica relevante, mas pode gerar significativos impactos ambientais, especialmente na qualidade da água. Este estudo teve como objetivo avaliar a qualidade das águas superficiais e subterrâneas no Distrito do Lourenço, município de Calçoene (Estado do Amapá), área historicamente marcada pela mineração industrial e garimpeira. Foram coletadas amostras em cinco pontos de águas superficiais e uma de origem subterrânea utilizada para abastecimento humano. As análises laboratoriais seguiram métodos padronizados e contemplaram parâmetros físico-químicos (pH, turbidez, cor), metais (Fe, Mn, Cu, Al, Cr) e radônio (^{222}Rn), cujos resultados foram comparados aos limites da Resolução CONAMA nº 357/2005 (águas doces superficiais, classe 2) e da Portaria GM/MS nº 888/2021 (potabilidade) e concentração radiogênica. Verificaram-se concentrações elevadas de cobre em cinco amostras, com máximo de 3,63 mg/L, superando amplamente o valor permitido (0,009 mg/L). Também foram observadas inconformidades nos teores de manganês e ferro, principalmente no ponto P3, que apresentou turbidez (1918 UNT) e cor verdadeira (1165 mg Pt/L) muito acima dos limites. Já a amostra de água subterrânea apresentou apenas pH levemente ácido, fora do padrão de potabilidade, mas comum na região. O radônio variou de 112,68 a 4473,71 Bq/m^{-3}, valores inferiores ao limite internacional de 11.100 Bq/m^{-3}, afastando riscos radiológicos. Observou-se correlação entre radônio, Cu e Mn, sugerindo mobilização geoquímica comum. Conclui-se que, embora não haja risco radiológico, os teores anômalos de metais e as inconformidades físico-químicas evidenciam a influência da mineração sobre a qualidade da água, reforçando a necessidade de monitoramento contínuo e de medidas de gestão ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: qualidade de água; mineração artesanal; metais; Amapá; Amazônia

INTRODUÇÃO

A mineração artesanal e em pequena escala (MAPE) é praticada em todo globo, sendo responsável por 20% da produção global de ouro (IGF,2017). Tem forte presença na Amazônia, que responde por cerca de 85% da produção nacional de ouro garimpeiro (Cozendey e Chiavari, 2025). Apesar de sua importância socioeconômica, essa atividade é marcada por impactos ambientais expressivos, como degradação do solo, liberação de elementos tóxicos e contaminação hídrica (IGF, 2017). Além do mercúrio, outros metais tóxicos como Al, Fe, Cr, Cu e Mn e radionuclídeos naturais podem ser expostos e mobilizados pela lavra e revolvimento de solos e rochas (Muniz e Oliveira-Filho, 2006; De Oliveira Santos *et al*., 2015). O radônio (^{222}Rn) merece destaque por ser um gás radioativo classificado como carcinógeno classe I e oferece riscos à saúde humana, inclusive por meio da água (WHO, 2009; IARC, 2012).

No Estado do Amapá, o Distrito do Lourenço no município de Calçoene, é uma das mais antigas comunidades garimpeiras do país, onde a atividade se expandiu sem controle efetivo, com progressivo aumento da degradação ambiental (Chagas, 2019; Oliveira, 2010). Embora existam estudos sobre mercúrio e metais em regiões próximas, ainda são escassos os dados sobre a qualidade das águas que drenam próximas da comunidade.

Assim, este estudo buscou avaliar preliminarmente as concentrações de alguns metais potencialmente tóxicos e de radônio em águas superficiais e subterrâneas no entorno comunidade do Lourenço, visando contribuir para o entendimento dos riscos ambientais e de exposição humana associados à atividade garimpeira.

MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Area de estudo

A pesquisa foi realizada no Distrito do Lourenço, localizado a aproximadamente 80 km a oeste da sede do município de Calçoene, no centro-norte do estado do Amapá, em uma área situada nas proximidades da nascente do rio Cassiporé, na Serra Lombarda. Segundo o IBGE (2019), o distrito possui uma área territorial de 5.576,9 km². Já o Censo Demográfico de 2022 registrou uma população de 2.371 habitantes (IBGE, 2024). Trata-se de uma comunidade isolada e dependente exclusivamente de atividades ligadas à mineração artesanal (Figura 1).

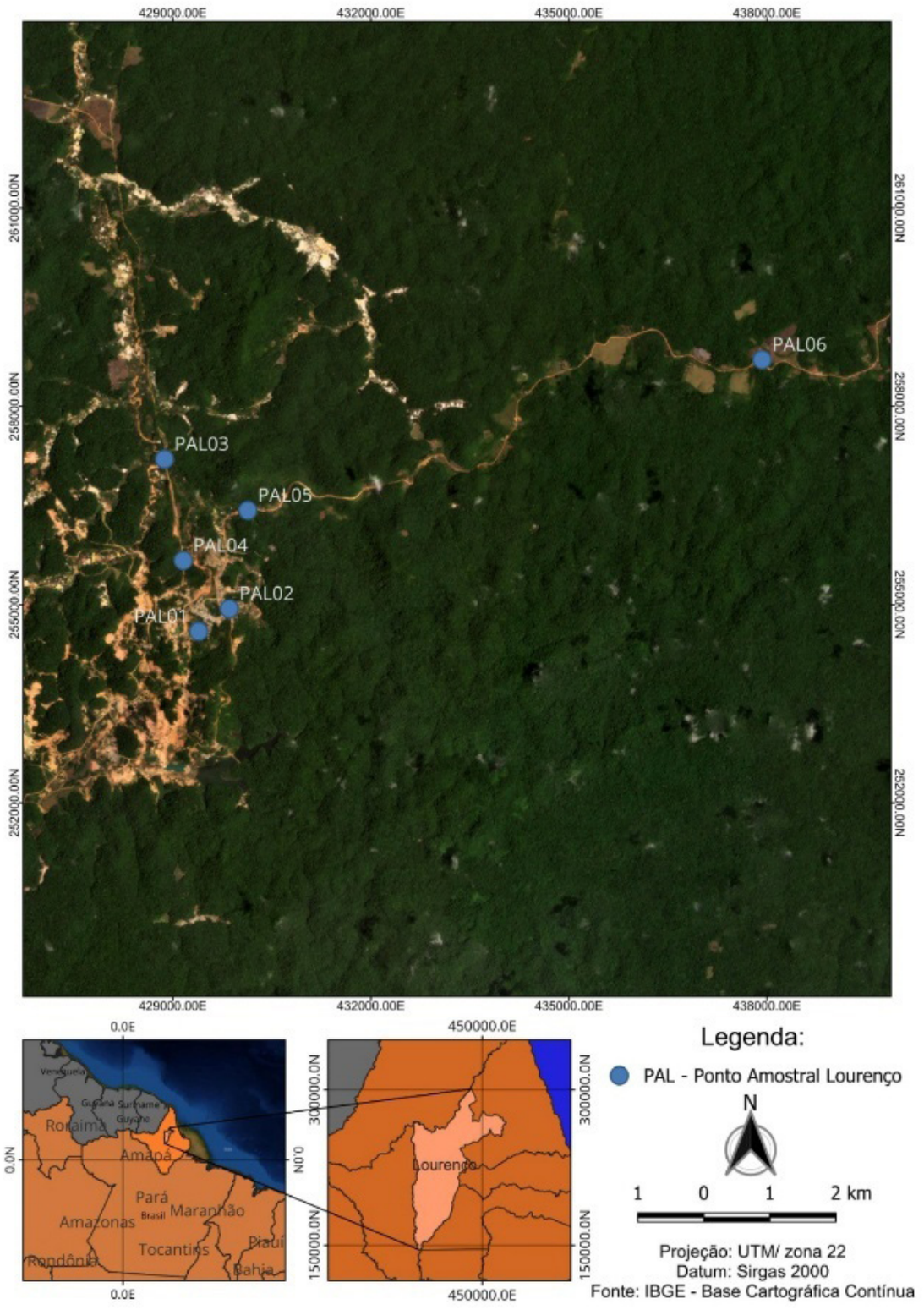


Figura 1 – Mapa de localização e pontos de coleta de água no Distrito de Lourenço, Calçoene, Estado do Amapá.

Procedimentos Metodológicos

Procedeu-se a coleta de água em seis pontos próximos da comunidade do Distrito de Lourenço, sendo que em quatro também para análise radiogênica. Os pontos 1, 3, 4, 5 e 6 correspondem a corpos d'água superficiais, enquanto o ponto 2 refere-se à água subterrânea destinada ao consumo humano. É importante mencionar que, apesar de estar no período de estiagem, houve intensa precipitação no dia anterior à amostragem. Para as análises físico-químicas, utilizou-se garrafas plásticas de 0,5 litros previamente lavadas, enquanto recipientes de vidro foram usados para as amostras de água destinadas à avaliação radiogênica. Todos os procedimentos de coleta seguiram os padrões estabelecidos. No caso dos parâmetros físico-químicos as análises foram realizadas no Laboratório de Química, Saneamento e Modelagem Ambiental (LABQSAMB) da UNIFAP. As amostras de água foram preservadas e sua qualidade química seguindo os procedimentos recomendados pelo *Standard Methods for the Examination for Water and Wastewater* (APHA, 2017). Para análise de metais e cor foi utilizado o equipamento Espectrofotômetro HACH, DR3900. Para os demais parâmetros, um pHmetro (Hach HQ4300) e um turbidímetro (Akso Turbimax).

As amostras do radônio foram analisadas no Laboratório de Fundamentos de Engenharia e Meio Ambiente (LAFEM), por intermédio de uma unidade portátil da Durridge Co – RAD7, com acessório para medições de concentração em água. Sendo calculada a concentração inicial de ^{222}Rn no momento da amostragem com aplicação da equação do decaimento radioativo.

RESULTADOS

A Tabela 1 mostra os resultados obtidos para as análises dos teores de metais e dos parâmetros físico-químicos, os quais foram comparados com os valores máximos permitidos pela legislação ambiental brasileira vigente para o enquadramento como águas superficiais de classe 2, conforme a Resolução CONAMA 357/2005(BRASIL, 2005). Somente o ponto P3 apresentou inconformidades em relação à cor verdadeira: 1165 mg pt/L, e turbidez: 1918 UNT. Os valores de pH abaixo do valor mínimo permitido (6,0) foram detectados em amostras de três pontos: P1, P2 e P4, variando de 5,56 a 5,89. A água analisada no ponto P2 (Tabela 2), proveniente de fonte subterrânea teve seus resultados comparados com os valores máximos permitidos (VMP) para potabilidade com base na Portaria GM/MS nº 888/2021. Já na tabela 3, é possível verificar que as concentrações de radônio variaram amplamente entre os pontos analisados: de 112,68 ± 78,2 a 4473,71 ± 2871,5. P1, P5 e P6 registraram concentrações bem baixas, contudo, P4 foi cerca de 15 vezes maior que o a segunda maior concentração, o que chama atenção. Ainda que se pondere que esteja abaixo da concentração máxima permitida pela EPA (1999).

Pontos	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Cor	26	14	**1165**	51	68	73
Turbi-dez	38,7	1,98	**1918**	15,9	3,74	6
pH	**5,89**	**5,56**	6,84	**5,64**	6,89	6,98
Al	0	0,015	0	0,006	0,003	0,013
Cu	0	**0,02**	**3,63**	**0,08**	**0,03**	**0,02**
Cr	0	0,012	0	0	0,007	0,013
Fe	**4,08**	0,01	**4,18**	**3,27**	**0,38**	0,28
Mn	**0,567**	0,056	**2,492**	**0,247**	0,081	0,054

Tabela 1 – Resultados dos parâmetros físico-químicos e metais nas amostras de água superficial. Nota: Cor verdadeira (mg Pt/L), Turbidez (UNT); Al, Cu, Cr, Mn e Mn (mg/L). Obs. Inconformes são destacados em negrito.

Ponto	P2	VMP*
Turbidez (UNT)	1,98	5
pH	**5,56**	6 – 9
Al (mg/L)	0,015	0,2
Cu (mg/L)	0,02	2
Cr (mg/L)	0,012	0,05
Fe (mg/L)	0,01	0,3
Mn (mg/L)	0,056	0,1

Tabela 2 – Parâmetros de potabilidade da amostra de água subterrânea do ponto P2, com base na Portaria GM/MS nº 888/2021 (BRASIL, 2021). Obs. Inconforme destacado em negrito.

Pontos	Concentração de radônio ($Bq \cdot m^{-3}$)
P1	112,68 ± 78,2
P4	4473,71 ± 2871,5
P5	280,26 ± 135,09
P6	115,81 ± 115,21

Tabela 3 – Concentração de radônio (^{222}Rn) nas amostras de água coletadas no Lourenço.

DISCUSSÕES

Os principais parâmetros físico-químicos e metais com inconformidades foram em ordem decrescente: o cobre, ferro e manganês, além da turbidez, cor real e pH em alguns pontos.

A concentração de cobre acima do limite foi detectada em cinco dos seis pontos, alcançando no ponto P3 o valor de 3,63 mg/L (400 vezes superior ao VMP). Teores de ferro também foram altos em quatro pontos, com destaque para o P3 (4,18 mg/L). O manganês, por sua vez, ultrapassou o padrão em três pontos, especialmente em P3,

que também teve valores elevados para cor verdadeira e turbidez, corroborando com achados de Takiyama (2012) que detectou valores de turbidez acima de 1000 UNT, em cursos d'água a jusante na mesma bacia. Ressalta-se que esse ponto, o curso d'água apresentava intenso carreamento de sedimentos em função das fortes chuvas.

As alterações nesses metais corroboram com Muniz e Oliveira-Filho (2006), quanto ao favorecimento de mobilização pela água destes a partir de rejeitos de mineração.

Os resultados de pH foram pouco abaixo do ideal em três pontos. Destaca-se P2, cuja água subterrânea é usada para consumo e obteve o pH 5,56, inconforme para potabilidade (Tabela 2). Contudo, tal caráter ácido é comum como corroborado por Silva, Barbosa e Silva (2018) em estudo exploratório sobre águas subterrâneas de Macapá – Amapá.

No caso do radônio, nenhuma amostra excedeu 11,1 $kBq \cdot m^{-3}$, limite internacional estabelecido pela EPA (1999) para águas potáveis. O ponto P4 teve a maior concentração, mas menos da metade do valor máximo permitido. As concentrações obtidas são semelhantes às encontradas em minas subterrâneas brasileiras por De Oliveira Santos *et al*. (2019) e em áreas garimpeiras de Seridó por Catão (2023). Contudo, são derivadas de análises realizadas em concentração no ar, o que não permite uma comparação entre os resultados.

Observou-se forte correlação entre os elevados valores de radônio e os teores de cobre e manganês, especialmente em P4 (Tabela 4). O ferro apresentou correlação moderada (r = 0,46), enquanto alumínio e cromo não revelaram associação clara. Isso reforça a hipótese de que fatores geoquímicos ou litológicos locais podem estar influenciando na presença conjunta desses elementos, necessitando de novos estudos.

	P1	P4	P5	P6
Rn ($Bq \cdot m^{-3}$)	112,68	**4473,71**	280,26	115,81
Fe (mg/L)	4,08	**4,18**	3,27	0,28
Mn(mg/L)	0,567	**2,492**	0,247	0,054
Cu(mg/L)	0	**3,63**	0,08	0,02
Al (mg/L)	0	0	0,006	0,013
Cr (mg/L)	0	0	0	0,013

Tabela 4 – Comparação entre concentrações de radônio (^{222}Rn) e teores de metais nas amostras analisadas.

CONCLUSÕES

O resultado das análises de metais e parâmetros físico-químicos revelou inconformidades em diversos pontos de coleta. Registrou-se teores anormais de cobre, ferro, manganês. Alteração de cor e turbidez em apenas um ponto (P3), justificada pelo carreamento de sedimentos promovido por chuvas recentes. Em metade das amostras o pH estava abaixo do padrão. As concentrações de radônio (^{222}Rn), permaneceram dentro dos limites de segurança internacionalmente aceitos e mostram correlação com valores de cobre e manganês, sugerindo possível mobilização conjunta por fatores geológicos

e antrópicos. Esses resultados ainda que preliminares reforçam a importância de mais pesquisas, as quais possam subsidiar ações de monitoramento contínuo e controle da qualidade da água na região.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amapá (FAPEAP) pelo apoio financeiro ao projeto "Diagnóstico do Setor Garimpeiro do Distrito do Lourenço", que possibilitou a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Public Health Association (APHA). (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (23rd ed.). APHA.

Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). (2005). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. *Diário Oficial da União*, seção 1, n. 53, p. 58–63.

Brasil. Ministério da Saúde. (2021). Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. *Diário Oficial da União*, seção 1, n. 82, p. 88–94.

Catão, R. de L. C. M. do Rêgo. (2023). *Avaliação do risco radioativo por níveis de radônio-222 no ar de garimpos e ambientes internos de residências no Seridó Paraibano* (Tese de Doutorado). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB.

Chagas, M. A. (2019). A geopolítica do garimpo do Lourenço, norte do Amapá: trajetória, contradições e insustentabilidade. *Boletim Goiano de Geografia, 39*(1), 1–18.

Cozendey, G., e Chiavari, J. (2025). *Garimpo legal do ouro na Amazônia: recomendações para um adequado controle dos impactos socioambientais*. Climate Policy Initiative.

Da Silva, L. P., Barbosa, J. P., e da Silva, G. A. (2018). Análise exploratória de dados da qualidade da água de poços amazonas na cidade de Macapá, Amapá, Brasil. *Águas Subterrâneas*, *32*(1), 43–51. https://doi.org/10.14295/ras.v32i1.28941

De Oliveira Santos, T., Rocha, Z., Vasconcelos, V., Cruz, P. R., Gouvea, V. A., Siqueira, J. B., e Oliveira, A. H. (2015). Estudo sobre o radônio em minas subterrâneas brasileiras. *Águas Subterrâneas*. https://doi.org/10.14295/ras.v0i0.29690

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2019). *Geociências*. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2024). *Censo 2022: Dados agregados por distritos – cor ou raça – Calçoene*. Disponível em: https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/downloads.html?localidade=BR

International Agency for Research on Cancer (IARC). (2012). *A review of human carcinogens: Radiation* (Vol. 100D). IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans.

Intergovernmental Forum on Mining, Minerals, Metals and Sustainable Development (IGF). (2017). *Global trends in artisanal and small-scale mining (ASM): A review of key numbers and issues*. IISD.

Muniz, D. H. F., e Oliveira-Filho, E. C. (2006). Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente. *Universitas: Ciências da Saúde, 4*(1/2), 83–100. https://doi.org/10.5102/ucs.v4i1.191

Oliveira, M. J. (2010). *Mineração e desenvolvimento local: Benefícios e desafios aos municípios amapaenses* (Tese de Doutorado em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido). Universidade Federal do Pará, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Belém, PA.

Takiyama, L. R. (2012). Recursos hídricos do Módulo IV – FLOTA. In *Anais do Workshop do Projeto REED+FLOTA* (2., Macapá).

United States Environmental Protection Agency (EPA). (1999). National primary drinking water regulations; Radon-222. *Federal Register, 64*(211), 59246–59378.

World Health Organization (WHO). (2009). *Handbook on indoor radon: A public health perspective* (H. Zeeb e F. Shannoun, Eds.). WHO Press.

A OBSOLESCÊNCIA PROGRAMADA E SEUS IMPACTOS AO AMBIENTE NA ATUALIDADE

Karoline Veloso Silva[1]; Camila Mattos Ribeiro[1]; Jessyka dos Santos Pereira[1]; Juliana Rosas Corrêa[1]; Lena Simone Barata Souza[1]

[1] **Universidade Federal de Roraima**

karoline.veloso@hotmail.com; camilamattosribeiro@gmail.com; julicorrea0321@gmail.com; jessykadsp@homail.com; lenabarata@yahoo.com.br

RESUMO

Desde a Revolução Industrial até os dias atuais, a relação entre consumo e meio ambiente tem se revelado frágil. Nesse contexto, a obsolescência programada emerge como uma estratégia do capitalismo para reduzir artificialmente a vida útil dos produtos, estimulando o consumo e, consequentemente, aumentando a geração de resíduos sólidos urbanos. O objetivo deste trabalho foi analisar os aspectos sociais e ambientais relacionados à obsolescência programada, com ênfase em seus impactos sobre a sustentabilidade. A pesquisa foi desenvolvida pelo método dedutivo, a partir de revisão bibliográfica em livros, artigos, periódicos e documentos técnicos. Os resultados evidenciam que a obsolescência programada intensifica o consumismo, acelera o descarte de bens e agrava problemas ambientais, como a poluição do solo e da água, além de favorecer a proliferação de vetores de doenças. Conclui-se que harmonizar consumo e meio ambiente requer ampliar a durabilidade dos produtos, implementar políticas públicas eficazes de gestão de resíduos e promover a educação ambiental, de modo a viabilizar um desenvolvimento sustentável.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos Sólidos; Consumismo; Sustentabilidade; Ambiente.

INTRODUÇÃO

A Revolução Industrial representa um marco fundamental na história da modernização, caracterizado pelo processo de produção em massa e pelo avanço tecnológico, que acarretaram profundas transformações sociais, econômicas e ambientais, além de consolidar o capitalismo industrial (Natal, 2020). Nesse contexto, a obsolescência programada surgiu como uma estratégia desse sistema, estimulando a população a consumir cada vez mais de forma inconsciente e desenfreada (Pereira *et al*., 2017). Uma das consequências desse artifício é o aumento da produção de resíduos sólidos, desde a extração da matéria-prima e a fabricação de bens até o seu descarte final.

A problemática dos resíduos sólidos está relacionada ao seu gerenciamento inadequado, o qual pode provocar sérios impactos ambientais e riscos à saúde pública. Entre esses efeitos negativos, destacam-se a poluição do solo, da água (superficial e

subterrânea) e do ar, bem como a proliferação de vetores transmissores de doenças, comprometendo a qualidade de vida da população. Essa realidade contraria os princípios estabelecidos pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (Silva, 2022; Silva; Souza, 2023).

Nessa perspectiva, o objetivo deste trabalho foi analisar os diferentes aspectos relacionados à obsolescência programada e compreender como esse fenômeno transformou a sociedade moderna e o meio ambiente, destacando os impactos decorrentes da produção excessiva de resíduos sólidos e de seu descarte inadequado.

MATERIAIS E MÉTODOS

Como suporte metodológico para o desenvolvimento desta pesquisa, utilizou-se o método de abordagem dedutivo, complementado por revisão de literatura. Foram consultados livros, artigos, periódicos e *sites* relacionados à temática, com o intuito de compreender a interação da obsolescência programada e seus impactos negativos sobre o ambiente, decorrentes da produção exacerbada de resíduos sólidos e de sua destinação inadequada.

RESULTADO E DISCUSSÃO

A origem e evolução da obsolescência programada

A obsolescência programada surgiu como estratégia econômica ainda no início do século XX, inicialmente no setor de lâmpadas, por meio do cartel *Phoebus*, que reduzia deliberadamente a vida útil das lâmpadas para estimular o consumo (Zanatta, 2013).

Em 1929, Bernard London formalizou a proposta como medida para combater a crise econômica, defendendo a definição da vida útil de bens já no momento de sua produção, sua ideia incluía até mesmo um sistema em que os consumidores devolveriam produtos obsoletos a uma agência governamental, recebendo um valor de troca para aquisição de novos bens (Pereira *et al.,* 2017; Cornetta, 2016). Posteriormente, o conceito ganhou força com o artigo "*Ending the Depression Through Planned Obsolescence*" (1932), de London, e consolidou-se no período pós-Segunda Guerra Mundial, quando a industrialização buscava sustentar o crescimento econômico (Rossini e Naspolini, 2017).

Além da forma técnica, também se desenvolveu a obsolescência perceptiva, estimulada por propagandas que despertam nos consumidores o desejo por novos produtos antes mesmo do fim da vida útil dos antigos. Atualmente também pode-se citar o avanço tecnológico, a forma que novos produtos e mais avançados chegam cada vez mais rápido no mercado.

Obsolescência programada, consumismo e impactos ambientais

O crescimento da produção industrial iniciado na Revolução Industrial foi determinante para a consolidação da lógica de consumo que sustenta a obsolescência programada. Até o século XVIII, os bens eram produzidos artesanalmente e consumidos

localmente, em estreita relação com a natureza (Silva, 2024). Com o avanço das máquinas e da industrialização, houve intensa migração de trabalhadores do campo para as cidades, onde perderam o controle sobre os meios de produção e sobre os lucros, passando a se inserir em novas funções dentro do sistema fabril (Landes, 2005).

Esse processo alterou profundamente as relações entre sociedade e natureza, inaugurando uma nova Era marcada pela exploração intensa de recursos naturais e pela especialização do espaço produtivo (Claval, 2007). A cultura de consumo consolidada após a Revolução Industrial foi intensificada pela obsolescência programada, convertendo o consumo em consumismo, conforme observa Bauman (2008). Tal lógica promove o uso excessivo de recursos naturais e amplia a geração de resíduos sólidos (Costa *et al.,* 2018).

Estima-se que o mundo produza cerca de 2 bilhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos por ano. Só a América do Sul produziu aproximadamente 231 milhões de toneladas em 2016, revelando as dificuldades estruturais de gestão enfrentadas na região, como a persistência de lixões a céu aberto e as baixas taxas de reciclagem (Morais *et al.,* 2021), sendo o Brasil um dos maiores geradores (Kaza *et al.,* 2018). Visto que, segundo a ABRELPE (2021), no país, grande parte desses resíduos ainda é destinada a lixões e aterros controlados, considerados práticas inadequadas que geram impactos negativos ao ambiente.

Estudos como os de Souza *et al.,* (2021) e Correia *et al.,* (2019) demonstram que essas formas de disposição resultam em poluição do solo, da água e do ar. A problemática é ainda mais evidente em municípios da Amazônia, como apontam Silva (2022) e Silva e Souza (2023), que identificaram deficiências estruturais na gestão dos resíduos em Roraima.

Observando diretamente a questão da obsolescência programada, o descarte dos resíduos gerados de eletrodomésticos, por exemplo é ainda mais prejudicial, visto o baixo índice de reciclagem destes e dos componentes eletrônicos empregados em sua fabricação, que podem incluir metais pesados, os quais são nocivos a saúde e contaminam o meio ambiente.

Esse cenário reforça a necessidade urgente de políticas de logística reversa mais efetivas, capazes de responsabilizar os fabricantes pela destinação final de seus produtos. Sem isso, os resíduos eletroeletrônicos continuarão a se acumular de forma descontrolada, representando um passivo ambiental de longo prazo que compromete tanto o solo quanto a saúde das comunidades expostas.

Obsolescência programada, resíduos sólidos e os desafios para a sustentabilidade

A obsolescência programada intensifica a geração de resíduos ao reduzir artificialmente a vida útil dos produtos, criando um ciclo contínuo de compra, descarte e substituição. Esse processo contribui diretamente para a sobrecarga dos sistemas de gerenciamento de resíduos, já que produtos descartados precocemente aumentam o volume de rejeitos enviados a lixões e aterros controlados, práticas ainda comuns no Brasil (Souza *et al.,* 2021; Correia *et al.,* 2019).

O acúmulo inadequado desses materiais favorece a contaminação do solo e das águas pelo chorume, líquido originado da decomposição de resíduos, o qual possui alta carga poluidora, contendo substâncias sulfonadas, nitrogenadas e cloradas que comprometem solos e águas subterrâneas (Silva, 2022). Além disso, tais locais tornam-se ambientes propícios à proliferação de vetores de doenças, comprometendo a saúde pública e a qualidade de vida das populações próximas (Bacha *et al.,* 2021; Garcia *et al.,* 2015).

Esse vínculo entre resíduos e saúde pública revela que a obsolescência programada não é apenas uma questão de consumo, mas também de justiça social. Populações mais vulneráveis, que vivem próximas a lixões e aterros irregulares, são as mais afetadas por doenças e degradação ambiental, ampliando desigualdades já existentes.

Esse quadro revela que a obsolescência programada não apenas fomenta o consumismo, mas também amplifica os impactos ambientais e sociais da má gestão de resíduos.

É importante lembrar que esse cenário contraria princípios internacionais já consolidados, como a Conferência de Estocolmo de 1972 que reconheceu o direito humano a um meio ambiente de qualidade, e a Constituição Federal de 1988, em seu art. 225, assegura a todos o direito fundamental a um ambiente ecologicamente equilibrado. Entretanto, como observa Zanatta (2013), a lógica da obsolescência programada caminha em sentido oposto, promovendo desperdício de recursos e intensificação da degradação ambiental.

Esse contraste evidencia que, embora o arcabouço legal e internacional já reconheça a centralidade da sustentabilidade, na prática o modelo econômico vigente ainda privilegia o lucro imediato em detrimento da preservação ambiental. Tal descompasso entre normas e realidade demonstra a dificuldade de transformar compromissos políticos em ações efetivas, sobretudo em países como o Brasil, onde a fiscalização é frágil e a pressão de mercado é intensa

Nesse contexto, torna-se fundamental ampliar a durabilidade dos produtos e adotar práticas de produção compatíveis com o conceito de desenvolvimento sustentável, originado ainda na década de 1970 com a proposta de ecodesenvolvimento. Como reforça Hoch (2016), conciliar consumo e preservação ambiental passa necessariamente pela educação ambiental e pela mudança nos padrões de consumo, de forma a atender às necessidades atuais sem comprometer as gerações futuras.

Ao priorizar a redução da durabilidade dos bens em nome do lucro imediato, o sistema produtivo ignora os princípios de sustentabilidade e contraria os compromissos internacionais assumidos pelo Brasil, como os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. Para Hoch (2016), enfrentar essa realidade exige mudanças estruturais, como a adoção de políticas de consumo sustentável, a ampliação da logística reversa e a valorização do design ecológico.

Do mesmo modo, Zanatta (2013) defende que prolongar a vida útil dos produtos é medida essencial para reduzir o desperdício de recursos e os danos ambientais. Assim, repensar o modelo de produção e consumo é condição indispensável para transformar a obsolescência programada em oportunidade de inovação.

É preciso políticas públicas que fortaleçam a preservação e conservação do meio ambiente, estimulando as empresas a adotarem práticas sustentáveis. Visto o avanço tecnológico e a rapidez que novos produtos são lançados, estes estão ficando obsoletos ainda nas prateleiras das lojas, é preciso frear a alta produção e estimular o consumo consciente.

CONCLUSÕES

A atividade industrial contemporânea com o objetivo de atender as necessidades do capitalismo e da sociedade consumista alcançou níveis de produção jamais vistos, utilizando-se para isso diversas estratégias, como a obsolescência programada, que induz o cidadão a comprar, descartar e comprar novamente, pois as empresas programam a vida útil dos produtos para incentivar a aquisição de novos em médios e curtos prazos.

Esse ciclo vicioso anda em sentido contrário ao de sustentabilidade, uma vez que o ritmo acelerado de produção e descarte gera cada vez mais a exploração de recursos naturais e eleva a produção de resíduos sólidos.

A grande problemática quanto ao excesso de resíduos sólidos é a sua destinação, pois, pode causar contaminação dos solos e de águas superficiais e subterrâneas, devidos a infiltração do chorume, além de ser um ambiente propício a proliferação de vetores de doenças que acometem seres humanos e animais.

Nesse contexto, torna-se imprescindível harmonizar o consumo e meio ambiente. Para isso, é necessário minimizar os impactos causados pela produção exagerada de bens, aumentando a durabilidade dos produtos, bem como sensibilizando a sociedade em relação ao consumo e descarte de lixos e resíduos sólidos.

Torna-se ainda, essencial as ideias de desenvolvimento e consumo sustentáveis, bem como a de educação ambiental, com a finalidade de garantir um meio ambiente ecologicamente equilibrado para as presentes e futuras gerações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amora, A. S. (2020). Minidicionário Soares Amora da língua portuguesa. 9. ed. Saraiva, São Paulo.

Associação brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais (2021). Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil. Disponível em: <www.abrelpe.org.br>

Bacha, D.C.S., Santos, S., Mendes, S. A., Rocha, C. C. S. (2021). Evaluation of the contamination of the soil and water of an open dump in the Amazon Region, Brazil. *Environmental Earth Sciences*, 80, 1-12.

Bauman, Z. (2008). Vida para Consumo: a transformação das pessoas em mercadoria, 1. ed. Zahar, São Paulo.

Brasil. (1988). Constituição da República Federativa do Brasil: texto constitucional promulgado em 1988. Diário Oficial da União, Brasília.

Brasil. (2010). Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 998, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília.

Claval, P. A. (2007). Geografia cultural. 3. ed. Editora da UFSC, Santa Catarina.

Cornetta, W. (2016). A obsolescência como artifício usado pelo fornecedor para induzir o consumidor a realizar compras repetitivas de produtos e a fragilidade do CDC para combater esta pratica. Tese de doutorado, Universidade Católica de São Paulo. São Paulo, 187p

Costa, B. S., Diz, J. B. M., Oliveira, M. L. (2018). Cultura de consumismo e geração de resíduos. *Revista Brasileira de Estudos Políticos*, 116, 159-183.

Corrêia, R.B. Passos, B. V., Rodrigues, D. J. D., Nardez, E., Camargo, I. F., Oliveira, M. B. (2019) Aterro Controlado Em Presidente Prudente (SP). *Revista Geografia em Atos, Presidente Prudente*, 07, 203-221.

Garcia, M. B., Neto, J. L., Mendes, J. G., Xerfan, F, M. F. (2015). Resíduos sólidos: responsabilidade compartilhada. *Semioses,* 9,77-91.

Hoch, P. A. (2016). A obsolescência programada e os impactos ambientais causados pelo lixo eletrônico: o consumo sustentável e a educação ambiental como alternativas. In: XII Seminário Nacional Demandas Sociais e Políticas Públicas na Sociedade Contemporânea, Rio Grande do Sul.

Kaza, S., Acidente, S. Y., Lisa C. Perinaz B. T., Frank, V. W., (2018). What a Waste 2.0 A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. World Bank Group. World Bank Group, Washington

Landes, D. (2005). Prometeu desacorrentado: transformação tecnológica e desenvolvimento industrial na Europa ocidental, de 1750 até os dias de hoje, 2. ed. Elsevier, Rio de Janeiro.

Morais, M. S., Protásio, J. R., Ventura, K. S. (2021). Análise da Gestão de Resíduos Sólidos Durante a Pandemia da Covid-19 em Países da América do Sul. In: Congresso Latino Americano de Desenvolvimento Sustentável, online.

Natal, J. O. (2020). Desenvolvimento brasileiro ressente: da crítica econômica política ao planejamento urbano e regional crítico. 1. ed. Letra Capital, Rio de Janeiro.

Pereira A. M., Nakanome, E. T. R, Lima, F. B., Nakanome, A. F. M. (2017). Obsolescência programada e avanço tecnológico no mercado de celulares. *in*: encontro nacional de engenharia de produção, Joinville.

Rossini, V. e Naspolini, S. H. D. F. (2017). Obsolescência programada e meio ambiente: a geração de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos. *Revista de Direito e Sustentabilidade*, 3, 51-71.

Silva, K. V. e Souza, L. S. B. (2023). Índice de qualidade de aterros de resíduos-IQR valas/lixões nos municípios do estado de Roraima, Amazônia ocidental, Brasil. *Geográfica Acadêmica*,7, 159-180.

Silva, K. V. (2022). Cenário ambiental, estrutural e legislativo das áreas de disposição de resíduos sólidos dos municípios no estado de Roraima. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 1120p.

Silva. H.B.T. (2024). Capitalismo humanista: uma alternativa em prol da dignidade humana. *Revista Contribuciones a las ciencias sociales*, 17, 1-17.

Souza, E. F., Bezerra, J. M., Lopes, J. R. A. (2021). Avaliação do índice de qualidade do vazadouro a céu aberto de bom sucesso-PB. *Revista de Geografia,* 38, 284 - 304.

Zanatta, M. A. (2013). Obsolescência programada sob a ótica do direito ambiental brasileiro. *Acadêmica de Ciências Jurídicas e Sociais da Faculdade de Direito da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul,* 38, 284 - 304.

DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS/RURAIS NO EXTREMO NORTE DO ESTADO DE RORAIMA: MUNICÍPIO DE UIRAMUTÃ

Karoline Veloso Silva[1]; Lena Simone Barata Souza[1]

[1] Universidade Federal de Roraima-UFRR

karoline.veloso@hotmail.com; lenabarata@yahoo.com.br

RESUMO

Entre os objetivos do desenvolvimento sustentável destaca-se a meta de reduzir a geração de resíduos, bem como fomentar práticas de prevenção, reutilização e reciclagem de materiais. A Política Nacional de Resíduos Sólidos estabelece como destinação final ambientalmente adequada a utilização de aterros sanitários, entretanto, os municípios de pequeno porte enfrentam dificuldades na implementação dessas obras de engenharia. O município de Uiramutã, situado no extremo norte do estado de Roraima, é um exemplo dessa realidade. A área oficialmente designada para a disposição final dos resíduos corresponde a uma voçoroca, condição que potencializa os riscos de contaminação. Ademais, não são observados os parâmetros mínimos previstos nas normativas regulamentadoras, como o isolamento físico e visual da área, a adequada organização dos resíduos, a implantação de sistemas de drenagem e o controle da presença de animais, configurando, assim, a caracterização do local como um lixão.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos sólidos; Voçoroca; Aterro sanitário; Roraima.

INTRODUÇÃO

A Organização das Nações Unidas (ONU) instituiu um conjunto de 17 objetivos globais, denominados Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), concebidos com a finalidade de enfrentar de maneira integrada e sistêmica os principais desafios socioambientais e econômicos do mundo. Os ODS 12 e 13 estabeleceram como metas a redução da geração de resíduos, bem como a reutilização e à reciclagem de materiais. Nesta perspectiva, a gestão dos resíduos sólidos adquire mais relevância, uma vez que sua inadequada gestão gera impactos negativos expressivos.

No contexto brasileiro, a questão apresenta contornos complexos. A Lei Federal nº 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), define os aterros sanitários como a forma ambientalmente adequada de destinação final dos resíduos sólidos urbanos. Todavia, a efetiva implementação dessas estruturas de engenharia mostra-se desafiadora nos pequenos municípios, sobretudo em função da insuficiência

de recursos técnicos, financeiros e administrativos, conforme apontado por Peralta e Antonello (2015). O município de Uiramutã, situado no extremo norte do estado de Roraima, insere-se nesse contexto crítico de vulnerabilidade institucional e operacional.

Diante desse cenário, a pesquisa teve como objetivo vistoriar e caracterizar a área de disposição dos resíduos sólidos da jurisdição de Uiramutã, aferindo sua conformidade com o que dispõe a PNRS.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o alcance do objetivo proposto, foram realizados levantamentos bibliográficos relacionados à área de estudo, utilizando como fontes livros, artigos científicos, periódicos e plataformas virtuais especializadas.

Adicionalmente, foi conduzida uma visita técnica ao município de Uiramutã/RR, em 07 de abril de 2022 (Figura 1), com a finalidade de inspecionar a área destinada à disposição de resíduos sólidos, oficialmente utilizada pela administração municipal, e avaliar se esta atende aos critérios mínimos estabelecidos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

Como parâmetros observatórios na visita in loco, elaborou-se uma lista de verificação contemplando os seguintes aspectos: (a) isolamento físico e visual da área; (b) organização dos resíduos; (c) sistema de drenagem; (d) presença de catadores; (e) presença de animais; (f) ocorrência de queima de resíduos; (g) proximidade de núcleos populacionais; e (h) proximidade de corpos hídricos. Ademais, foram utilizadas como instrumentos complementares imagens fotográficas e dados de sensoriamento remoto.

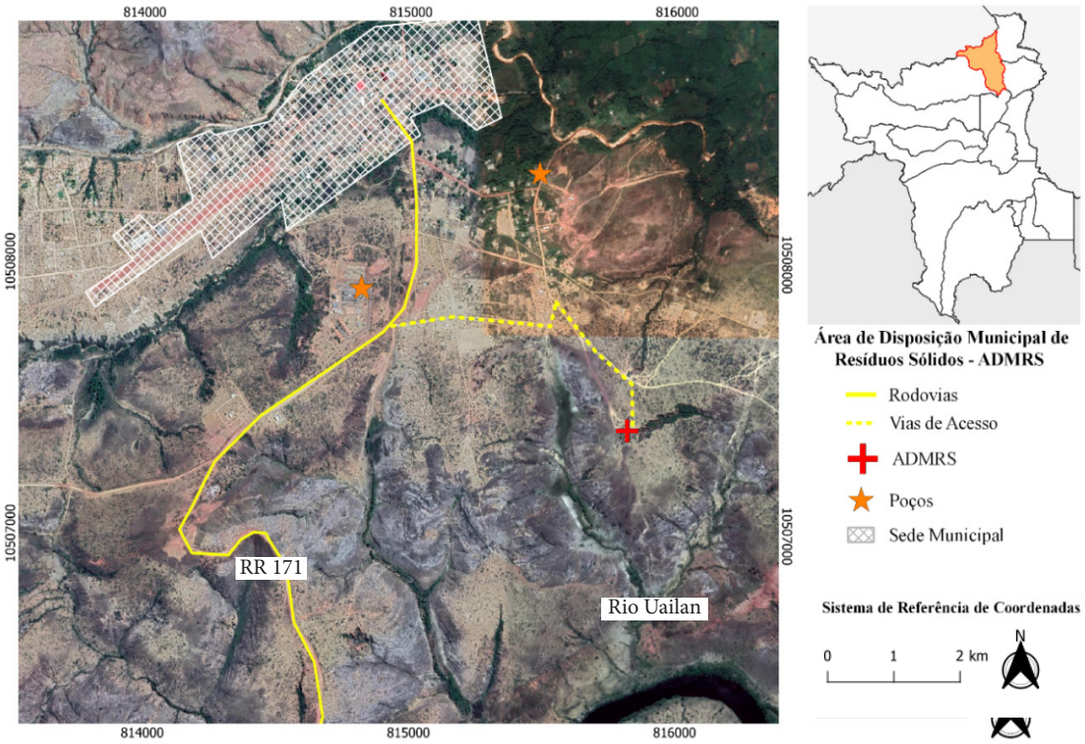


Figura1 - Localização da área de disposição municipal de resíduos do município de Uiramutã/RR.

RESULTADOS

O município de Uiramutã foi instituído pela Lei Federal nº 98/1995, que desmembrou terras dos municípios de Boa Vista e Normandia. Localiza-se no extremo norte do estado de Roraima, é predominante por reservas indígenas, contemplando aproximadamente 97,96% de sua área total.

Seus limites territoriais abrangem a República Bolivariana da Venezuela, a República Cooperativista da Guiana e os municípios de Pacaraima e Normandia (Freitas, 2017).

O sítio de estudo compreende a área oficialmente designada para a disposição final dos resíduos, que se situa a 1,30 km em linha reta da sede municipal, sob as coordenadas geográficas 4° 35′ 4,59″ N, 60° 9′ 13,73″ O (Figura 1).

De acordo com o Plano de Desenvolvimento Sustentável, elaborado em 2004 pelo Ministério da Defesa, esse local vem sendo utilizado pelo município há mais de 18 anos. Conforme relatado por Silva (2022) e por Silva e Souza (2023), nesse espaço são destinados apenas os resíduos provenientes da sede municipal, coletados três vezes por semana, no período matutino. As comunidades circunvizinhas, por sua vez, ainda utilizam a técnica da incineração como forma de disposição final (Figura 2a).

Verificou-se que os resíduos dispostos no local são predominantemente classificados como resíduos sólidos urbanos de origem domiciliar, compostos por embalagens de papelão, materiais plásticos, pneus e orgânico. Por tratar-se de uma área de disposição em profundidade, não foi possível realizar uma análise minuciosa quanto à presença de resíduos de serviços de saúde ou de outros rejeitos considerados ambientalmente inadequados.

A partir da aplicação da lista de verificação, constatou-se que a área em análise não apresenta qualquer forma de isolamento físico, como cercas, muros, guaritas ou sinalização restritiva, permitindo livre trânsito de pessoas (Figura 2b). A disposição dos resíduos ocorre de maneira desordenada, sendo estes simplesmente despejados às margens da formação erosiva classificada por Falcão *et al*. (2019) como voçoroca.

Observou-se que os resíduos não passam por processos de compactação ou recobrimento com substrato, o que favorece a presença de animais, como urubus e roedores, o que demostra a inexistência de técnicas ou critérios operacionais, restringindo-se a prática de mero descarte realizado pelo caminhão coletor (Figura 2c).

Não foram identificados sistemas de drenagem de águas pluviais, tampouco mecanismos de monitoramento das águas subterrâneas. Verificou-se, igualmente, a ausência de qualquer tipo de proteção no solo que impeça a infiltração de lixiviados, assim como de sistema específico para sua drenagem (Figuras 2a-c).

Figura 2 - Caracterização da ADMRS de Uiramutã/RR. (a)Foco que queimada de resíduos (círculo amarelo). (b) Lixo disposto diretamente ao solo, sem nenhuma proteção (c) Caminhão coletar realizando o despejo dos resíduos e presença de aves (polígono amare

Não foram observados catadores atuando na área, nem evidências que indiquem a prática dessa atividade. Constatou-se, entretanto, que a queima de resíduos ocorre de forma recorrente, uma vez que foram encontrados resíduos antigos carbonizados, além de áreas ainda em combustão (Figura 2b).

Quanto à proximidade de núcleos habitacionais, não foram registradas propriedades em um raio inferior a 500 m, tampouco áreas destinadas a atividades agrícolas, pecuárias ou de piscicultura. Da mesma forma, não foram identificados corpos hídricos superficiais em um raio de 200 m da área de disposição dos resíduos. O curso d'água mais próximo, o rio Uailan, encontra-se a aproximadamente 1 km de distância em linha reta (Figura 1).

DISCUSSÕES

A disposição municipal de resíduos sólidos na jurisdição de Uiramutã ocorre em uma voçoroca, feição erosiva linear resultante de processos de erosão associados às características geológicas e geomorfológicas da região, marcada pela presença de rochas areníticas friáveis (Falcão *et al*., 2019). Tais processos erosivos são intensificados, sobretudo, pela concentração das águas pluviais (Falcão *et al*., 2019). E a média pluviométrica do município é de aproximadamente 1.750 mm anuais, com precipitações mais intensas entre os meses de maio e agosto, e períodos de menores índices pluviométricos entre setembro e abril (Falcão; Costa, 2019; Ministério da Defesa, 2004).

Segundo Reis e Chaves (2012), a precipitação pluviométrica, associada à declividade do terreno, intensifica o risco de contaminação ambiental, uma vez que o chorume gerado pode infiltrar-se no solo, atingindo camadas mais profundas até alcançar o lençol freático, ou, dependendo do fluxo superficial das águas pluviais, ser transportado diretamente para as margens do rio.

De modo semelhante, Junqueira *et al*. (2010), ao avaliar a qualidade das águas subterrâneas e superficiais em uma voçoroca utilizada para disposição de resíduos sólidos urbanos no município de Uberlândia, destacaram que a precipitação pluviométrica, a declividade e a elevada permeabilidade dos solos favorecem o deslocamento do chorume e, consequentemente, o aumento da concentração de contaminantes.

As constatações dos autores supracitados corroboram a realidade do município de Uiramutã, onde a combinação entre a elevada pluviosidade e a declividade do terreno favorece o deslocamento e a infiltração do chorume. Essas condições intensificam a vulnerabilidade ambiental da área, evidenciando que a disposição de resíduos sólidos em voçorocas constitui um risco significativo.

A Lei Federal nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelece, em seu artigo 3º, os aterros sanitários como a disposição final ambientalmente adequada para os resíduos sólidos. A concepção, implantação e manutenção dessas áreas devem observar as diretrizes normativas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), como a NBR 8419/1992, que disciplina os procedimentos para a apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos, e a NBR 13896/1997, que estabelece critérios técnicos para o projeto, implantação e operação de aterros sanitários destinados a resíduos não perigosos.

Essas normativas prescrevem, entre outras exigências, que a área destinada à disposição final seja integralmente isolada por meio de cercamento, com portões que restrinjam o acesso de pessoas não autorizadas e animais, além da instalação de sinalização ostensiva contendo advertências, como "PERIGO, NÃO ENTRE". Todavia, tais requisitos não foram constatados no município de Uiramutã/RR. Observou-se que a área permanece acessível a qualquer indivíduo e que os resíduos são dispostos diretamente em voçorocas, sem a adoção de barreiras físicas ou medidas de controle ambiental, o que evidencia a inadequação das práticas locais frente às normativas vigentes.

Conforme a normativas supracitadas, os resíduos sólidos devem ser diariamente recobertos por camadas de argila, de modo a constituir um sistema de drenagem que mitigue a infiltração das águas pluviais no interior do aterro. De acordo com Medeiros *et al*. (2023), a ausência dessa cobertura favorece a ocorrência de impactos ambientais negativos, tais como a contaminação do solo e das águas subterrâneas, além da emissão de odores desagradáveis.

O processo de compactação contribui para a redução do volume dos resíduos, enquanto a cobertura com sedimentos auxilia na diminuição dos odores, evitando, consequentemente, a atração de animais ao local. A presença desses animais em áreas de disposição de resíduos representa um risco sanitário, visto que podem atuar como vetores de enfermidades, a exemplo da dengue, leptospirose e leishmaniose (Alves, 2024).

Considerando tais aspectos, torna-se evidente que a área destinada à disposição de resíduos sólidos no município de Uiramutã encontra-se em desconformidade com as regulamentações ambientais brasileiras. Conforme caracterizado por Silva e Sousa (2023), trata-se de uma prática inadequada, uma vez que configura mera disposição a céu aberto, como também ressaltado por Silva (2022).

CONCLUSÕES

A análise realizada evidenciou que a área destinada à disposição de resíduos sólidos no município de Uiramutã/RR não atende aos requisitos mínimos estabelecidos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos e pelas normas técnicas da ABNT. As observações in loco demonstraram a inexistência de infraestrutura básica, como cercamento, sistemas de drenagem e recobrimento dos resíduos, além da prática recorrente de queima, ausência de compactação e livre acesso de pessoas e animais.

Essas condições configuram a prática de disposição a céu aberto, o que propícia contaminação do solo, das águas subterrâneas e da saúde pública. A vulnerabilidade ambiental é intensificada pelas características geológicas da região, que favorecem a infiltração e o deslocamento do chorume. Diante do exposto, conclui-se que a situação demanda urgência na implementação de soluções técnicas e sustentáveis para a disposição final dos resíduos sólidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves, D. P (2024). Encerramento de lixão e aterro controlado. 1. ed. CNM, Brasília.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1997). NBR 13896: Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação. ABNT, Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1992). NBR 8419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. ABNT, Rio de Janeiro.

Brasil. (2010). Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 998, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília.

Falcão, M. T. e Costa, J. A. V. (2019). Fisiografia da paisagem e suas implicações na geomorfologia da Terra Indígena Raposa Serra do Sol - Uiramutã/Roraima/Brasil. Revista Geonordeste, 1, 43-58.

Falcão, M. T., Silva, K. V., Santos, A. R., e Oliveira, L. M. (2019). Geodiversidade e geoturismo: Estudo das potencialidades do município de Uiramutã - Roraima. In: Encontro de Iniciação Científica Estácio da Amazônia. Estácio, Manaus.

Freitas, A. (2014). História e geografia de Roraima. 9. ed. IAF, Boa Vista.

Junqueira, J. A., Jr. (2010). Qualidade das águas subterrâneas e superficiais numa voçoroca no município de Uberlândia - MG em decorrência da disposição de resíduos sólidos urbanos. In: XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. ABAS, São Luís.

Medeiros, A. M., Santos, R. L., Silva, P. C., e Oliveira, J. F. (2023). Sistema de proteção ambiental em aterros sanitários. Revista Foco Interdisciplinary Studies, 16, 1-21.

Ministério da Defesa. (2004). Plano de desenvolvimento local integrado e sustentável: Município de Uiramutã. Projeto Calha Norte, Brasília.

Peralta, L. R. e Antonello, I. T. (2019). O desafio enfrentado pelos municípios de pequeno porte para atender à Política Nacional de Resíduos Sólidos: O uso do consórcio intermunicipal. In: XI Encontro Nacional da ANPEGE. ANPEGE, Presidente Prudente.

Reis, L. S. e Chaves, L. S. S. (2012). Contaminação do rio Chumucuí por líquidos percolados (chorume) oriundos do lixão da cidade de Bragança, Pará. In: III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. IBEAS, Goiânia.

Silva, K. V. e Souza, L. S. B. (2023). Índice de qualidade de aterros de resíduos - IQR valas/lixões nos municípios do estado de Roraima, Amazônia ocidental, Brasil. *Geográfica Acadêmica*, 7, 159-180.

Silva, K. V. (2022). Cenário ambiental, estrutural e legislativo das áreas de disposição de resíduos sólidos dos municípios no estado de Roraima. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 1120p.

ANÁLISE HISTÓRICA DOS EVENTOS HIDROCLIMÁTICOS EXTREMOS NA CALHA DO RIO NEGRO ENTRE 1980 E 2020

Carlos Kim Taniguchi[1]; Naziano Pantoja Filizola Júnior[1]

[1]Universidade Federal do Amazonas – UFAM

carlos.taniguchi@ufam.edu.br; nazianofilizola@ufam.edu.br

RESUMO

Drenando a porção noroeste do estado do Amazonas se encontra o rio Negro, considerado o sexto maior rio do mundo em descarga líquida (Marinho *et al.,* 2022), com sua bacia se estendo também ao estado de Roraima, totalizando 715.000 km² (Guyot, 1993; Sinha, 2005), que representa cerca de 12% da área total da bacia Amazônica (Frappart, 2005). Os rios que compõem a bacia Amazônica seguem um ciclo hídrico anual, com períodos razoavelmente bem definidos de cheia e estiagem, porém existem variações anômalas desses eventos provocados por eventos climáticos externos, como o *El Niño*, *La Niña* (respectivamente o aquecimento e o resfriamento anômalo das águas do Oceano Pacífico) e a Oscilação Decadal do Pacífico. Esses eventos anômalos de cheias e secas são chamados de eventos hidroclimáticos extremos, os quais são preocupantes sob todas as perspectivas, uma vez que trazem consigo impactos sociais, econômicos e ambientais, impactos esses que são potencializados pela frequência e magnitude que esses eventos vêm ocorrendo. Para realizar a análise desses eventos foi realizado um recorte temporal de quarenta anos, entre 1980 e 2020, foram selecionadas 09 estações hidrológicas distribuídas ao longo e próximas ao rio Negro, os dados hidrológicos foram adquiridos via SO-HYBAM (Hidro Geoquímica da Bacia Amazônica), tratados e normalizados, posteriormente foram elaborados gráficos e tabelas com destaque para os cinco maiores eventos extremos de seca e de cheia, totalizando dez em cada estação. Constatou-se assim que entre 1980-2000 houve uma concentração de 43% dos eventos extremos registrados, sendo 14% de cheias e 29% de secas, enquanto que entre 2001 -2020 36% dos eventos foram de cheias enquanto que apenas 21% dos eventos registrados foram de secas, totalizando 57% dos eventos registrados. Além disso as cheias concentram-se majoritariamente entre junho-julho-agosto enquanto o período de secas é mais abrangente, chegando a variar de setembro à fevereiro.

PALAVRAS-CHAVE: Rio Negro; Eventos Extremos; *El Niño*; *La Niña*.

INTRODUÇÃO

O rio Negro é o sexto maior rio do mundo, além de ser o segundo maior em volume de água, ficando atrás apenas do rio Amazonas, sua bacia tem uma área estimada de 715.000 km² (Guyot, 1993; Sinha, 2005) e dentro do território brasileiro abrange boa parte noroeste do estado do Amazonas e todo o estado de Roraima, a área de estudo do presente trabalho se restringe apenas a calha do rio Negro.

Os rios amazônicos seguem um regime hídrico anual dividido em períodos de cheia e vazante, porém o equilíbrio deste sistema pode ser afetado por eventos hidroclimáticos extremos, atualmente são dois os principais causadores de desequilíbrios desta ordem, o *el niño* e *la niña*, respectivamente, eventos que provocam aquecimento e resfriamento anormal das águas do oceano pacífico, que se traduzem na região amazônica como estiagens e cheias severas. A ocorrências destes eventos climáticos por si só geram consequências, porém ao longo dos anos não só sua intensidade, como sua duração vem aumentando (Marengo et. al., 2011; Marengo & Espinoza, 2016), Rebello (2013) afirma também que eventos climáticos de longa duração também interferem no equilíbrio natural da região Amazônica, como é o caso da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP).

O objetivo do presente trabalho é realizar um levantamento dos eventos hidroclimáticos extremos registrados na calha do rio Negro entre 1980 e 2020, organizando-os e posteriormente realizar análises quanto as suas frequências e magnitudes. A ocorrência dos eventos hidroclimáticos extremos geram uma gama de impactos socioeconômicos e ambientais, portanto é fundamental que sejam estudados e seu funcionamento seja compreendido para que os danos causados por suas ocorrências sejam minimizados.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo do presente trabalho está localizada ao longo da calha do rio Negro no estado do Amazonas, desde o município de São Gabriel da Cachoeira até a confluência com o rio Solimões em Manaus, ao longo desse percurso estão distribuídas nove estações hidrométricas: Cucuí, São Felipe, São Gabriel da Cachoeira, Curicuriari, Tupuruquara, Serrinha, Barcelos, Moura e Manaus.

Os dados hidrométricos foram obtidos via SO-HYBAM em um recorte temporal de 40 anos compreendendo os anos de 1980 até 2020, dados esses que foram validados, organizados e tratados, obtendo-se os valores de máxima, média e mínima para cada mês e ano ao longo da série temporal. Após essa etapa os dados foram normalizados, o resultado foi organizado em gráficos de tendência conforme consta na figura 1, também foram confeccionados gráficos de cotas para cada estação, que representam o comportamento do rio em cada uma das estações ao longo do recorte temporal.

Posteriormente foram elaborados gráficos e tabelas demonstrando os valores de mínimas, médias e máximas anuais para o recorte temporal, a partir desses dados foram separados os cinco maiores eventos de cheias e secas em cada estação, sendo 10 eventos por estação e 90 no total, a partir de então foram separados os eventos que ocorreram antes e depois dos anos 2000, a distribuição pode ser observada na Tabela 1 abaixo:

Tabela 1: Distribuição de eventos extremos antes e depois dos anos 2000.

Tipo de Eventos/Período	Número de Eventos
Secas severas antes dos anos 2000	26
Cheias severas antes dos anos 2000	13
Secas severas após os anos 2000	19
Cheias severas após os anos 2000	32
Total	90

Foi realizado também o mapeamento da distribuição anual dos eventos extremos, os quais demonstram a porcentagem de ocorrência dos eventos de cada tipo ao longo dos meses do ano, conforme pode ser observado na Figura 2.

RESULTADOS

Observando a tabela 1, nota-se que antes dos anos 2000 foram registrados 39 eventos, sendo 26 de seca e 13 de cheia, o que representa 43,3% do total, enquanto que após os anos 2000 temos 51 eventos, sendo 19 de secas e 32 de cheias, representando 56,7% do total. Após os anos 2000 foram registrados 12 eventos proeminentes a mais, um aumento de 13,4% em relação ao recorte de 1980-2000.

Figura 1 – Mosaico de gráficos de tendência para cada estação hidrométrica.

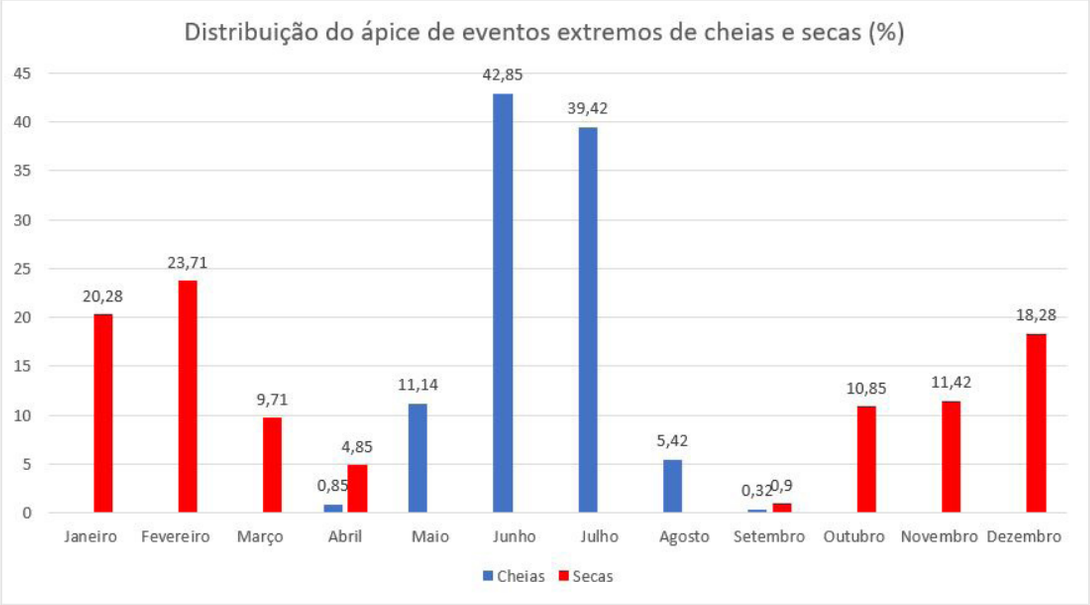


Figura 2 – Distribuição do ápice de eventos extremos ao longo dos meses do ano.

Apesar do aumento significativo de eventos no geral, a quantidade de eventos de secas diminuiu em 26,93%, após os anos 2000, com 7 a menos, por outro lado os eventos de cheia sofreram aumento significativo, com 19 eventos a mais, que representam um aumento de 146,15%. É importante ressaltar que esses eventos são os maiores expoentes de cada estação, portanto não representam individualmente eventos hidroclimáticos extremos, esses eventos estão distribuídos ao longo de 26 anos do total de 40 do recorte temporal, na Tabela 2 foram organizados os anos de ocorrência dos eventos da seguinte maneira: eventos que apresentam registro em pelo menos 5 das 9 estações hidrométricas e os que apresentam registro em 4 ou menos.

Tabela 2: Anos de ocorrência de eventos extremos por tipo de evento e registro em estações hidrométricas.

Tipo de Eventos	Ano de Ocorrência
Secas severas (5 ou mais estações)	1980, 1983, 1992, 2007
Secas severas (4 ou menos estações)	1988, 1995, 1997, 1998, 2001, 2004, 2005, 2009, 2010, 2015, 2016, 2018
Cheias severas (5 ou mais estações)	1986, 1989, 2002, 2003, 2018
Cheias severas (4 ou menos estações)	1990, 2000, 2006, 2007, 2009, 2012, 2014, 2015, 2016, 2019

Pode-se observar que no total, ao longo dos 40 anos de recorte temporal, em 16 anos há o registro de secas extremas, e em 15 anos de cheias extremas, porém, dentre esses dados existem 5 anos que ocorrem com alguma sobreposição, são eles: 2007, 2009, 2015, 2016 e 2018 onde há sobreposição de registros com eventos de cheia e secas proeminentes sendo registradas para o mesmo ano, isso se deve à duração de cada tipo de evento, como pode ser observado nas Figuras 1 e 2 a duração dos eventos de cheias está delimitado entre abril e setembro do mesmo ano, enquanto que os eventos de secas se iniciam em setembro

e podem se propagar até abril do ano seguinte, em todos os anos citados o que ocorreu foi o ápice dos eventos de seca ocorrer apenas no ano seguinte ao seu início. Ainda conforme demonstrado na Figura 2, pode-se perceber que os meses que concentram a maior quantidade de registros de ápices de eventos extremos de cheia são junho e julho enquanto que, para os eventos extremos de secas estão distribuídos principalmente entre dezembro, janeiro e fevereiro, o mesmo comportamento pode ser observado na figura 1.

Outro fator que pode ser observado na figura 1 é a curva de sinuosidade descrita pelos gráficos, nota-se que na região do Alto Rio Negro a estação de Cucuí apresenta variações mais suaves que as de São Felipe, São Gabriel da Cachoeira e Curicuriari, que apresentam curvas de sinuosidade muito semelhantes. Já na região do Médio Rio Negro a estação destoante é a de Serrinha, com variações mais suaves enquanto que Tupuruquara e Barcelos apresentam grande sinuosidade, refletindo variações mais bruscas de nível da lâmina da água ao longo do ano. Por fim, no Baixo Rio Negro temos as estações de Moura e Manaus, responsáveis pelos gráficos que descreve as curvas de sinuosidade mais distintas de todas as estações, com momentos de estiagem bem definidos dentro do mesmo ano, entre agosto e novembro e momentos de cheia do rio se iniciando em uma crescente constante a partir de dezembro, apesar da semelhança a variação nos momentos de estiagem em Moura são muito mais bruscas do que em Manaus, que apresenta uma curva menos sinuosa, refletindo variações mais suaves de cotas ao longo do ano.

DISCUSSÕES

Conforme pode ser observado, o número de ocorrências de eventos extremos aumentou após os anos 2000, um fato que vem sendo apontado há anos em trabalhos como os de Marengo *et al.* (2011), Espinoza *et al.* (2014) e Marengo & Espinoza (2016), outro fato apontado pelos autores em questão é a intensidade preocupante que esses eventos vem atingindo, cada novo trabalho demonstra como os eventos extremos se tornam mais intensos que os seus antecessores, Marengo & Espinoza (2016) utilizam como exemplos as cheias de 2009 e 2012 e as secas de 2005 e 2010, sempre com as mais recentes superando as mais antigas em questões de intensidade e impactos causados.

CONCLUSÕES

Quanto ao rio Negro pode-se concluir que seu comportamento é heterogêneo, variando sutilmente ao longo de suas segmentações, conforme foi exposto na Figura 1, porém mesmo com as variações o comportamento geral segue dentro de alguns padrões, com os meses de junho e julho apresentando as maiores cotas em todas as estações, enquanto que as menores cotas se distribuem mais amplamente, mas se concentrando principalmente entre novembro e fevereiro.

A mesma heterogeneidade vale também para o comportamento do rio frente à eventos hidroclimáticos extremos, nota-se que o ápice dos eventos de cheias ocorre em concordância com o ápice normal de cotas registrado na Figura 1, porém a distribuição do ápice de eventos de secas é levemente mais restrita, concentrando-se majoritariamente entre dezembro e fevereiro. Outro fator importante é o fato de os eventos

extremos ocorrerem com mais frequência após a virada do milênio, entre 1980 e 2020 ocorreram eventos extremos em 11 anos, ou seja, em 55% desse recorte, já entre 2001 e 2020 ocorreram eventos extremos em 15 anos, representando 75% dos anos do recorte, em números totais houve um aumento de 36,36% na ocorrência de eventos extremos após os anos 2000. A recorrência desses eventos também deve ser um fator de atenção, entre 1980 e 2000 apenas duas sequencias de eventos foram registradas: a primeira entre 1988, 1989 e 1990 e a segunda entre 1997 e 1998, por outro lado entre 2001 e 2020 apenas a cheia de 2012 ocorre de maneira isolada.

Outro fato constatado é que nas estações de Cucuí, São Felipe, São Gabriel da Cachoeira, Curicuriari, Tupuruquara e Serrinha a maior seca histórica sempre foi registrada antes dos anos 2000 e a maior cheia histórica após esse período, esse padrão se altera gradualmente a partir de Barcelos onde pela primeira vez a maior cheia registrada ocorreu antes dos anos 2000, a seguir as estações de Moura e Manaus registraram a maior seca após os anos 2000.

Com isso percebe-se que os eventos hidroclimáticos extremos na calha do rio Negro se tornaram mais frequentes e intensos após os anos 2000, além de ocorrerem em sequências cada vez mais longas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Espinoza JC, Marengo JA, Ronchail J, Molina J, Noriega L, Guyot JL. 2014. The extreme 2014 flood in South-Western Amazon basin: the role of tropical-subtropical South Atlantic SST gradient. Environ. Res. Lett. 9: 124007, doi: 10.1088/1748-9326/9/12/124007.

Frappart, F. *et al*. Floodplain water storage in the negro river basin estimated from microwave remote sensing of inundation area and water levels. Remote Sensing of Environment, v. 99, n. 4, p. 387–399, 2005. ISSN 0034-4257.

Guyot, J.L., (1993). Hydroge´ochimie des fleuves de l'Amazonie Bolivienne. In: Ge´ologie, Ge´ochimie, Universite´Bordeaux I,Bordeaux, p. 261 (in French).

Marengo, J.A.; Tomasella, J.; Soares, W.R.; Alves, L.M.; Nobre, C.A (2011). Extreme climatic events in the Amazon basin. Geophysical Research Letters, 38: 1-5.

Marengo, J.A., Espinoza, J.C (2016). Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. International Journal of Climatology, v. 36, p. 1033–1050.

Marinho, R., F, A. R., Santos, V., Nascimento, A., Filizola Jr, N. (2022). Riverbed morphology and hydrodynamics in the confluence of complex mega rivers - A study in the Branco and Negro rivers, Amazon basin. Journal of South American Earth Sciences. 103969. 10.1016/j.jsames.2022.103969.

Rebello, E. R. G. (2013). As maiores cheias e secas no Amazonas e as possíveis influências dos fenômenos el niño, la niña, ODP e OMA. 2013. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Meteorologia, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

Sinha, R., Latrubesse, E. M., & Stevaux, J. C. (2005). Grandes sistemas fluviais tropicais: uma visão geral. Revista Brasileira De Geomorfologia, 6(1). https://doi.org/10.20502/rbg.v6i1.35.

ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS DO AQUIFERO ALTER DO CHÃO NA ÁREA DO DISTRITO INDUSTRIAL DE MANAUS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO EDUCANDOS

Josué da Silva Costa[1]; Jamile Dehaini[2]; Márcio Luiz da Silva[3]

[1] DSEI Médio Rio Solimões e Afluentes – DSEI-MRSA; [2] Universidade do Estado do Amazonas - UEA; [3] Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA

josue.peg@gmail.com; jdehaini@uea.edu.br; marciols44@gmail.com

RESUMO

As águas subterrâneas são uma fonte essencial no abastecimento de água no estado do Amazonas. Na cidade de Manaus, no entanto, devido ao uso irracional desse recurso, o rebaixamento acentuado e contínuo do nível freático ao longo dos anos nas regiões de maior concentração de captação, como é o caso do bairro Distrito Industrial I, é apenas uma das consequências desta falta de gerenciamento, evidenciando o uso inadequado do recurso. A bacia hidrográfica do Educandos, na qual está inserido o Distrito Industrial I, foi uma das mais afetadas por todas as mudanças impostas pelo crescimento urbano de Manaus. Desta forma, o presente trabalho objetiva a caracterização dos aspectos hidrogeológicos do Aquífero Alter do Chão e do uso das águas subterrâneas na área do Distrito Industrial de Manaus na Bacia Hidrográfica do Educandos. Para isso, foram utilizados os dados obtidos a partir do banco de dados do Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas (IPAAM) e do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) do Serviço Geológico Brasileiro (SGB). No contexto hidrogeológico, o aquífero local é composto principalmente de Arenito Argiloso, seguido por Arenito. As camadas argilosas, apresentam-se desde lentes até camadas de cerca de 20 metros de espessura. A média da vazão específica para a área de estudo é de 1,11 m³/h/m. Cerca de 84% dos poços outorgados na área são para captação de água para uso industrial, 3% é referente ao abastecimento para consumo humano, 1% para o abastecimento público e 12% para outros tipos de uso. Assim, com o uso contínuo e aumento desordenado da utilização deste recurso hídrico pode-se provocar prejuízos irreversíveis para o aquífero local.

PALAVRAS-CHAVE: Águas subterrâneas; Sustentabilidade; Aquífero Alter do Chão.

INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica do Educandos, na qual está inserido o Distrito Industrial I, foi uma das mais afetadas por todas as mudanças impostas pelo crescimento urbano acelerado de Manaus. Com exceção das nascentes, foram observados vários indicadores de poluição das suas águas, devido ao lançamento de efluentes domésticos e industriais não tratados. A fonte principal de captação de água pelas indústrias é a partir da extração das águas subterrâneas do aquífero local.

No entanto, o aumento desordenado da utilização deste recurso hídrico pode provocar prejuízos irreversíveis para o aquífero, por isso, a gestão de hídrica deve ter um conjunto de procedimentos que busquem regulamentar o seu uso, conservar, proteger, restaurar e regenerar o manancial subterrâneo.

A área estudada situa-se no domínio noroeste da Bacia sedimentar do Amazonas. A Formação Alter do Chão (FAC), é a unidade dominante na porção central da Bacia do Amazonas, e é composta de arenitos e pelitos intercalados com conglomerados depositados em ambiente fluvial-deltaico-lacustre (CUNHA *et al*., 1994; NOGUEIRA *et al*., 1997; DINO *et al*., 1999).

o Aquífero Alter do Chão (AAC) é o principal reservatório de águas subterrâneas da Bacia do Amazonas e também um dos mais importantes aquíferos do país (GONÇALES e MIRANDA, 2014). É composto pela porção saturada em água da FAC, que se estende nas bacias sedimentares do Amazonas e do Solimões, abrangendo parte dos estados do Amazonas e do Pará (ANA, 2005), com muitas cidades e comunidades ribeirinhas dependentes parcial ou exclusivamente do aquífero para o abastecimento.

A grande importância do recurso subterrâneo para o desenvolvimento social e econômico da população contrasta com a deficiência no conhecimento do potencial e o estágio de exploração dos aquíferos no país, que coloca assim, grandes desafios para a adequada gestão da água (CONICELLI; HIRATA, 2016).

Desta forma, este trabalho objetiva a caracterização dos aspectos hidrogeológicos do Aquífero Alter do Chão e do uso das águas subterrâneas na área do Distrito Industrial de Manaus na Bacia Hidrográfica do Educandos.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se na porção sudeste da Bacia Hidrográfica do Educandos, correspondendo ao bairro Distrito Industrial I e parte do bairro Distrito Industrial II, na cidade de Manaus/AM, conforme mostra a figura 1.

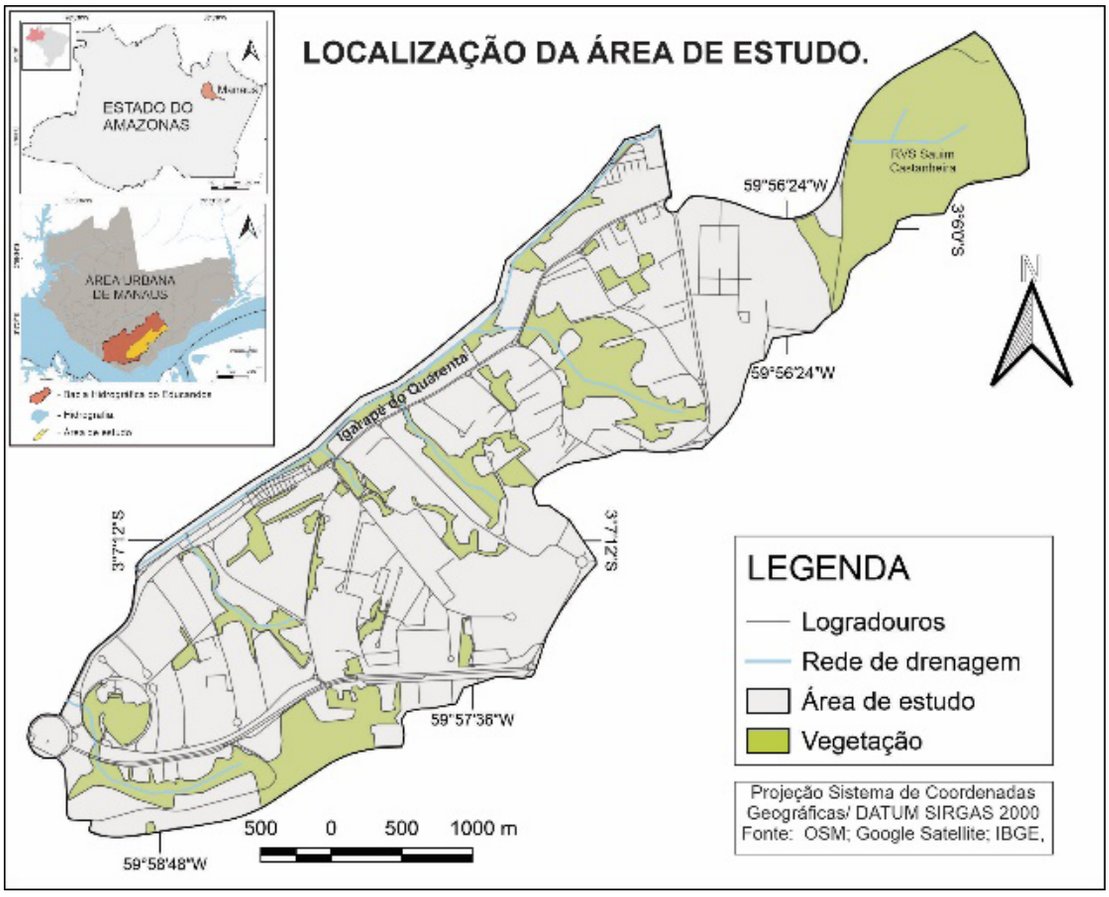


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo na Bacia Hidrográfica do Educandos.

Para o melhor entendimento da geologia e hidrogeologia local, foram descarregados e georreferenciados os poços tubulares perfurados na área de estudo na base de dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) do Serviço Geológico do Brasil (SGB). Foi efetuado o download das fichas técnicas dos poços que se encontram na área de estudo.

Esses dados foram utilizados, em conjunto com dados disponibilizados pelo IPAAM, dos poços que receberam outorgas na área de estudo, além de dados de outros trabalhos e cartas estratigráficas da região para a produção de uma seção hidrogeológica esquemática da área de estudo e avaliação dos principais usos da água subterrânea na bacia.

RESULTADOS

O Aquífero Alter do Chão é um dos maiores e mais importantes elos do sistema hidrológico do Brasil e, apesar disso, é um dos menos conhecidos, seja por suas dimensões ou pelas diversas dificuldades em se fazer pesquisa na Amazônia. É um aquífero predominantemente do tipo livre, e é a principal fonte de captação de água potável da região, abastecendo as populações e os centros industriais locais.

A área de estudo apresenta, na base de dados do SIAGAS/CPRM, 238 poços cadastrados. Para caracterização do aquífero local foram utilizados a descrição litológica e construtiva de 7 poços tubulares dessa base de dados. Os poços utilizados para confecção da seção hidrogeológica são mostrados no mapa da figura 2.

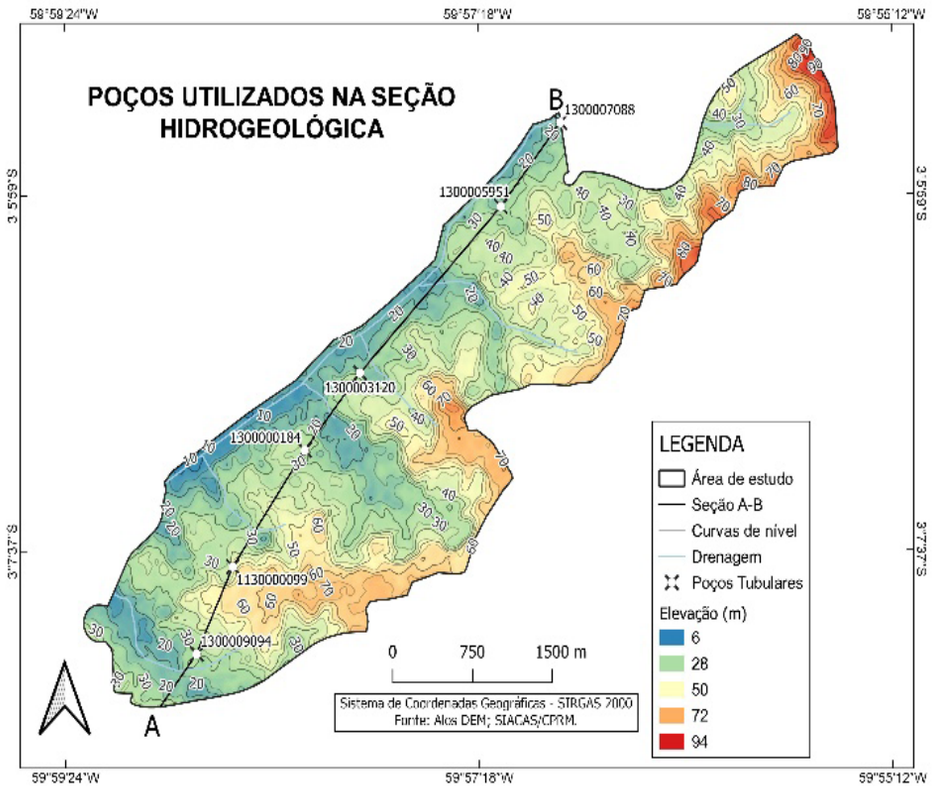


Figura 2 - Mapa de localização dos poços utilizados na elaboração da seção hidrogeológica esquemática da área de estudo.

Os poços selecionados apresentavam informações completas e concisas acerca da descrição geológica, dos aspectos construtivos e hidrodinâmicos do aquífero local.

A partir do georreferenciamento e posicionamento topográfico foi elaborada a seção hidrogeológica da área de estudo. Para isso foi realizada a correlação, utilizando os perfis litológicos, levando em consideração os critérios geológicos e os princípios básicos da estratigrafia, conforme apresentado na figura 3.

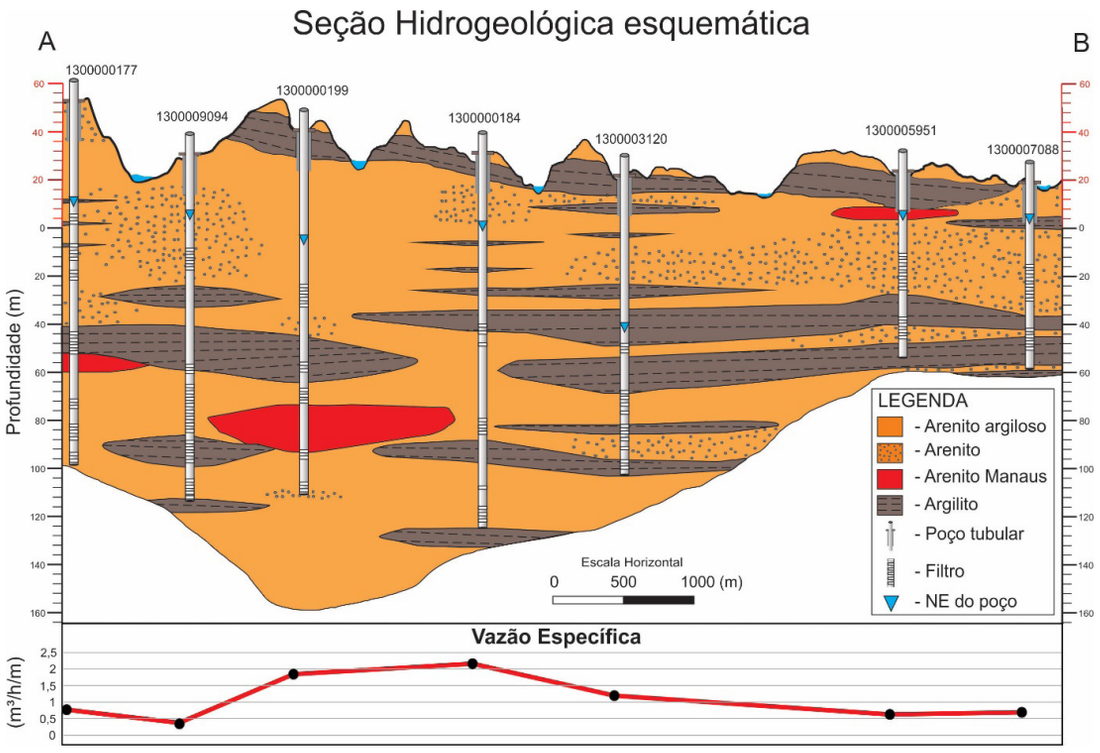


Figura 3 - Seção Hidrogeológica esquemática da área de estudo.

A seção hidrogeológica apresenta a espessura máxima de 200 metros. Observa-se que a maior parte da seção é composta por Arenito Argiloso, seguido por Arenito. As camadas argilosas, apresentam-se desde lentes até camadas de cerca de 20 metros de espessura, e são importantes no contexto do aquífero livre, visto que ajudam na proteção da porção mais profunda do aquífero, evitando a percolação de contaminantes.

Ressalta-se, no entanto, que poços mal construídos ou com falta de manutenção, podem servir de condutos diretos para as áreas mais profundas do aquífero local.

As camadas de arenito silicificado (Arenito Manaus) são descritas na área de estudo, sendo observadas aflorando nos leitos de alguns igarapés, e na seção aparecem como corpos individualizados alcançando até 22 metros de espessura.

A seção mostra que os valores de vazão específica variam de 0,352 a 2,141 m³/h/m, sendo que os maiores valores estão nos poços mais próximos a parte central da seção, que apresenta uma certa descontinuidade das camadas argilosas.

A figura 4 apresenta um mapa, que divide a área de estudo em quadrículas que medem 200 metros por 200 metros (0,04 km²), e foi confeccionado com dados dos poços outorgados.

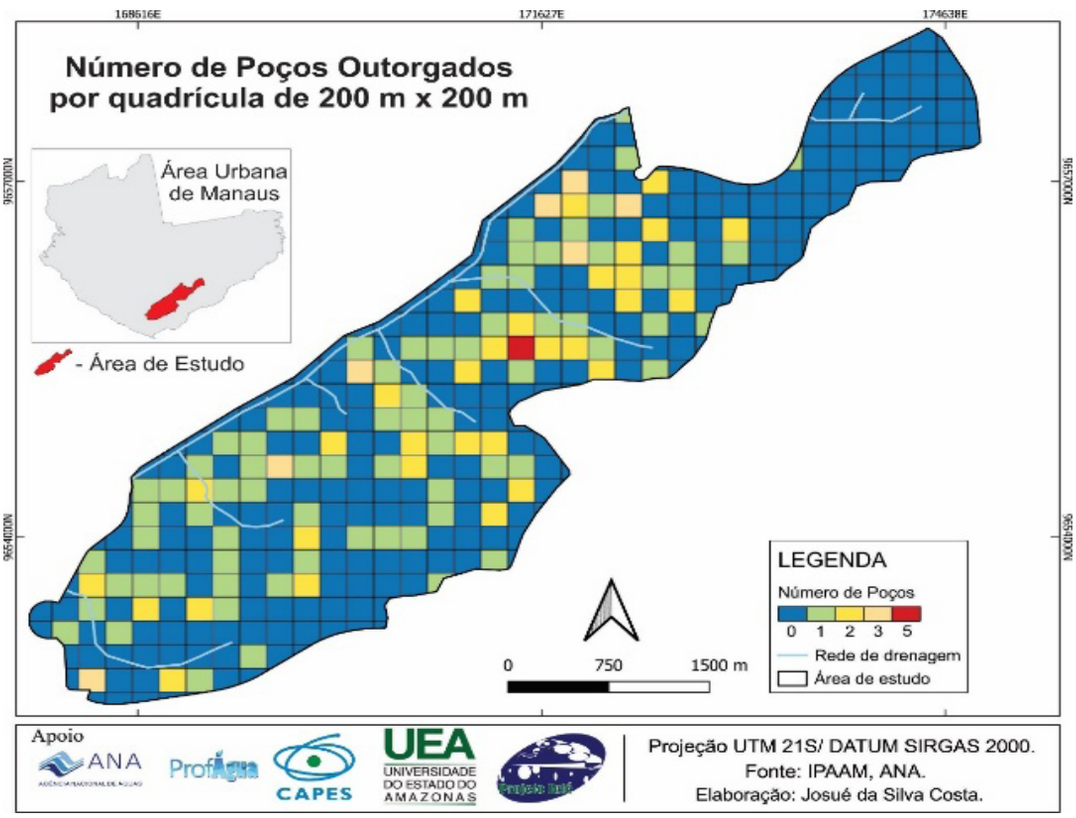


Figura 4 - Quantidade de poços por quadrícula (200m x 200m) na área de estudo.

A maioria das quadrículas (70,4%) não possui poços outorgados na sua área. Cerca de 27% (105 quadriculas) possui um ou dois poços em sua área de abrangência, que é o equivalente a 39 poços por quilômetro quadrado, considerando a área total das quadrículas (com 1 ou 2 poços) pelo número total de quadrículas, também com 1 ou 2 poços somados. Em torno de 1,8% (7 quadriculas) possui 3 poços em sua área, e 0,3% (uma quadricula) possui 5 poços.

Cerca de 84% dos poços outorgados na área são para captação de água para uso industrial, 3% é referente ao abastecimento para consumo humano, 1% para o abastecimento público e 12% para outros tipos de uso.

DISCUSSÕES

O conhecimento técnico das características hidrogeológicas do aquíferos é fundamental nas avaliações dos recursos hídricos. Essa é uma das premissas para desenvolver os planos de gestão de águas subterrâneas.

As características da hidrogeologia local da área de estudo mostram que camadas de argila podem funcionar como uma barreira natural de contaminantes, devido sua característica natural de baixa permeabilidade. Essa característica é importante devido a intensa degradação dos corpos hídricos superficiais. Os usos predominantes na área são industriais, devido a presença do Distrito Industrial na bacia, e o uso doméstico. Salienta-se a preocupação com a sustentabilidade da explotação do aquífero, principalmente na região industrial onde há um número expressivo de poços.

A falta de dados detalhados das características dos aquíferos não permite que sejam definidos critérios e de controle de retirada de água subterrânea, o que pode causar sérios danos, por vezes irreversíveis ao sistema. Um dos primeiros e principais problemas refere-se à redução dos níveis freáticos, que ocasiona a formação de cones de depressão cada vez maiores ao redor do poço de bombeamento que, na medida em que o nível freático declina de modo muito acentuado, podem causar interferências entre poços vizinhos conforme já descrito por Shaft (2005), Monteiro (2010), Saraiva (2017) e Costa *et al*., (2024).

CONCLUSÕES

A presente pesquisa permitiu descrever e avaliar o aquífero Alter do Chão, na área industrial de Manaus, possui características de aquífero livre e, em alguns trechos, as camadas menos permeáveis (argilas e Arenito Manaus) fazem com que o mesmo tenha características de aquífero semiconfinado. Essas camadas menos permeáveis auxiliam na proteção natural do aquífero para os possíveis contaminantes que percolam da superfície para o aquífero. Essa característica se torna ainda mais importante devido ao principal uso das águas subterrâneas na região, que são indústrias.

Com o aumento desordenado da utilização deste recurso hídrico pode-se provocar prejuízos irreversíveis para o aquífero. Diante deste fato faz-se necessário a utilização de ferramentas que auxiliem aos órgãos gestores na aplicação de instrumentos que garantam um nível aceitável de exploração visando à preservação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Águas (BRASIL) - ANA. (2005). Disponibilidade e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil. Brasília: ANA – Agência Nacional de Águas. *Cadernos de Recursos Hídricos*.

Conicelli, B. P. e Hirata, R. (2016). Novos paradigmas na gestão das águas subterrâneas. *Revista Águas Subterrâneas*.

Costa, J. S., Silva, M. L., Dehaini, J. e Wachholz, F. (2024). Avaliação da potenciometria do Aquífero Alter do Chão no Distrito Industrial de Manaus na área da Bacia Hidrográfica do Educandos. Anais do *XXIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*, 1780.

Cunha, P.R.C., Gonzaga, F.G., Coutinho, L.F.C. e Feijó, F.J. (1984). Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências*. PETROBRAS. v. 8, p. 47-55.

Dino R., Silva O.B. e Abraão D. (1999). Caracterização Palinológica e Estratigráfica de Estratos Cretáceos da Formação Alter do Chão, Bacia do Amazonas. In: UNESP, *Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil*, 5, Rio Claro, SP, Anais: 557-565.

Gonçales, S. C. B. e Miranda, J. S. N. (2014). Caracterização da Qualidade das Águas Subterrâneas do Aquífero Alter do Chão, Estudos de Caso das Estações da Rede de Monitoramento de Águas Subterrâneas (Rimas–CPRM) no Município de Manaus-Am. *Águas Subterrâneas*.

Monteiro I. (2010). Águas turbulentas. *Revista água e meio ambiente subterrâneo*, p.16-23.

Nogueira, A.C.R.; Souza, V.; Soares, E.A.A. (1997). Contribuição à tectônica cenozoica da Região de Presidente Figueiredo, Norte de Manaus-AM. In: *VI Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, Pirinopolis*, SBG. p. 123-125.

Saraiva, M. A. (2017). Avaliação da sustentabilidade do uso da água do aquífero Alter do Chão na zona urbana de Manaus. *Dissertação* (Mestrado). Manaus: Departamento de Geociências - UFAM.

Shaft Consultoria. (2005). Estudo Hidrogeológico da Cidade de Manaus: *Relatório Final*. Manaus: Águas do Amazonas. v.1.

ANÁLISE PRELIMINAR DO CICLO HIDROLÓGICO EM AQUÍFEROS FREÁTICOS NA REGIÃO DE CRUZEIRO DO SUL E RODRIGUES ALVES, ACRE

Roney da S. de Azevedo Junior[1]; Gabriele da S. Martins[2]; Ingo Daniel Wahnfried[3]; Alderlene Pimentel de Brito[4]

[1,2,3,4] Universidade Federal do Amazonas – UFAM.

roneyazevedo15@gmail.com[1]; martinsgabriele166@gmail.com[2]; iwahnfried@ufam.edu.br[3]; *alderlene.brito@ufam.edu.br*[4]

RESUMO

Na Amazônia, a variação do dinamismo hídrico e a quantificação dessa influência na interação entre água superficial, subterrânea e chuva ainda é um desafio. O objetivo deste trabalho foi caracterizar e quantificar a conectividade hidrológica e a recarga de aquífero em uma área de uso de solo misto (floresta e pasto) na Bacia do Acre, oeste da Amazônia. A metodologia integrou a instalação de 10 piezômetros para monitoramento do nível freático, a caracterização litológica do subsolo e a realização de slug tests para determinação da condutividade hidráulica (K). Um levantamento aerofotogramétrico com Aeronave Remotamente Pilotada (remotely-piloted aircraft - RPA) gerou um Modelo Digital de Terreno (MDT) de alta precisão, delimitado dentro da área de estudo. A recarga foi estimada pelo método do Balanço Hídrico e da Variação do Nível de Água (VNA), e a conectividade foi investigada com análises de isótopos estáveis ($\delta^{18}O$ e $\delta^{2}H$). Os resultados indicam um aquífero freático em meio areno-argiloso com condutividade hidráulica (K) entre 10^{-5} e 10^{-4} m/s. Os mapas potenciométricos revelam um fluxo subterrâneo em direção ao rio Juruá, o que mostra o aquífero atuando de forma efluente no período estudado. Dados preliminares de avaliação da recarga indicam que o seu valor anual é de 25% e 34% da precipitação total, calculado apenas pelo método do Balanço Hídrico, o que ainda será confrontado com outras formas de quantificação. O nível da água responde rapidamente a eventos de chuva intensos, indicando boa conectividade em alguns pontos. Os dados isotópicos também mostram boa conectividade do aquífero com nascentes e igarapés, mas indicam clara diferença com relação ao rio Juruá. Conclui-se que o sistema hidrogeológico da área é dinâmico e altamente conectado, com a recarga local gerando fluxo de base principalmente para igarapés, mas também para o rio Juruá. A metodologia integrada mostrou-se robusta para quantificar estas interações, fornecendo um diagnóstico essencial para a gestão de recursos hídricos frente às mudanças no uso do solo na região.

PALAVRAS-CHAVE: hidrogeologia; interação água subterrânea-superficial; recarga; Bacia do Acre.

INTRODUÇÃO

Atualmente, o foco em pesquisas sobre a interação entre águas superficiais e subterrâneas está se intensificando, buscando abranger os impactos e exploração de rios, lagos, riachos e estuários (Winter, 1999). Além de impactos causados pelo meio, por elementos como a topografia, geologia e clima, denominados de "ambiente hidrogeológico" nos sistemas de circulação de águas subterrâneas (Tóth, 1970).

Na Bacia Amazônica, a maior bacia hidrográfica do mundo, com cerca de 7 milhões de km² (Laurence, 2001), os principais sistemas aquíferos utilizados para abastecimento são os sedimentares (Wahnfried e Soares, 2012). Na Bacia Sedimentar do Acre, onde a região de estudos está localizada, os principais aquíferos sedimentares são o Içá e os depósitos aluvionares. A Formação Içá, predominantemente argilosa, localmente possui lentes de areia que podem ter potencial aquífero (ANA, 2015).

O balanço hídrico na região é de amplo interesse científico para a compreensão de ciclos biogeoquímicos e gerar modelos para prever as consequências do desmatamento que ocorre na Amazônia. Alterações no uso do solo, como a conversão de floresta para pastagem, impactam diretamente a recarga dos aquíferos, o fluxo de base que mantém os igarapés e a relação hidrológica entre a água subterrânea e superficial (Neill *et al*. 2011).

Diante disso, o objetivo geral deste trabalho foi determinar a recarga e a conectividade entre chuva, água subterrânea e água superficial em uma área de estudo com alterações antrópicas da vegetação nativa, buscando determinar a condutividade e o gradiente hidráulico do aquífero freático, identificar o fluxo de base para o igarapé adjacente, verificar a correlação entre a precipitação e a variação do nível da água e estabelecer um modelo conceitual hidrogeológico da área.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado nos municípios de Cruzeiro do Sul e Rodrigues Alves, ao longo do rio Juruá, no oeste do estado do Acre, em uma área compreendida entre as coordenadas 7°41'48"S a 7°44'38"S e 72°40'33"O a 72°37'46"O. A região está geologicamente situada sobre as Formações Içá e Solimões (Cunha, 2007) e de acordo com as observações feitas em campo, são individualizados dois sistemas em superfície: Içá e Aluvionar. O clima local é classificado como Am (quente e úmido) segundo Koppen, com precipitação média anual de 2.115 mm (Bardales *et al*., 2020).

Foram instalados 10 piezômetros em diferentes ambientes (floresta e pasto) para monitorar a carga hidráulica e o nível de água (NA) do aquífero freático. Os piezômetros foram confeccionados com tubos de PVC de 40 mm de diâmetro, com uma seção filtrante de 0,50 m na base. Durante a perfuração com trado manual, foram coletadas amostras de sedimento para a descrição tátil-visual dos perfis litológicos. O monitoramento do NA foi executado semanalmente entre 20 de setembro e 21 de dezembro de 2023, com medições realizadas a partir da boca do tubo com uma trena de fibra de vidro.

Para a caracterização detalhada do terreno, foi realizado um levantamento aerofotogramétrico com uma Aeronave Remotamente Pilotada (remotely-piloted aircraft - RPA), que permitiu a geração de um Modelo Digital de Terreno (MDT) de alta precisão, segundo o modelo do fluxograma de Silva *et al.* (2015), compartimentado em duas localidades, pela ampla dispersão dos piezômetros na área de estudo. A acurácia do modelo foi garantida pelo uso de pontos de controle baseados no DEM global FABDEM para a correção de erros (Hawker *et al*., 2022).

A condutividade hidráulica (K) do aquífero foi determinada por meio de slug tests, com dados interpretados pelo método de Bouwer & Rice (1976). O gradiente hidráulico (i) foi calculado a partir da diferença de cota do NA entre os piezômetros e o rio, dividida pela distância entre os pontos. A recarga foi estimada por Balanço Hídrico, calculado através da definição de Lerner *et al*. (1990), utilizou dados de precipitação da Agência Nacional de Águas (ANA) e temperatura do banco de dados do Giovanni (NASA). No futuro ela também será quantificada de forma mais ampla pelo método da Variação do Nível da Água (VNA), que correlaciona a subida do NA com os eventos de chuva. Por enquanto, somente uma avaliação qualitativa foi realizada. Adicionalmente, amostras de água foram coletadas nos piezômetros, em uma nascente, um igarapé e no rio Juruá para análises de isótopos estáveis ($\delta^{18}O$ e $\delta^{2}H$).

RESULTADOS

O levantamento com RPA resultou em um Modelo Digital de Terreno (MDT) (Figura 1) de alta precisão da área de estudo, com cotas altimétricas variando de 165 m nas planícies fluviais a mais de 200 m nas áreas de interflúvio. Os perfis litológicos obtidos durante a instalação dos piezômetros nas duas localidades revelaram uma subsuperfície composta predominantemente por intercalações de camadas de argila e de areia fina a média.

Os mapas potenciométricos, gerados para diferentes períodos, indicam um fluxo de água subterrânea bem definido, com um gradiente hidráulico (i) que varia de aproximadamente 0,01 a 0,04 m/m, partindo das áreas mais elevadas em direção ao rio Juruá. Os slug tests permitiram estimar a condutividade hidráulica (K) do aquífero freático com valores entre 10^{-5} e 10^{-4} m/s, o que é compatível com os solos areno-argilosos observados. O fluxo de base contribuinte para o rio foi estimado em 5,76 L/h para a faixa do MDT coberta pela aerofotogrametria (Figura 1).

A análise do balanço hídrico para o período de 2021 a 2023 demonstrou que a recarga do aquífero correspondeu a uma parcela significativa da precipitação, variando de 25% a 34% do total anual. O método da Variação do Nível da Água (VNA), aplicado ao piezômetro PZ-JRA-12, mostrou uma resposta direta do aquífero aos eventos de chuva, onde um único evento pluviométrico significativo foi capaz de gerar uma recarga de 8,96 mm. Os dados isotópicos ($\delta^{18}O$ e $\delta^{2}H$) indicam que a água do rio Juruá ($\delta^{18}O$ = -2,93‰ e $\delta^{2}H$ = -19‰) é isotopicamente mais enriquecida que a média das águas subterrâneas ($\delta^{18}O$ entre -3,96‰ e -5,63‰; $\delta^{2}H$ entre -19‰ e -35,9‰). E particularmente os valores isotópicos da nascente ($\delta^{18}O$ = -3,91‰ e $\delta^{2}H$ = -24,1‰) que é diretamente influenciada pelo aquífero.

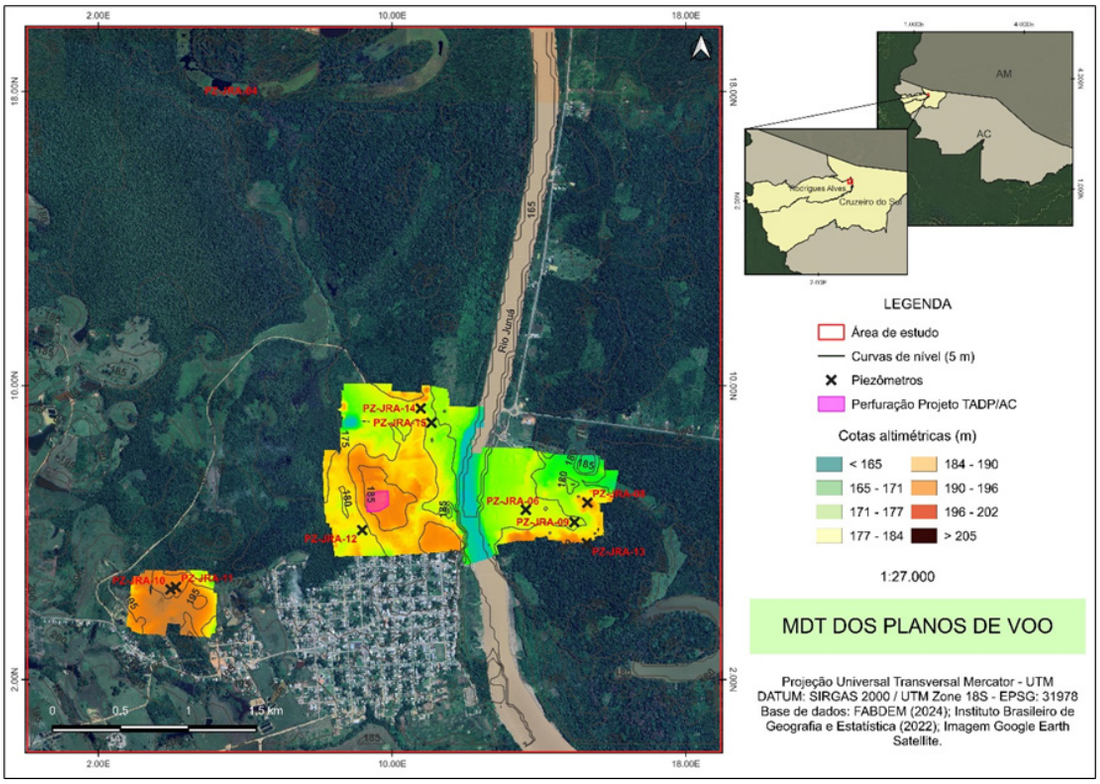


Figura 1 – Modelo Digital de Terreno, produtos do levantamento aerofotogramétrico do RPA, localizado na área de estudo. Fonte: Autor.

DISCUSSÕES

Os resultados indicam que a geologia local exerce um controle significativo sobre o sistema hidrogeológico. A interposição de camadas de areia e argila explica diretamente os valores de condutividade hidráulica (K) na faixa de 10^{-5} a 10^{-4} m/s. Esses valores, típicos de materiais areno-argilosos, sugerem um ambiente que permite o fluxo de água com certa resistência. Isso explica a velocidade de fluxo moderada e a contribuição constante, embora não volumosa, para o fluxo de base do rio Juruá, conforme indicado pelos gradientes hidráulicos observados.

A dinâmica da recarga revelou-se um processo complexo. O balanço hídrico mostrou que, em média, 25% a 34% da precipitação anual gera recarga no aquífero. Contudo, o método da Variação do Nível da Água (VNA) mostrou que a eficácia da recarga por evento de chuva varia bastante, dependendo da intensidade da chuva e das condições de umidade já presentes no solo. A resposta imediata do nível da água à precipitação, registrada no piezômetro PZ-JRA-12, corrobora que a infiltração direta é o principal mecanismo de recarga, conforme conceitualmente descrito por Lerner *et al.* (1990).

A análise de isótopos estáveis ($\delta^{18}O$ e $\delta^{2}H$) oferece uma prova independente e robusta da conectividade lateral das águas. A composição isotópica da água do rio Juruá ($\delta^{18}O$ = -2,93‰ e $\delta^{2}H$ = -19‰) é significativamente mais rica em comparação com a das águas subterrâneas ($\delta^{18}O$ entre -3,96‰ e -5,63‰; $\delta^{2}H$ entre -19‰ e -35,9‰). Para as assinaturas obtidas para a nascente e o igarapé mais pesados ($\delta^{18}O$ = -3,91‰ e -3,87‰;

e δ^2H = -24,1‰ e -24,6‰ respectivamente) localizados próximos ao PZ-JRA-10 e 11, na localidade mais distante do Rio Juruá, o que não são uma descarga direta da mesma água profunda monitorada nos piezômetros próximos, sugerindo que são dominados por um fluxo de água subterrânea mais raso.

Em síntese, o estudo combina parâmetros hidráulicos e isotópicos para descrever um sistema em que a recarga local gera fluxo de base que alimenta nascentes, igarapés e rios.

CONCLUSÕES

Os resultados preliminares deste estudo indicaram que será possível caracterizar a interação entre a água de superfície, água subterrânea e precipitação em uma região da Amazônia Ocidental. A definição dos perfis litológicos areno-argilosos, da condutividade hidráulica (K variando de 10^{-5} a 10^{-4} m/s) e do gradiente hidráulico indicou um fluxo subterrâneo constante em direção ao rio Juruá. A recarga do aquífero, que é principalmente alimentada pela infiltração da chuva local, representa de 25% a 34% do total anual de precipitação, avaliada pelo método do Balanço Hídrico, o que ainda será comparado com outros métodos, já que podem ocorrer incertezas significativas nesta quantificação. A Variação do Nível de Água demonstra uma resposta rápida aos eventos de chuva, o que confirma a elevada conectividade do sistema. A análise de isótopos mostra a conectividade intensa entre água subterrânea, nascentes e igarapés. A metodologia integrada forneceu dados relevantes para a compreensão do modelo conceitual de fluxo local. O refinamento da avaliação dos dados, com comparação quantitativa de diferentes métodos de recarga, análise isotópica mais aprofundada, comparando o conteúdo isotópico já obtido com a precipitação local, e adicionando dados de hidroquímica, deve permitir uma compreensão ampla do ciclo hidrológico na região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA – Agência Nacional de Águas. Avaliação dos Aquíferos das Bacias Sedimentares da Província Hidrogeológica Amazonas no Brasil (escala 1: 1.000. 000) e Cidades Pilotos (escala 1: 50.000). Volume III – Hidrogeologia e Modelo Numérico de Fluxo da PHA no Brasil. 2015.

Bardales, N.; Araújo, E.; Amaral, E.; Ker, J.; Maia, G.; Araújo, D.; Amaral, E.; Oliveira, T.; Franke, I.; Lani, J.; Martorano, L. e Negreiro, J.. (2020). Solos e Geopaisagens do município de Cruzeiro do Sul, Acre; Potencialidades e Fragilidades.

Bouwer, H. and R. C. Rice. 1976. A slug test for determining hydraulic conductivity of uncofined aquifers with completely or partially penetrating wells. Water Resources Research. V. 12, P. 423-428.

Cunha, P.R.C. Bacia do Acre. Boletim de. Geociências Petrobras, Rio de Janeiro, v. 15, p. 207-215, 2007.

Hawker, L., Uhe, P., Paulo, L., Sosa, J., Savage, J. Sampson, C. and Neal, J. A 30 m global map of elevation with forests and buildings removed. Environ. Res. Lett., vol. 17, no. 2, Feb. 2022, Art. no. 024016, doi: 10.1088/1748-9326/ac4d4f

Laurence, W. F. (2001). ENVIRONMENT: The Future of the Brazilian Amazon. Science, 291(5503), 438–439. doi:10.1126/science.291.5503.

Lerner, D. N., Issar, A. S., and Simmers, I.: Groundwater recharge: A guide to understanding and estimating natural recharge, International Contributions to Hydrogeology, 8, 375 pp., Verlag Heinz Heise, Hannover, 1990.

Neill, C.; Chaves, J. E.; Biggs, T.; Deegan, L.; Elsenbeer, H.; Figueiredo, R. O.; Germer, S.; Johnson, M. S.; Lehmann, J.; Markewitz, D.; Piccolo, M. C. Runoff sources and land cover change in the Amazon: an end-member mixing analysis from small watersheds. Biogeochemistry, v. 105, p. 7-18, 2011.

Silva, C. A.; Duarte, C. R.; Souto, M. V. S.; Sabadia, J. A. B. Utilização de VANT para geração de ortomosaicos e aplicação do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 2015, João Pessoa. Anais... João Pessoa: INPE, 2015.

Tóth, J. (1970). A conceptual model of the groundwater regime and the hydrogeologic environment. Journal of Hydrology, vol. 10, p. 164-176.

Wahnfried, I. Soares, E. A. A. Água Subterrânea na Amazônia: Importância, Estado Atual do Conhecimento e Estratégias de Pesquisa. 2012.

Winter, T. C. Relation of streams, lakes and wetlands to groundwater flow systems. Hydrogeology Journal, vol. 7, p. 28-45. (1999).

EL NIÑO E A LOGÍSTICA DO PETRÓLEO: LEVANTAMENTO DAS INFLUÊNCIAS DO FENÔMENO NA DISTRIBUIÇÃO DE ÓLEO E GÁS NO INTERIOR DO AMAZONAS

Lucas Bonifacio Silva Almeida[1]; Suelen Nonata de Souza Marques[3]
[1]Universidade Federal do Amazonas – UFAM;
[2]Universidade Federal do Amazonas – UFAM

*1*bonifacio.almeida@Ufam.edu.br*; 2nonata@ufam.edu.br*

RESUMO

Este estudo avalia os impactos da variabilidade hidrológica e de eventos climáticos extremos, como o El Niño, na logística e economia da região amazônica, com foco em Manaus e no Terminal Aquaviário de Coari (TA–Coari). Devido à inconsistência das séries históricas em estações próximas à capital amazonense, utilizou-se a estação fluviométrica de Paricatuba (2000–2024) como referência, garantindo maior robustez estatística. Entre 2014 e 2023, os níveis fluviais permaneceram próximos à média histórica, porém, em 2024, ocorreu uma estiagem excepcional, resultando em queda significativa dos níveis do rio Negro. Tal evento provocou aumento de custos logísticos no Polo Industrial de Manaus, queda na arrecadação fiscal, redução da produção industrial e elevação da inflação de alimentos.

O TA–Coari desempenha papel estratégico no escoamento de petróleo e GLP da região de Urucu, sendo dependente da navegabilidade do rio Solimões, que sofre variações sazonais e é afetada por eventos extremos. A Petrobras implementou o Plano Codajás, uma estratégia de contingência que inclui transbordos, comboios de menor calado e monitoramento contínuo das vias navegáveis, garantindo o abastecimento mesmo durante períodos críticos.

Os resultados evidenciam que os desvios hidrológicos não se restringem a indicadores estatísticos, mas desencadeiam crises logísticas, econômicas e sociais, ressaltando a necessidade de políticas estruturadas de adaptação que integrem gestão hídrica, logística resiliente e apoio às comunidades vulneráveis na Amazônia.

.

PALAVRAS-CHAVE: Fenômenos climáticos; Amazonas; Logística do Petróleo.

INTRODUÇÃO

Os fenômenos climáticos exercem papel central na dinâmica ambiental e socioeconômica mundial, influenciando desde padrões de biodiversidade até processos produtivos e formas de ocupação humana (Alves *et al.,* 2024). Entre eles, o El Niño destaca-se como um dos eventos mais relevantes, caracterizado pelo aquecimento anômalo da superfície do mar no Pacífico Equatorial e por seus reflexos, de alcance global, sobre ecossistemas, economias e comunidades (Embrapa, 2021). Durante episódios de El Niño,

a Amazônia costuma enfrentar uma acentuada redução no volume de chuvas, o que resulta em secas severas e elevação das temperaturas médias (Marengo, 1992). Nesse contexto amazônico, essas alterações afetam não apenas o meio físico, mas também o tecido social, dado que ecossistemas e comunidades locais dependem fortemente dos recursos naturais para sua subsistência (Marengo, 2009; Aragão *et al.,* 2007). Além das questões ambientais, emergem desafios de natureza social. As comunidades impactadas — frequentemente compostas por povos indígenas e populações ribeirinhas — podem ter seus modos de vida alterados pela expansão das atividades extrativas (Silva *et al.,* 2019). Em setores estratégicos, como a exploração de petróleo e gás, ou na operação da rede hidroviária, as restrições impostas pelo baixo nível das águas geram impactos diretos na produtividade e nos custos operacionais. Diante disso, é mister entender como os períodos de estiagem intensificados pelo El Niño afetam a logística e a sustentabilidade das operações de óleo e gás no interior do Amazonas, e quais impactos socioeconômicos e ambientais são enfrentados pelas comunidades. Assim, este estudo justifica-se pela urgência em compreender e minimizar os efeitos do El Niño no Amazonas, particularmente em áreas interioranas que enfrentam simultaneamente desafios ambientais, socioeconômicos e de infraestrutura. A análise proposta visa fornecer subsídios técnicos para a formulação de políticas públicas e estratégias de adaptação capazes de equilibrar a preservação ambiental e o desenvolvimento humano, além de contribuir para o avanço do conhecimento científico sobre impactos climáticos regionais e suas possíveis formas de mitigação.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo investigou as influências do fenômeno El Niño na logística de distribuição de petróleo e gás no interior do Amazonas, empregando uma abordagem quali-quantitativa estruturada em quatro etapas. Inicialmente, realizou-se uma revisão sistemática da literatura (Gil, 2008; Marconi & Lakatos, 2017) para estabelecer o embasamento teórico e identificar lacunas.

Na etapa de pesquisa, adotou-se uma abordagem descritiva para a coleta de dados a partir de fontes oficiais como ANP, INMET e SIPAM. Complementarmente, foram consultados representantes de empresas e especialistas no tema, utilizando a triangulação de informações para aumentar a confiabilidade dos dados (Yin, 2018).

A terceira etapa, de desenvolvimento analítico, teve caráter interpretativo (Minayo, 2010; Silva *et al*., 2019), examinando os dados de forma integrada para compreender os efeitos do El Niño na navegação fluvial, condições rodoviárias e custos logísticos. Por fim, a elaboração e análise dos resultados (Marconi & Lakatos, 2017) consolidou os achados em gráficos, tabelas e mapas, culminando na apresentação dos principais impactos e recomendações práticas.

RESULTADOS

Este estudo demonstrou que as variações hidrológicas nos rios amazônicos, acentuadas por fenômenos como o El Niño, exercem impactos diretos e significativos na logística de distribuição de petróleo e gás na Amazônia, tornando imperativa a adoção de estratégias de adaptação. As principais conclusões e suas implicações são detalhadas a seguir.

Variação Hidrológica do Rio Solimões nas Adjacências de Coari (2000-2024)

A análise dos dados históricos de níveis do Rio Solimões na estação de Coari (13.150.003), provenientes da plataforma HIDROWEB da ANA (2024), revelou um padrão hidrológico cíclico de cheia (fev-jun) e vazante (jul-dez), alinhado aos ciclos sazonais da Amazônia (Marengo *et al.,* 2013; Espinoza *et al.,* 2011). Apesar de algumas lacunas nos dados, a identificação desses padrões foi consistente (Figura 1). Destacam-se os anos de 2011 e 2024 com quedas expressivas nos níveis do rio, indicando secas severas. resultou em impactos ambientais e socioeconômicos diretos para as comunidades ribeirinhas e indígenas, prejudicando atividades locais e o deslocamento.

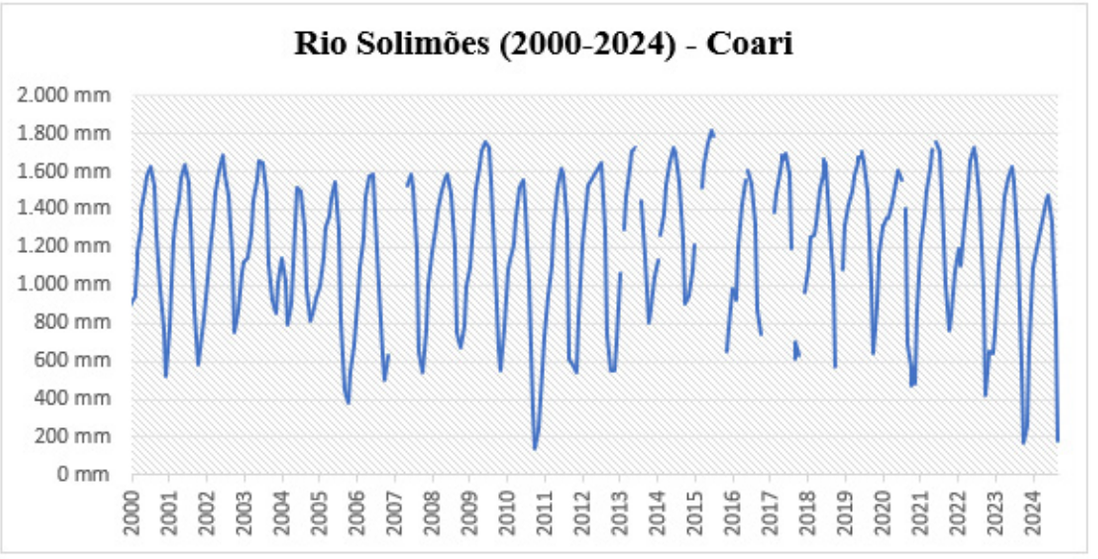


Figura 1: Variação do nível do Rio Solimões nas adjacências de Coari (2000–2024).

Fonte: Adaptado de Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2024).

Variação Hidrológica do Rio Solimões nas Adjacências de Codajás (2000-2024)

Continuando a análise do comportamento hidrológico do Rio Solimões na rota de transporte de petróleo de Urucu a Manaus, a cidade de Codajás foi investigada devido à sua posição estratégica. Dados da estação hidrometeorológica 13.155.000, disponibilizados pela ANA (2024) via plataforma HIDROWEB, foram analisados e plotados

em gráficos de variação anual dos níveis do rio (Figura 2). Embora a série histórica apresente algumas lacunas, padrões consistentes de sazonalidade na dinâmica fluvial foram identificados. Em 2023, Codajás enfrentou uma das piores secas dos últimos anos, caracterizada pela drástica diminuição do nível do Rio Solimões. Essa seca afetou diretamente as populações ribeirinhas, prejudicando atividades econômicas como a pesca e o transporte fluvial.

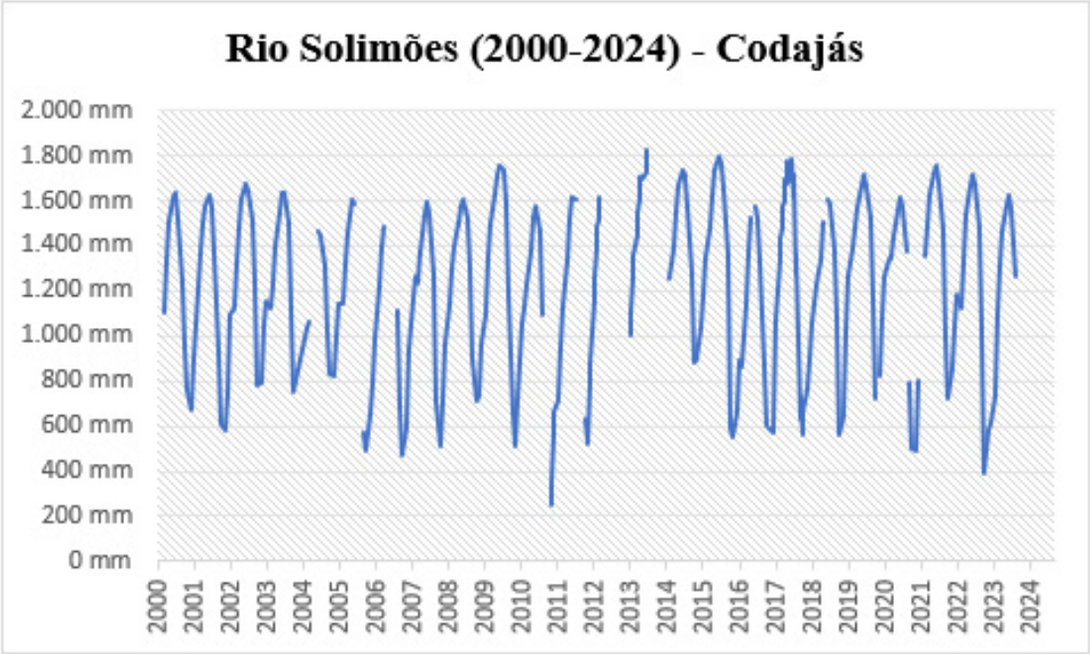


Figura 2: Variação do nível do Rio Solimões nas adjacências de Codajás (2000–2024).

Fonte: Adaptado de Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2024).

Variação Hidrológica do Rio Solimões nas Adjacências de Manacapuru (2000-2024)

A análise hidrológica em Manacapuru utilizou dados da estação 14.100.000 (ANA, 2024). Observou-se a tendência sazonal de cheia (mar-jun) e vazante (jul-dez) nos níveis do Rio Solimões (Figura 3). Nos anos de 2011 e 2023, o gráfico demonstra quedas acentuadas nos níveis do rio, coincidindo com episódios de seca severa. Essas secas impactaram diretamente as atividades econômicas e a logística de transporte fluvial na região.

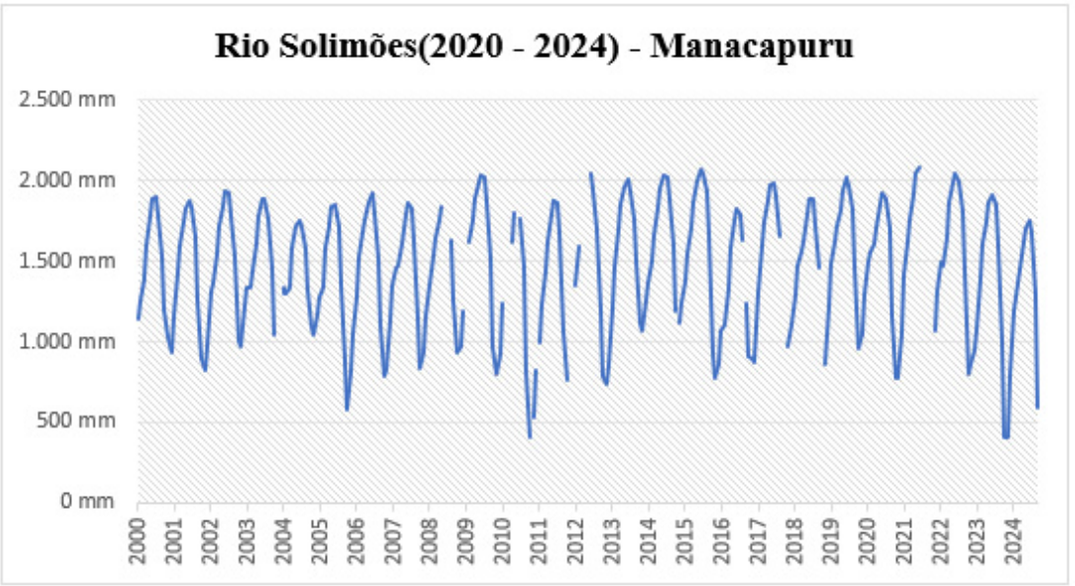


Figura 3: Variação do nível do Rio Solimões nas adjacências de Manacapuru (2000–2024).

Fonte: Adaptado de Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2024).

Província Petrolífera de Urucu: Dinâmica e Logística do Escoamento de Gás e Petróleo

A Província Petrolífera de Urucu escoa sua produção via Terminal Aquaviário de Coari (TA–Coari), uma infraestrutura estratégica interligada por oleoduto e gasoduto. Este terminal movimenta, em média, 270.000 m³ de petróleo e GLP mensalmente, utilizando cerca de 20 navios e 20 balsas (PETROBRAS, 2019). Todo o GLP segue para o Norte e Nordeste, enquanto o petróleo é transportado fluvialmente para a Refinaria de Manaus (REMAN) para processamento e posterior distribuição para Manaus, outros municípios do Amazonas e estados do Norte.

A navegabilidade no trecho fluvial para o TA–Coari é crucial e diretamente impactada pelo regime hidrológico do Rio Solimões. Durante a cheia, navios de até 30.000 TPB e calado de 8,50 metros operam plenamente. Contudo, na estação seca (agosto a dezembro), o calado máximo é reduzido para 7,00 metros, limitando a capacidade de carga e exigindo ajustes operacionais e logísticos (PETROBRAS, 2019).

Além das limitações de profundidade, a navegação é afetada por fatores climáticos que reduzem a visibilidade, como fumaça de queimadas na estiagem e intensas precipitações/nevoeiros em outras épocas. A morfologia dinâmica do leito do rio, com constante movimentação de sedimentos e bancos de areia, altera os canais navegáveis anualmente, demandando monitoramento contínuo e a prática de fundeio para passagens críticas em condições de segurança (PETROBRAS, 2019).

DISCUSSÕES

A análise hidrológica em Coari, Codajás e Manacapuru (2000–2024) confirmou o padrão sazonal cíclico dos rios amazônicos (Marengo *et al*., 2013; Espinoza *et al*.,

2011). Contudo, os dados evidenciam quedas drásticas nos níveis fluviais em anos específicos (2011, 2023, 2024), diretamente correlacionadas com a influência do El Niño (Jiménez-Muñoz *et al*., 2016).

Essas secas impactam severamente a região, gerando vulnerabilidade socioeconômica para comunidades ribeirinhas e indígenas (afetando subsistência e deslocamento) e, crucialmente, significativas restrições à logística de transporte de petróleo e gás. A redução do calado permitido (de 8,50 m para 7,00 m na cheia/estiagem para o TA–Coari) exige ajustes operacionais e logísticos, enquanto fatores como fumaça de queimadas e a dinâmica morfológica imprevisível do leito do Rio Solimões aumentam a complexidade e o risco (PETROBRAS, 2019).

A reincidência e intensidade das secas recentes (2023/2024) sinalizam que as interferências climáticas na infraestrutura e operação logística são uma condição que tende a se agravar. Isso reforça a urgência na implementação de estratégias de gestão hídrica e logística adaptativas e resilientes. As secas extremas, evidenciadas em Coari (2011, 2024), Codajás (2023) e Manacapuru (2011, 2023), comprometem a navegabilidade ao reduzir o calado permitido e aumentar os riscos operacionais, afetando diretamente a capacidade de escoamento da Província Petrolífera de Urucu.

Além das interrupções logísticas, esses eventos geram significativas vulnerabilidades socioeconômicas para as comunidades ribeirinhas e indígenas, que dependem diretamente dos rios para subsistência e transporte. A recorrência e a intensidade observada desses fenômenos climáticos reforçam a urgência de implementar estratégias de gestão hídrica e logística mais resilientes e adaptativas. A compreensão aprofundada dessas dinâmicas é fundamental para assegurar a segurança energética regional e mitigar os impactos ambientais e sociais futuros na Amazônia.

CONCLUSÕES

Este estudo demonstrou que as variações hidrológicas nos rios amazônicos, particularmente no Rio Solimões, e sua intensificação por fenômenos como o El Niño, exercem impactos diretos e severos na logística de distribuição de petróleo e gás no interior do Amazonas. A discussão evidencia que a vulnerabilidade logística está intrinsecamente ligada às oscilações do regime hidrológico amazônico, o que reforça a necessidade de estratégias de adaptação que contemplem tanto o monitoramento climático quanto a diversificação das rotas de escoamento. Além disso, a integração entre modelos preditivos de variabilidade hidrológica e planejamento logístico pode representar um avanço significativo para a mitigação de riscos operacionais na região. Portanto, o impacto do El Niño sobre a logística do petróleo no Amazonas transcende os aspectos operacionais, configurando-se como um desafio de natureza sistêmica, que articula variabilidade climática, infraestrutura hidroviária e vulnerabilidade socioambiental. A consolidação de políticas públicas de adaptação e investimentos em tecnologia de monitoramento será fundamental para garantir a resiliência do setor energético e a segurança das comunidades amazônicas diante da intensificação dos eventos extremos prevista para as próximas décadas.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à Universidade Federal do Amazonas pela oferta de Editais de Iniciação Científica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico). HidroWeb: Sistemas de Informações Hidrológicas - Níveis fluviométricos. Disponível em: https://www.snirh.gov.br/hidroweb/. Acesso em: 2024.

Aragão, L. E. O. C. *et al*. Widespread deforestation and the new battle for the Amazon. Science, v. 318, n. 5857, p. 1386-1387, 2007.

Espinoza, J. C. *et al*. Water balance of the Amazon basin: an evaluation of in situ and satellite-based data and hydrological models. Journal of Hydrology, v. 409, n. 3-4, p. 636-646, 2011.

Embrapa. (2021). El Niño e La Niña: fenômenos climáticos e impactos no Brasil. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. https://www.embrapa.br gil, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

Jiménez-Muñoz, J. C. *et al*. The 2010–2011 Amazon drought: a re-evaluation of its severity and impacts. Environmental Research Letters, v. 11, n. 12, 124017, 2016.

Marengo, J. A. Climate change in the Amazon Basin. Amazoniana, v. 12, n. 1/2, p. 57-67, 1992.

Marengo, J. A. Climate change in the Amazon and its consequences for indigenous peoples. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, v. 364, n. 1532, p. 2919-2927, 2009.

Marengo, J. A. *et al*. Climate change and the Amazon basin: a synthesis of recent studies. Dynamics of Atmospheres and Oceans, v. 66, p. 1-27, 2013.

Marconi, M. de A.; Lakatos, E. M. Fundamentos de metodologia científica. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

Minayo, M. C. de S. O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde. 12. ed. São Paulo: Hucitec, 2010.

Silva, R. F., Andrade, J. A., & Carvalho, L. Royalties do petróleo e desenvolvimento local na Amazônia brasileira. Revista de Economia e Desenvolvimento, 31(1), 111-134. 2019.

YIN, R. K. Case study research and applications: Design and methods. 6. ed. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications, 2018.

Castro, R., Giorgioni, M., De Souza, V., Ramos, M., PETROBRAS. Informações sobre o Terminal Aquaviário de Coari (TA-Coari) e operações logísticas. Relatório Interno. 2019.

HIDROGEOQUÍMICA E ISOTOPIA DE ÁGUA SUPERFICIAL, SUBTERRÂNEA E DA CHUVA NA REGIÃO DE BAGRE, PA, BACIA DO MARAJÓ

Thayna Maria Ribeiro de Souza[1]; Keila Cristina Pereira Aniceto[1]; Ingo Daniel Wahnfried[1]

[1]**Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGGEO) - Universidade Federal do Amazonas - UFAM**

thayna.souza@ufam.edu.br; keilaniceto@ufam.edu.br; iwanhfried@ufam.edu.br

RESUMO

A região ao sul da Ilha de Marajó é fortemente influenciada pela maré, o que gera processos hidroquímicos e de fluxo de água, subterrânea e superficial, que não ocorrem nas áreas da Bacia Hidrográfica do Amazonas sem esta influência. Por isso, para entender como aquíferos freáticos são influenciados por este processo, no presente projeto foram utilizados métodos hidrogeológicos, hidroquímicos e isotópicos das águas superficiais, subterrâneas e da chuva, a abordagem integrada adotada neste estudo permitirá compreender os processos de recarga do aquífero, incluindo a contribuição das áreas alagáveis e a influência da maré, característicos de ambientes estuarinos. O presente estudo tem como objetivo estabelecer a correlação entre águas superficiais, subterrâneas e da chuva, por meio da caracterização hidrogeoquímica e isotópica na região do município de Bagre e no Estreito de Breves, no estado do Pará, pertencente à Bacia do Marajó. O monitoramento hidrogeológico na área urbana de Bagre, PA, foi realizado a partir da instalação de sete piezômetros, permitindo caracterizar a heterogeneidade sedimentar e os processos hidrogeoquímicos do aquífero raso. Os perfis litológicos indicaram predominância de argilas siltosas, argilas arenosas e areia fina nas porções basais, onde foram instaladas as seções filtrantes. A análise granulométrica, conduzida por peneiramento e pipetagem, revelou o predomínio da fração arenosa (>70%), com silte e argila em menores proporções (10–15%), sugerindo meio poroso favorável à circulação de água, mas influenciado por heterogeneidade textural. As análises hidroquímicas evidenciaram pH predominantemente ácido (4,3–6,3) e variação de condutividade elétrica entre sistemas superficiais e subterrâneos. As medições de nível d'água revelaram comportamento similar entre piezômetros, com respostas mais marcantes ao regime pluviométrico histórico a partir de 2025, destacando a influência da recarga sazonal. Os dados obtidos contribuirão para a elaboração de modelos conceituais e quantitativos de fluxo hídrico subterrâneo e para o avanço do conhecimento sobre a dinâmica hidrogeoquímica na região amazônica.

PALAVRAS-CHAVE: Ciclo hidrológico; estuário; hidroquímica; Rio Amazonas.

INTRODUÇÃO

A Amazônia abriga o sistema hídrico mais extenso e de maior massa líquida do planeta, compreendendo as bacias do Amazonas e Tocantins-Araguaia na sua região hídrica, com uma área de cerca de 6.869.000 km² (Sioli, 1985; Cobraphi, 1984), que desaguam na zona costeira brasileira. Nos rios amazônicos observa-se uma sazonalidade bem marcada, com período chuvoso e seco bem definidos que se refletem nas propriedades físico-químicas das águas, ocorrendo gradativas alterações ao longo do tempo (Ferreira *et al*., 2012).

A região de Bagre, ao sul da Ilha de Marajó, está localizada numa região estuarina da Bacia do Rio Amazonas com influência do regime de maré, essa influência provoca oscilações no nível dos rios e igarapés, a interação dos aquíferos com corpos hídricos superficiais sujeitos a oscilação de marés gera variações nos níveis d'água nos aquíferos, além de alterações de ordem química na composição das águas subterrâneas (Braga *et al*., 2002).

A crescente escassez de água, ocasionada pela distribuição irregular de chuvas, ou até mesmo por extremos climáticos ocasionados pelas mudanças climáticas, e pela perda de qualidade de águas superficiais e subterrâneas, resultado da ação antrópica, apontam para importância do aproveitamento sustentável e gestão deste recurso (Stradioto & Kiang, 2010). Já que os aquíferos desempenham papel fundamental como fonte de abastecimento hídrico, sendo fonte confiável mesmo com a mudança em regime de chuvas e estratégico para segurança hídrica da população dessas regiões.

A realização deste trabalho permitirá o melhor entendimento dos aspectos hidrogeoquímicos e hidrogeológicos da região, de forma a entender os processos que controlam a qualidade e a dinâmica dos recursos hídricos, a partir da caracterização hidrogeoquímica dos três meios: água subterrânea, superficial e da chuva, e análise do fluxo de elementos químicos nestes meios, de acordo com a sazonalidade, que em conjunto com a caracterização isotópica permitirá determinar qual o meio de origem da água de recarga do aquífero.

Desta forma, considerando o contexto regional, surge a questão: a recarga de aquíferos, além da precipitação pluviométrica, pode ocorrer a partir da inundação de áreas alagáveis dos rios? Fazer o monitoramento integrado de parâmetros hidrogeoquímicos e isotópicos, em água superficial, subterrânea e da chuva, permite integrar um conjunto de dados e identificar processos que podem influenciar na relação destes meios. Assim o objetivo geral deste projeto é estabelecer a correlação entre água superficial, subterrânea e da chuva a partir da caracterização hidrogeoquímica e isotópica das águas dos rios da região do município de Bagre e do Canal de Breves (PA).

Objetivos Específicos:

i. Caracterizar a hidrogeoquímica de água superficial, subterrânea e da chuva na região;

ii. Analisar o fluxo de elementos maiores e traços entre água superficial, subterrânea e da chuva;

iii. Caracterizar os isótopos estáveis de água superficial, subterrânea e da chuva na região e correlacionar os dados de hidrogeoquímica com mesmo desenho amostral de isótopos;

vi. Determinar e interpretar a variação temporal a partir de amostragens de água realizadas duas vezes ao longo de um ano.

Localização da área de estudo

A área de estudo localiza-se no estado do Pará, na região norte do Brasil, no município de Bagre e no Estreito de Breves, na Bacia do Marajó (Figura 1). O Estreito de Breves está localizado na confluência das águas do rio Amazonas com o rio Pará, esta região é um sistema estuarino com vários canais do Arquipélago do Marajó.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada compreende quatro etapas principais: etapa pré-campo, campanhas de campo, análises laboratoriais e integração dos dados.

Na etapa pré-campo, realizou-se uma revisão bibliográfica focada nos aspectos geológicos, geoquímicos e hídricos da área de estudo. Paralelamente, houve a preparação dos materiais necessários para as coletas e análises a serem realizadas em campo, tais como frascos, kits de filtragem, ácidos conservantes e sondas multiparamétricas.

O projeto prevê ao menos três campanhas de campo para a instalação de piezômetros, coleta de amostras de água e análise de parâmetros físico-químicos, de modo a contemplar períodos distintos, como épocas de cheia e de seca. Em junho de 2024, foi realizada a primeira campanha no município de Bagre, com a instalação de cinco piezômetros, sendo que em dois deles está ocorrendo coleta diária do nível d'água por um morador local. A segunda campanha ocorreu em maio de 2025, contemplando a instalação de mais dois piezômetros, um pluviômetro, um coletor de água da chuva, um extrator de água da zona não saturada do solo e medição de vazão com ADCP. Nessa etapa, também foram coletadas amostras de água dos piezômetros já instalados e dos principais canais do município para análises hidroquímicas e isotópicas. Os parâmetros físico-químicos — pH, condutividade elétrica, temperatura, oxigênio dissolvido, potencial redox (Eh) e alcalinidade — foram medidos in situ. As amostras foram acondicionadas em frascos específicos para análises de íons, metais e isótopos e encaminhadas aos laboratórios da UFAM, INPA e USP. No momento, as análises de cátions, ânions e sílica estão sendo realizadas no Laboratório de Geoquímica do Departamento de Geociências da Universidade Federal do Amazonas.

Na etapa laboratorial, os principais cátions e ânions serão analisados por cromatografia iônica, enquanto os metais traço serão determinados por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES). Os resultados serão interpretados por meio de diagramas hidrogeoquímicos, levando em consideração a sazonalidade.

Por fim, na etapa de integração de dados, os resultados obtidos serão organizados e avaliados estatisticamente, com base nas metodologias de Hem (1985) e Lousada & Campos (2011), visando compreender a dinâmica hidrogeoquímica e isotópica das águas da região. Essa análise subsidiará a elaboração da dissertação e de artigos científicos.

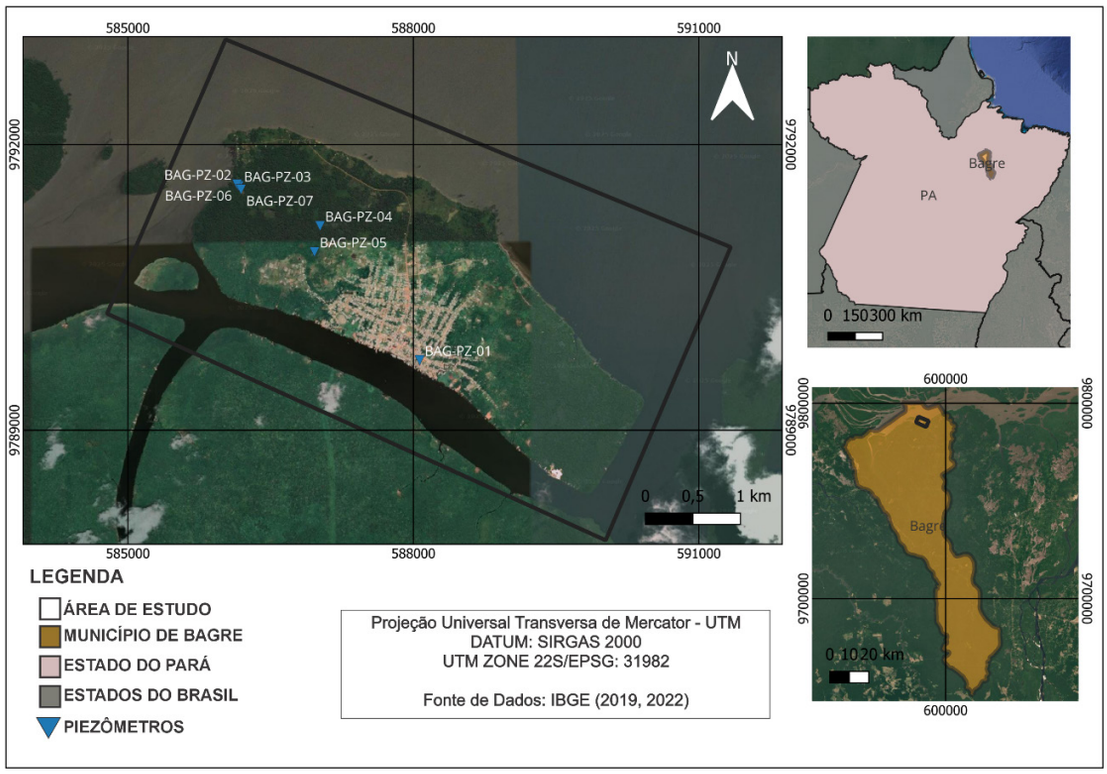


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo e dos piezômetros instalados.

RESULTADOS

Perfis construtivos e sedimentológicos dos piezômetros

Foram elaborados perfis construtivos e sedimentológicos dos sete piezômetros instalados no município de Bagre. Todos os piezômetros foram confeccionados com tubos de PVC de 50 mm de diâmetro, na base de cada piezômetro, foi instalado um filtro de 50 cm de comprimento, posicionado na zona de interesse hidrogeológico. A análise granulométrica foi realizada em cinco dos sete piezômetros instalados na sede municipal de Bagre, foi realizada a partir da combinação do método de peneiramento, aplicado à fração arenosa, e do método de pipetagem, aplicado para a determinação das frações de silte e argila. Os resultados das camadas com profundidades variando de 3,2 m – 4,2 m (localização dos filtros nos piezômetros) evidenciam o predomínio da fração arenosa, com valores superiores a 70%, o silte e a argila ocorrem em menores quantidades, mas de forma consistente, alcançando 10-15% nas amostras.

A predominância de areia indica que a circulação de água pode ser favorecida devido à maior porosidade e permeabilidade desses grãos, entretanto, a presença consistente de frações finas pode influenciar significativamente nos valores de condutividade hidráulica, indicando uma heterogeneidade do meio poroso.

Medição do nível d'água

O nível d'água nos piezômetros BAG-PZ-02 e BAG-PZ-03 vem sendo monitorado diariamente por um morador local, com uma fita métrica. Essa frequência permite a análise das variações sazonais do nível de água freático na área de estudo, que são influenciados por variação do nível do rio, intensidade de precipitação. O nível de água do aquífero freático também pode ser influenciado pela maré na região, mas as medições feitas manualmente, uma vez ao dia, não têm frequência adequada para captar sua influência. Por isso foram instalados medidores automáticos *HOBO (Water level logger),* no piezômetro BAG-PZ-03, com frequência de medição inicial de 15 minutos no intervalo de 1 hora e após isso medições de 30 minutos, que registrarão dados pelos próximos 6 meses.

Assim darão subsídio para a interpretação dos parâmetros físico-químicos e isotópicos da água subterrânea ao longo do tempo. Essa abordagem também contribuirá para a calibração de modelos conceituais e quantitativos de fluxo subterrâneo na região.

Parâmetros físico-químicos

Foram analisados os dados físico-químicos pH, temperatura, condutividade elétrica e potencial de oxirredução (ORP) da água superficial e subterrânea. Estes dados foram agrupados na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros físico-químicos dos pontos de estudo.

Pontos	pH	Temperatura (ºC)	ORP (mV)	C.E (µS/cm)	Alcalinidade
Furo do Bagre	6,3	30,8	317	18,9	9,0
Igarapé (Maré Baixa)	5,8	29,7	311	27	4,0
Igarapé (Maré Alta)	6,3	33,2	357	19,2	4,0
BAG-PZ-02	6,0	29,2	130	60,6	6,0
BAG-PZ-03	5,5	28,9	139	82,9	4,0
BAG-PZ-04	6,0	27,7	238	293	14,0
BAG-PZ-05	6,3	27,5	88	326	9,0
BAG-PZ-06	-	-	-	-	-
BAG-PZ-07	6,2	28,8	58	195,9	7,0
Extrator de água	4,3	27,1	342	527	12,0

DISCUSSÕES

As análises estão em andamento até a escrita deste resumo, mas com base nos parâmetros físico-químicos medidos *in situ* pode-se avaliar que o pH variou entre 4,3 (extrator de água da zona não saturada) e 6,3, indicando condições ácidas, com valores mais baixos para ambientes onde há maior interação com matéria orgânica e solos oxidados. A temperatura das amostras oscilou entre 27,1 °C e 33,2 °C, com os valores mais elevados observados nos corpos hídricos superficiais, como o igarapé durante a maré alta, possivelmente devido à maior exposição solar.

O ORP apresentou ampla variação, entre 58 mV (BAG-PZ-07) e 357 mV (Igarapé na maré alta), sugerindo desde condições levemente redutoras até ambientes mais oxidantes.

Em conjunto, os dados apontam para diferenças entre os ambientes superficial e subterrâneo, com influência da localização, profundidade e tipo de ambiente de coleta nos parâmetros observados. Esses resultados preliminares são fundamentais para a compreensão da dinâmica hidrogeoquímica local e subsidiam as análises hidroquímicas e isotópicas em andamento.

CONCLUSÕES

A pesquisa ainda está em andamento e a partir dos trabalhos de campo e análises a serem realizadas busca-se fazer o monitoramento integrado de parâmetros hidrogeoquímicos e isotópicos, em água superficial, subterrânea e da chuva, que irá permitir integrar um conjunto de informações e identificar processos que podem influenciar na relação destes meios, como entender se a recarga de aquíferos recebe maior influência, além da precipitação pluviométrica, da inundação de áreas alagáveis dos rios. Outro fator importante para entender a dinâmica entre estes meios, por ser uma região estuarina, é a influência da maré.

AGRADECIMENTOS

O presente projeto tem suporte financeiro da Fundação de Amparo à pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM, através do edital nº.001/2023 Universal FAPEAM 20 Anos; do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, através do edital Universal CNPq/MCTI nº.10/2023; e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo-FAPESP, através do Programa de Pesquisa sobre Mudanças Climáticas Globais, (PFPMCG-Projeto de Pesquisa Temático).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Braga, C.E., Lage, I.C., Silva Junior, G.C., Freitas, A.F.D., Bento, E.S. (2002). O comportamento hidroquímico e hidrodinâmico de aquífero sob influência do efeito-maré. *XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas.*

Cobraphi. (1984). Hidrologia e climatologia na região Amazônica brasileira. Informação disponível e atividade em desenvolvimento. In: *SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE HIDROLOGIA E CLIMATOLOGIA DA AMAZÔNIA*. Manaus-AM, 1984.

Ferreira, S. J. F., Miranda, S. A. F., Marques Filho, A. O., Silva, C. C. (2012). Efeito da pressão antrópica sobre igarapés na Reserva Florestal Adolpho Ducke, área de floresta na Amazônia Central**.** *Acta Amazonica*, Manaus, v. 42, n. 4, p. 533 – 540, 2012. http://dx.doi.org/10.1590/S0044- 59672012000400011.

Hem, J.D. (1985). Study and interpretation of the Chemical Characteristics of natural water**.** USGS. P. 162-190.

Lousada, E.O., Campos, J.E.G. (2011). Estudos isotópicos em águas subterrâneas do Distrito Federal: subsídios ao modelo conceitual de fluxo**.** *Revista Brasileira de Geociências, volume 41 (2).*

Sioli, H. (1985). Amazônia: Fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais. Rio de Janeiro, 1985.

Stradioto,M.R. e Kiang,C.H. (2010). Caracterização hidroquímica e isotópica das águas superficiais, pluviais e subterrâneas do município de Rio Claro/SP. *XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços.*

CARTAS DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA E INUNDAÇÕES: IRANDUBA (AM)

Elton Rodrigo Andretta[1]; Iris Celeste Nascimento Bandeira[1]

[1] Serviço Geológico do Brasil - SGB

elton.andretta@sgb.gov.br; iris.bandeira@sgb.gov.br

RESUMO

A suscetibilidade refere-se à propensão natural do terreno ao desenvolvimento de um fenômeno ou processo. Neste trabalho, está relacionada à ocorrência de movimentos de massa e de inundações no município de Iranduba, com a perspectiva de subsidiar a prevenção de desastres naturais. O levantamento consistiu na modelagem matemática feita em escritório, posteriormente validada em trabalho de campo. As áreas foram classificadas em três níveis de suscetibilidade — alta, média e baixa — tanto para movimentos de massa quanto para inundações. Após a validação e correção, os dados foram consolidados na forma de uma carta temática, representando espacialmente os polígonos de suscetibilidade. Geologicamente, o município está sobre rochas sedimentares das Formações Alter do Chão e Içá, que predominam nas áreas de relevo mais elevado. Essas formações são recobertas por crostas lateríticas (Plintossolos) e Latossolos Amarelos, resultantes da alteração dessas rochas. Já nas porções mais baixas, associadas às planícies de inundação, fluviolacustres, ilhas e terraços fluviais, predominam sedimentos inconsolidados de origem aluvionar e terraços holocênicos, formados por depósitos arenosos, silto-argilosos e orgânicos. O relevo é caracterizado por baixa amplitude altimétrica e composto por diferentes unidades geomorfológicas. Nas porções mais elevadas, que atingem até 90 metros de altitude, ocorrem os chamados baixos platôs, com topos aplainados e encostas suaves a moderadas. Em áreas adjacentes, a dissecação mais intensa do relevo dá origem aos baixos platôs dissecados e, sobre a Formação Içá, ocorrem tabuleiros dissecados. Esses locais estão mais suscetíveis a movimentos de massa, principalmente deslizamentos. Nas cotas mais baixas, próximas ao rio Solimões e seus afluentes, ocorrem as planícies de inundação, planícies fluviolacustres, ilhas e terraços fluviais. Essas áreas, por sua vez, estão suscetíveis a inundações sazonais e a processos erosivos de margem (terras caídas). Como resultado, foi elaborada a Carta de Suscetibilidade do município de Iranduba, na qual foram representadas as áreas com diferentes níveis de propensão à ocorrência de movimentos gravitacionais de massa e inundações.

PALAVRAS-CHAVE: Suscetibilidade; Iranduba; Terras Caídas; Inundações;

INTRODUÇÃO

Suscetibilidade é a propensão natural dos terrenos ao desenvolvimento de um fenômeno ou processo do meio físico, sem levar em conta a variável temporal e de recorrência. (CPRM; IPT, 2014).

As Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações são elaboradas nos municípios brasileiros em atenção às diretrizes estabelecidas pela Lei Federal 12.608/2012, que estabelece a PNPDEC (Política Nacional de Proteção e Defesa Civil). Tais cartas são registros cartográficos onde são representadas espacialmente as possibilidades de ocorrência de um determinado evento, no caso deste projeto, se referem à ocorrência de movimentos gravitacionais de massa e inundações no município de Iranduba – AM.

Este trabalho tem por objetivo fornecer importantes informações sobre o terreno e suas características geológicas e geomorfológicas, auxiliando no planejamento do uso e ocupação do solo (Plano Diretor), no plano de contingência de proteção e defesa civil, implantação de obras e serviços, elaboração de ZEEs, base para cartas geotécnicas e de perigo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram executadas duas modelagens distintas, a de inundação e a de movimento de massa. Para o procedimento em SIG foi utilizado o software QGIS 3.4.

O modelo de inundação exige a entrada de dois tipos de dados:

(I) - Dados derivados de Modelos Digitais de Elevação (MDE) na melhor qualidade disponível. No município foi utilizado dados SRTM utilizados na correção radiométrica das imagens ALOS PALSAR RTC, pré-processados pela Alaska Satellite Facility, com resolução espacial de 12,5 m (ASF, 2015).

(II) - Mapeamento dos padrões de relevo em escala adequada ao projeto. Para o mapeamento do relevo foi feito em escala 1:50.000, devido a qualidade dos MDE`s disponíveis. Este dado fornecido pela equipe de executora do SGB.

A metodologia consistiu na combinação de três variáveis: relevo, altitude e distância vertical à drenagem mais próxima. Esta última dada pelo modelo normalizado de terreno, denominado HAND - Height Above the Nearest Drainage (Rennó *et al*., 2008).

Para o modelo de movimentos gravitacionais de massa, também foi utilizado os MDE, a partir dele é extraído o relevo sombreado, de onde são gerados os mapas de declividade, de curvatura, e por último de densidade de lineamentos.

Após é calculado o ISD (índice de suscetibilidade a deslizamento) para cada fator, a soma desses três índices gerou a modelagem a movimento de massa final.

Com as modelagens em mãos a equipe de mapeamento foi para campo, ficando responsável pelo registro (descrição e fotos) dos pontos visitados e fizeram os ajustes necessários nos polígonos delimitados nos pré-mapas pela modelagem espacial a partir

da checagem e observação em campo. Durante as etapas de campo a equipe levou além dos pré-mapas oriundos da modelagem, o mapa dos padrões de relevo, mapa geológico e de solo além das bases planimétricas disponíveis.

Nos trabalhos de campo, foram visitados diversos pontos, os quais eram representativos entre as classes de suscetibilidades, relevo, geologia e solos.

Os trabalhos de campo foram executados com o auxílio de tablets, que contem aplicativos de georreferenciamento como o Qfield, o qual permite maior agilidade e praticidade na execução.

De volta ao escritório, as correções dos modelos foram feitas de forma manual em ambiente SIG para adequação à realidade de campo e também foram inseridas novas feições identificadas em campo.

Por final foi gerado a carta de suscetibilidade de Iranduba contendo cartogramas, legenda, localização, mapa de suscetibilidade, nota técnica e créditos.

RESULTADOS

Os resultados mostraram que o município de Iranduba apresenta três classes de suscetibilidade, com intervalos que variam entre: baixa; média e alta suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e a inundacao.

Com a maior percentagem de áreas a movimento de massa baixo. E uma extensa área com alta suscetibilidade a inundação (Figura 1).

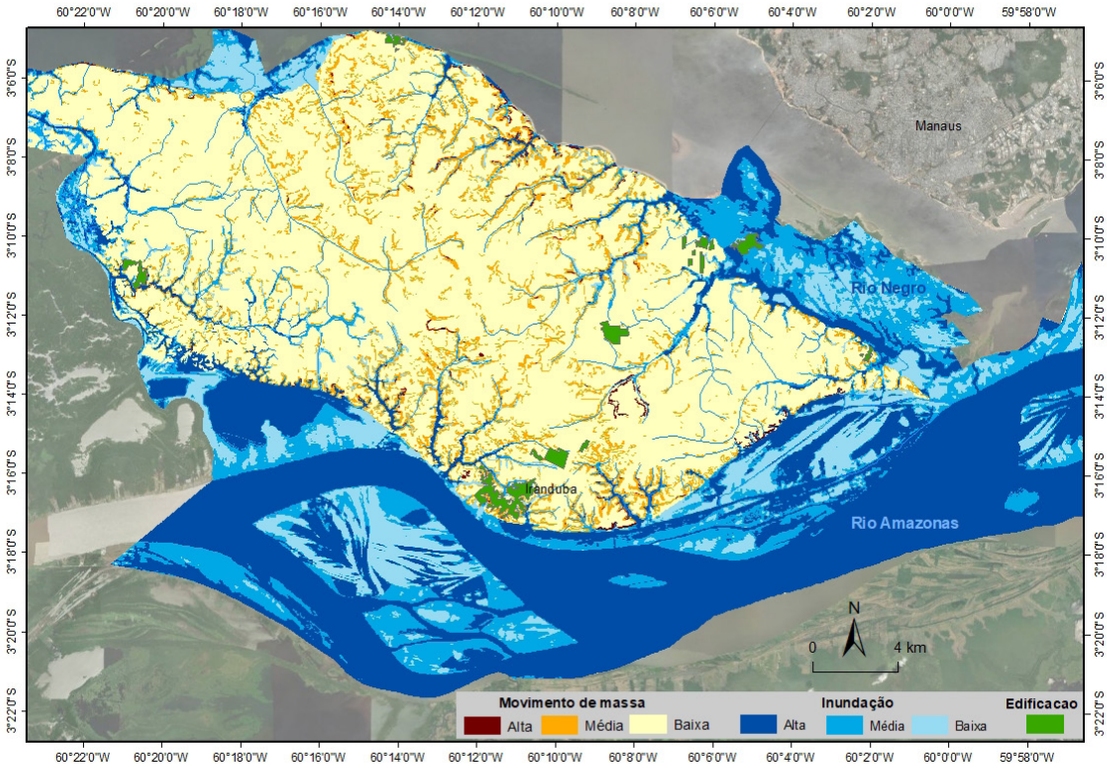


Figura 1 – Mapa de suscetibilidade a movimento de massa e inundação da porção oeste do Iranduba-Amazonas-Brasil.

Movimento de massa

As áreas de movimento de massa baixo correspondem a mais de 59% da área de estudo e estão associadas ao topo plano dos baixos platôs, baixo platô dissecado e tabuleiros dissecados (Figura 2-A). Apesar da baixa suscetibilidade a deslizamento pode apresentas suscetibilidade a processos erosivos, principalmente sobre sedimentos arenosos.

As áreas com movimento de massa médio estão espacializadas em 6,2% da área visitada e caracterizam-se por taludes de amplitudes entre 8 a 15 m e declividades de 12 a 20º localizados entre a drenagem e o talude dos baixos platô dissecado e tabuleiro dissecado (Figura 2-B), sustentados por material pouco consolidado formado por areais e siltes argilosos, com suscetibilidade a processos erosivos e a deslizamentos.

As áreas de movimento de massa alto apresentam amplitudes que variam entre 14 a 30m e declividades de 18 a 80º. Estão vinculadas principalmente ao relevo de rebordos erosivos (Figura 2-C) e secundariamente aos baixos platô dissecado e tabuleiros dissecados, que estão sustentados por sedimentos da Formação Alter do Chão e Formação Iça. Regiões com fortes restrições para ocupação.

Inundação

As áreas de suscetibilidade baixa as inundações correspondem ao relevo terraços e ilhas fluviais com amplitudes e declividades baixas, até 5º (Figura 3-A).

São regiões atingidas somente pela cheia extrema, com altura de inundação acima de 5 metros em relação à borda da calha do leito regular do curso do rio.

As áreas de media suscetibilidade a inundação apresentam altura de inundação entre 2 e 4 metros em relação à borda da calha do leito regular do curso d'água. Locais atingidos sazonalmente no período das cheias anuais (Figura 3-B). Planícies de inundação, lagos e drenagens intermitentes.

Nas áreas de alta suscetibilidade são frequentemente inundadas, ficam grande parte do ano sobre as águas, como lagos, igarapés e rios perenes (Figura 3-C).

Toda essa região de planície apresenta solos hidromórficos e não hidromórficos, em terrenos argilo-arenosos e com nível d'água subterrâneo pouco profundo. E além da inundação são estão suscetíveis a erosões e deslizamentos de suas margens, e também ao movimento de terras caídas.

Figura 2 – A) Topo plano de baixo platô com baixa suscetibilidade a movimento de massa. B) Talude de tabuleiro dissecado com media suscetibilidade a deslizamento. C) Rebordos erosivos com alta suscetibilidade a movimento de massa.

Figura 3 – A) Planície aluvial mais elevada. B) Planície aluvial coberta por agua do período de cheia. C) Planície aluvial frequentemente inundada.

DISCUSSÕES

As áreas com baixa suscetibilidade a movimento de massa apresentam boa aptidão a ocupação. No entanto, devem ser feitos estudos mais aprofundados quanto a erodibilidade do terreno frente ao desmatamento e ocupação, evitando a formação de processos erosivos.

As áreas de média e alta suscetibilidade a movimento de massa apresentam restrições para ocupação segundo a Lei Federal n. 6.766/79. Uma vez que as ocupações nessas regiões com média a alta declividade apresentam desafios significativos devido ao risco de deslizamentos, erosão e outros problemas sócio ambientais, a execução de um planejamento territorial adequado, que resguarde a vegetação das áreas de preservação permanente, como margem dos rios, áreas de recarga de aquíferos, assim como as bordas e encostas dos baixos platôs dissecados e dos tabuleiros dissecados. Evitando a instalação de processos erosivos, como ravinas e voçorocas.

E as áreas de inundação necessitam de uma gestão territorial mais especifica que envolva a dinâmica da inundacao, com os multiplos usos dessa região, uma vez que a mesma apresenta alto potencial biológico, nutricional, importantes para a agricultura, pesca e outras atividades ribeirinhas.

CONCLUSÕES

O município de Iranduba (AM) apresenta áreas com diferentes graus de suscetibilidade a movimentos de massa e inundações, fortemente condicionadas por fatores geológicos, geomorfológicos e hidrológicos. As porções com terrenos dissecados e de-

clivosos, concentram os riscos de deslizamento, enquanto as planícies associadas ao rio Solimões e seus afluentes apresentam alta propensão a inundações sazonais e processos de erosão de margem. A Carta de Suscetibilidade elaborada neste estudo é uma ferramenta essencial para o planejamento urbano, gestão de riscos e formulação de políticas públicas voltadas à ocupação segura e à redução de desastres naturais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASF - Alaska Satellite Facility. (2015). Radiometrically Terrain Corrected ALOS PALSAR products. Product Guide, revision 1.2. Fairbanks, Alaska: [s.n.]. Disponível em: <https://asf.alaska.edu/wpcontent/uploads/2019/03/rtc_product_guide_v1.2.pdf>.

BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm

BRASIL. Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6766.htm.

CPRM, IPT. (2014). Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: 1:25.000 (livro eletrônico): nota técnica explicativa / coordenação Omar Yazbek Bitar.-- São Paulo : IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo ; Brasília, DF :

Rennó C.D., Nobre A. D., Cuartas, L. A., Soares, J. V., Hodnett, M. G., Tomasella, J., Waterloo, M. J. (2008). HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM; Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. Remote Sensing of Environment, 112 (9):3469-3481.

ANÁLISE HIDROQUÍMICA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA PROVENIENTE DO AQUÍFERO ALUVIONAR E ALTER DO CHÃO NA REGIÃO DE ANAVILHANAS, MUNICÍPIO DE NOVO AIRÃO – AMAZONAS

Thainá Ferreira de Souza [1]; Alderlene Pimentel de Brito [1]; Ingo Daniel Wahnfried[1]; Thayna Maria Ribeiro de Souza[1]

[1] Universidade Federal do Amazonas - UFAM

thaina.souza@ufam.edu.br*; *alderlenebrito@gmail.com*; iwahnfried@ufam.edu.br; *thayna.souza@ufam.edu.br

RESUMO

A interação entre águas subterrâneas e superficiais é geralmente representada de forma simplificada no ciclo hidrológico, mas envolve processos complexos que variam conforme as características geológicas e hidrogeoquímicas locais. Este trabalho tem como objetivo analisar as relações hidroquímicas e realizar a caracterização físico-química das águas subterrâneas e superficiais na região de Anavilhanas, município de Novo Airão (AM), onde essa interação ocorre entre os sistemas aquíferos Alter do Chão, Aluvionar e o rio Negro. Foram realizadas coletas de água subterrânea em piezômetros de monitoramento e de água superficial no rio Negro, em julho e em outubro de 2024. Os parâmetros físico-químicos (pH, temperatura, condutividade elétrica e potencial de oxirredução) foram medidos em campo. As análises laboratoriais contemplaram os cátions e ânions maiores, além da alcalinidade e da sílica. As amostras do rio Negro mostraram pH ácido, baixa condutividade elétrica e ambiente oxidante, características típicas de rios de águas pretas da região amazônica. Por outro lado, as águas subterrâneas apresentaram pH mais elevado, maior condutividade elétrica e variações no potencial de oxirredução, com identificação de ambientes redutores em alguns pontos. As amostras de água subterrânea revelaram concentrações mais elevadas de SiO_2 e Na^+ em relação às demais amostras. Diferenças nas concentrações de Ca^{2+}, Mg^{2+} e, por vezes, SO_4^{2-}, bem como de Cl^- e NO_3^- nas amostras dos piezômetros, sugerem uma interação mais intensa da água com a mineralogia rica nesses íons específicos e influências de contaminação pontual, respectivamente. Diante dos indícios de contaminação, surgiu a necessidade de instalar outro piezômetro na margem direita do rio Negro. O projeto que fundamenta este trabalho está em andamento e já conta com mais dois piezômetros rasos instalados, um na ilha e outro na margem direita (NAIPZ03 e NAIPZ04). No momento, os piezômetros já foram desenvolvidos, amostras de água foram coletadas e encaminhadas para análise.

PALAVRAS-CHAVE: Hidroquímica; Águas subterrâneas; rio Negro; Anavilhanas.

INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas desempenham um papel fundamental na sustentabilidade dos ecossistemas e no atendimento das demandas hídricas da sociedade (Ntona *et al*., 2022). Como componentes do ciclo hidrológico, as águas subterrâneas e superficiais constituem um único recurso e não componentes isolados, devendo, por isso, serem gerenciadas como partes integradas que se inter-relacionam (Silva, 2007). A compreensão das complexas interações entre esses componentes é essencial para um planejamento e gerenciamento sustentável dos recursos hídricos (Ntona *et al*., 2022).

No contexto da Bacia Amazônica, o rio Negro é o principal afluente da margem esquerda do rio Amazonas. classificado com rio de águas pretas devido ao grande conteúdo de substâncias húmicas e fúlvicas dissolvidas, dando-lhe um caráter ácido (Sioli, 1967).

Rios-Villamizar *et al*. (2020) analisaram características físico-químicas e destacaram os valores de pH entre 3,5 e 5,5 e condutividade elétrica entre 3,75 e 28 µS.cm-1. No baixo curso do rio Negro, em Anavilhanas, Moreira (2019) determina os parâmetros físicos e químicos da água do rio Negro, evidenciando elevadas concentrações de matéria orgânica dissolvida, 7,41 a 13,52 mg/L, caráter ácido, pH entre 3,91 a 5,68;, baixa condutividade elétrica, 9,12 a 14,89 µS cm-1, revelando a pobreza de sais dissolvidos em suas águas e o potencial redox indicando que o ambiente aquático varia de transicional para ambiente isolado da atmosfera com caráter ácido, 103,39 ± 26,49 mV.

Na busca de identificar a ocorrência de contaminações, a caracterização hidroquímica de aquíferos freáticos na área urbana de Novo Airão, Ribeiro *et al*. (2024) apresentaram média dos valores de temperatura de 28,3 °C; pH de 4,1, caracterizando águas mais ácidas do que a faixa de referência indicado na portaria MS 888/2021, que são valores entre 6,0 e 9,0 e valores de potencial de óxido-redução (Eh, ou ORP) com mediana de 20,6 mV, indicando predomínio de condições levemente oxidantes. O valor mediano para a condutividade elétrica (CE) encontrado foi de 47,9 µS/cm. Segundo Pita *et al*. (2018), as águas da porção superior do aquífero a oeste da cidade de Manaus (120 a 130 m de profundidade são de origem meteórica e pouco mineralizadas e as águas mais profundas (acima de 130 m metros de profundidade), mais mineralizadas devido a um maior tempo de residência e processos de interação água-rocha intensos.

Neste contexto, a área de estudo deste projeto está situada no Arquipélago de Anavilhanas, considerado o segundo maior arquipélago fluvial do mundo, localizado na região do baixo curso do rio Negro, principal afluente da margem esquerda do rio Amazonas. Localizado nos municípios de Manaus e Novo Airão, no estado do Amazonas, este arquipélago abriga o Parque Nacional de Anavilhanas (PNA), unidade de conservação federal criada com o objetivo de preservar o arquipélago fluvial e suas diversas formações florestais (ICMBio, 2023; Marinho *et al*., 2019).

Diante da importância do estudo da hidroquimica das águas subterrâneas e sua interação com as águas superficiais e o meio geológico. O objetivo deste trabalho é analisar as relações hidroquímicas dos entre o Aquífero Alter do Chão, Aluvionar e rio Negro a fim de entender quais os fatores que controlam a composição hidroquímica das águas subterrâneas e do rio Negro na região de Anavilhanas e como esses sistemas hídricos interagem.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo está localizada na região do Arquipélago de Anavilhanas no município de Novo Airão, no estado do Amazonas, onde está localizado o Parque Nacional de Anavilhanas. Nesta região, afloram rochas da Formação Nhamundá, Formação Alter do Chão, que abriga o Sistema Aquífero Alter do Chão, e Depósitos aluvionares (Barbosa, 2015; SGB, 2009).

Amostragem

Os métodos aplicados neste trabalho envolvem a instalação de piezômetros em uma das ilhas de Anavilhanas em frente à cidade (NAIPZ01), e piezômetros à margem direita do rio Negro na sede municipal de Novo Airão (NAIPZ02). Os piezômetros viabilizam a coleta de água subterrânea, medição dos parâmetros físico-químicos em campo para posterior análise em laboratório. O seu processo de instalação também possibilitou a coleta de sedimentos. Esses sedimentos passarão por análise granulométrica para correlação com as análises químicas da água.

O procedimento de coleta de água inicia com o bombeamento dos piezômetros mais profundos (15 e 30 m) e o desenvolvimento com uma mangueira adaptada dos piezômetros mais rasos (7 m), após a retirada de três vezes o volume de água presente dentro do piezômetro ou até ele secar por completo, a água bombeada passa a ser representativa do aquífero.

Durante a amostragem, são feitas medições dos parâmetros físico-químicos: condutividade elétrica (CE), potencial hidrogeniônico (pH), potencial de oxirredução (ORP ou Eh) e temperatura (T) com a utilização da sonda multiparâmetro YSI. e um pHmetro de bolso pHep HANNA. somente após a estabilização destes parâmetros que é feita a amostragem da água. O Armazenamento e transporte das amostras seguem a Norma nº 6410 da CETESB, relativa à amostragem e monitoramento das águas subterrâneas.

Análises Químicas

As análises efetuadas foram: alcalinidade, análise de cátions e ânions principais e sílica.

A determinação da alcalinidade foi realizada em período sempre inferior a 24 horas após a coleta, evitando a alteração do pH quando em contato com o ar atmosférico. Através da aplicação do método por titulação com indicador ácido-base alaranjado de metila ($C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$) e da Equação 1.

$$[alcalinidade] = \frac{Volume\ ácido\ e\ Molaridade\ do\ ácido\ *50\ *1000}{Volume\ amostra} \quad (1)$$

As análises de cátions e ânions por Cromatografia Líquida e Espectrometria de Absorção Atômica foram realizadas no Laboratório de Recursos Hídricos do INPA, e as análises de sílica no Laboratório de Geoquímica da UFAM.

RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta os dados físico-químicos pH, temperatura, condutividade elétrica (C.E.) e potencial de oxirredução (ORP) da água superficial e subterrânea. Com ênfase para a água do rio Negro que possui medições em datas diferentes, em julho e a outra em outubro.

A água do rio Negro apresenta valores ácidos, com pH de 4,60 e 4,97. Já as amostras subterrâneas têm pH mais elevado, 6,20 no NAIPZ01 e 5,10 em NAIPZ02, indicando uma menor acidez. As temperaturas são relativamente semelhantes entre as amostras, variando entre 28,80 e 32,78 °C. As águas subterrâneas apresentam temperaturas ligeiramente mais baixas, o que é comum devido à menor exposição à luz solar direta.

A condutividade elétrica é consideravelmente maior nas águas subterrâneas, com destaque para NAIPZ01 (141,90 µS/cm), indicando uma maior concentração de íons dissolvidos, o que sugere interação intensa com minerais do aquífero. Em contraste, as águas superficiais têm condutividade bem menor, especialmente no Rio Negro (8,00 µS/cm).

As amostras de água superficial e subterrânea apresentam diferenças significativas no Potencial de Oxirredução (ORP). O rio Negro apresenta um ORP de 377,00 mV, indicando um ambiente mais oxidante. A água subterrânea de NAIPZ01, com ORP negativo (-96,60 mV), sugere condições redutoras.

A Tabela 2 apresenta os dados de concentração de íons e compostos em mg/L em três tipos de amostras de água: água do rio Negro, água subterrânea dos piezômetros de monitoramento NAIPZ01 e NAIPZ02 coletadas em julho de 2024.

A água subterrânea de NAIPZ01 mostra uma concentração elevada da SiO_2 (15,35 mg/L) e Na^+ (16,60 mg/L) em comparação com as outras amostras. Esse aumento pode estar associado à interação mais intensa da água com a mineralogia rica nesses íons específicos, facilitando a troca iônica.

A água subterrânea de NAIPZ02 apresenta maiores concentrações de Ca^{2+} e Mg^{2+} em relação às demais amostras. Esta água também apresenta valores mais elevados de Cl^- (2,34 mg/L) e NO_3^- (5,13 mg/L) do que nas outras amostras, o que pode indicar diferentes origens ou influências de contaminação pontual na água subterrânea.

A água subterrânea de NAIPZ01 apresenta uma concentração maior de sulfato SO_4^{2-} (4,01 mg/L), enquanto a água do Rio Negro e a de NAIPZ02 possuem concentrações mais baixas, sugerindo uma possível interação com minerais sulfatados na região de NAIPZ01.

O cálculo da alcalinidade resultou em valores de mg CaCo3/L significativos na água subterrânea (58,00 mg/L em NAIPZ01 e 11,00 mg/L em NAIPZ02), indicando maior contribuição de processos de dissolução de minerais nas águas subterrâneas.

Tabela 1. Parâmetros físico-químicos da água superficial do rio Negro e da água subterrânea.

AMOSTRA	DATA	pH	temp. (ºC)	C.E. (µS/cm)	ORP (mV)
NAI - RN	27/07/2024	4.60	30.00	13.60	377.00
RIO NEGRO	15/10/2024	4.97	32.78	8.00	-
NAIPZ01 -15m	28/07/2024	6.20	28.80	141.90	-96.60
NAIPZ02	28/07/2024	5.10	28.90	45.00	324.00

Tabela 2. Concentrações dos cátions e ânions maiores em mg/L.

	NAIRN	NAPZ01-15m	NAIPZ02
Alcalinidade mgCaCo3/L	-	58.00	11.00
Na+	0.40	16.60	2.80
NH4+	0.50	0.80	0.30
K+	0.40	1.20	1.10
Mg2+	0.05	0.45	0.15
Ca2+	0.06	0.46	2.43
F-	0.03	0.03	0.04
Cl-	0.31	0.61	2.34
NO2-	0.13	0.13	0.13
Br-	0.10	0.10	0.10
NO3-	0.32	0.14	5.13
PO43-	0.18	0.12	0.12
SO42-	0.31	4.01	0.53

DISCUSSÕES

Os parâmetros físico-químicos da água do rio Negro são semelhantes aos reportados por Moreira (2019) e Rios-Villamizar *et al*. (2020), indicando ambiente ácido e oxidante, de baixa condutividade elétrica e baixo teor de sais dissolvidos. Observou-se uma variação entre enchente (julho) e seca (outubro), com aumento do pH e temperatura e redução na condutividade elétrica.

A água subterrânea apresentou temperatura e pH compatíveis com os dados de Ribeiro *et al*. (2024). A condutividade elétrica (CE) e a ORP indicam características distintas entre os piezômetros: o NAIPZ01, com baixa mineralização, sugere maior interação mineral, enquanto o NAIPZ02 indica águas meteóricas. O NAIPZ01 também sugere ambiente redutor, enquanto o NAIPZ02 sugere ambiente oxidante.

Diferenças nas concentrações de cátions e ânions entre as águas do rio e as subterrâneas são notáveis. Em especial, a concentração do Ca^{2+} no NAIPZ02 em relação ao NAIPZ01 e ao rio Negro, visto que o piezômetro é raso e não devem ocorrer minerais carbonáticos nos sedimentos locais. A alta concentração de NO_3^- e Cl^- no NAIPZ02 mostra um indício de contaminação, inviabilizando sua comparação para análise hidroquímica entre águas subterrâneas e superficiais.

CONCLUSÕES

As amostras da água do rio Negro apresentaram pH ácido, baixa condutividade e um ambiente oxidante semelhantes aos dados da literatura. As águas subterrâneas apresentaram menor acidez e uma condutividade elétrica maior, e variação entre ambiente redutor (NAIPZ01) e oxidante (NAIPZ02). As diferenças nas concentrações dos íons entre as amostras da água subterrânea reforçam a necessidade de análises mineralógicas dos sedimentos locais e o indício de contaminação pontual, acresce a importância da ampliação da rede de monitoramento e da continuidade das análises hidrogeoquímicas.

AGRADECIMENTOS

O presente projeto em andamento tem suporte financeiro da Fundação de Amparo à pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM, e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, através da chamada FAP/CNPq 003/2022, processo 01.02.016301.01068/2023-44, e da FAPEAM através do edital no. 001/2023 Universal FAPEAM 20 Anos, processo 01.02.016301.04190/2023-72.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barbosa, R. O. (2015). Estudos sedimentológicos e estratigráficos dos depósitos sedimentares quaternários do Arquipélago de Anavilhanas, município de Novo Airão (Amazônia Central) [Dissertação, Universidade Federal do Amazonas]. https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/5016

ICMBio (2023, 18 Out). *Parque Nacional de Anavilhanas – Quem Somos*. https://www.icmbio.gov.br/parnaanavilhanas/.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF HYDROGEOLOGISTS (2020). *Groundwater—more about the hidden resource*. https://iah.org/education/general-public/groundwater-hidden-resource.

Marinho, R. R., Moreira, W. P., Filizola, N. P., & Oliveira, T. C. S. de. (2019). O projeto HIDROGEOS-NEGRO no Arquipélago de Anavilhanas, Novo Airão (AM): resultados iniciais. REVISTA GEONORTE, 10(34), 153–167. https://doi.org/https://doi.org/10.21170/geonorte.2019.V.10.N.34.153.167.

Moreira, W. P. (2019). Variação espaço-temporal dos parâmetros físicos e químicos e do fluxo de elementos-traço como indicadores basais no Arquipélago Fluvial de Anavilhanas – AM [Dissertação, Universidade Federal do Amazonas]. https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/7281.

Ntona, M. M., Busico, G., Mastrocicco, M., & Kazakis, N. (2022). Modeling groundwater and surface water interaction: An overview of current status and future challenges. Science of the Total Environment, 846. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157355.

Pita, R. C. dos S., Silva Júnior, G. C. da, Rosário, F. F. do, & Silva, M. L. da. (2018). Sistema aquífero Alter do Chão a oeste da cidade de Manaus (AM): processos hidrogeoquímicos, origem da salinidade e relações com aquíferos adjacentes. Geologia USP. Série Científica, 18(1), 273–296. https://doi.org/https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v18-134253.

Ribeiro, A., Wahnfried, I., & Fernandes Neto, L. A. (2024). Levantamento de contaminações geogênicas e antrópicas em águas subterrâneas na cidade de Novo Airão. REVISTA GEONORTE, 15(48). https://doi.org/10.21170/geonorte.2024.v.15.n.48.99.124.

Rios-Villamizar, E. A., Adeney, J. M., Piedade, M. T. F., & Junk, W. J. (2020). Hydrochemical classification of amazonian rivers: a systematic review and meta-analysis. Caminhos de Geografia, 21(78), 211–226. https://doi.org/10.14393/rcg217853272.

SGB – Serviço Geológico do Brasil (2009). Mapa geodiversidade do estado do Amazonas. https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/14690.

SILVA, F. C. de. (2007). Análise integrada de usos da água superficial e subterrânea em macro-escala numa bacia hidrográfica: o caso do Alto Rio Paranaíba [Dissertação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul]. https://lume.ufrgs.br/handle/10183/12689.

Sioli, H. (1967). Studies in Amazonian waters. In Atas do simpósio sobre a biota amazônica (Vol. 3, pp. 9-50). Rio de Janeiro: Conselho Nacional de Pesquisas.

A IMPORTÂNCIA DA MANUTENÇÃO E LIMPEZA PREVENTIVA DE POÇOS TUBULARES NO ESTADO DO AMAZONAS

Pedro Afonso Cardoso de Gaia Campos[1]; Renan Nunes da Silva[1]; Elias Vicente da Cruz Santos Junior[1]; Mike Aranha Brandão[1]

[1]GEOMA – Associação dos Geólogos de Manaus

(geo.pgaia@gmail.com; renan.nsilva987@gmail.com; ejunior13@gmail.com; *mikearanha44@gmail.com*

RESUMO

A manutenção e limpeza preventiva de poços tubulares são práticas essenciais para garantir a potabilidade, segurança e durabilidade das estruturas de captação de água subterrânea, especialmente em regiões com alta umidade e solos quimicamente agressivos, como o Estado do Amazonas. Este artigo tem como objetivo destacar a relevância dessas ações periódicas, apresentar as principais etapas envolvidas no processo de manutenção, com ênfase na retrolavagem e no uso de produtos químicos específicos, e discutir a lacuna normativa existente tanto na esfera federal quanto estadual quanto à obrigatoriedade dessas intervenções. A recomendação técnica é de que os poços passem por manutenção a cada 6 a 12 meses, conforme as características hidrogeológicas e o regime de uso. A ausência de legislação específica sobre o tema no Brasil contribui para negligência na operação e manutenção, comprometendo a qualidade da água e a integridade estrutural dos poços.

PALAVRAS-CHAVE: Poço tubular; Manutenção preventiva; Qualidade da água; Legislação ambiental.

INTRODUÇÃO

A utilização de poços tubulares profundos representa uma das principais formas de acesso à água potável nas zonas urbanas e rurais do Estado do Amazonas, principalmente diante da dificuldade logística de abastecimento superficial. Apesar da ampla utilização, a manutenção dessas estruturas é frequentemente negligenciada por usuários e gestores públicos. A manutenção e limpeza preventiva são fundamentais para assegurar o bom desempenho do poço, evitar a contaminação da água e aumentar sua vida útil (Driscoll, 1986; González, 2009).

Este artigo discute essas práticas à luz das condições ambientais da região amazônica, com ênfase nas etapas técnicas, nas características dos aquíferos regionais e no uso adequado de produtos químicos de limpeza.

METODOLOGIA

Este artigo foi desenvolvido a partir de uma abordagem qualitativa e descritiva, com base em revisão bibliográfica, análise técnica e experiência prática profissional em hidrogeologia no Estado do Amazonas. Foram utilizados dados secundários de publicações científicas, manuais técnicos, normativas de órgãos ambientais e estudos hidrogeológicos regionais, com destaque para os documentos do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Agência Nacional de Águas (ANA), Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas (IPAAM) e literatura especializada (DRISCOLL, 1986; GONZÁLEZ, 2009; SILVA *et al*., 2019)..

CARACTERIZAÇÃO DOS AQUÍFEROS SUBTERRÂNEOS NO ESTADO DO AMAZONAS

O Amazonas possui uma das maiores reservas de água subterrânea do Brasil, distribuída em importantes sistemas aquíferos sedimentares e locais. Os principais sistemas aquíferos foram mapeados e descritos pela CPRM (2015) e detalhados por Silva *et al*. (2019).

Aquífero Alter do Chão

Segundo a CPRM (2015), o Alter do Chão é o principal aquífero explotado no estado, com profundidades produtivas entre 40 e 150 metros, oferecendo alta produtividade (até 80 m³/h), apesar da recorrente presença de ferro e manganês dissolvidos.

Sistema Içá

Compreendido principalmente no oeste do estado, o sistema Içá apresenta profundidades entre 20 e 80 metros, com condutividades hidráulicas moderadas e maior influência de matéria orgânica e turbidez (SILVA *et al*., 2019).

Sistema Aquífero Solimões

Este sistema ocorre em áreas do médio e alto Solimões, com potencial produtivo elevado e profundidades que variam de 80 a 200 metros, embora com risco de contaminação interestratigráfica (CPRM, 2015).

Aquífero Barreiras

Ocorre em camadas rasas (10 a 40 metros), especialmente em áreas da faixa norte, com produtividade limitada e alta vulnerabilidade à contaminação superficial.

Aquífero em Rochas Cristalinas (Fraturado)

A explotação de água subterrânea nesses ambientes depende fortemente da presença e conectividade de fraturas, resultando em vazões muito variáveis, normalmente baixas. Por serem aquíferos secundários, seu uso é limitado e destinado principalmente a pequenos sistemas isolados de abastecimento.

ETAPAS DA MANUTENÇÃO E LIMPEZA DE POÇO TUBULAR

A manutenção e limpeza preventiva de poços tubulares envolve etapas específicas, adaptadas à profundidade, diâmetro e tipo de uso. As etapas seguem a sistematização técnica apresentada por Driscoll (1986), González (2009), conforme descrito a seguir:

I. Inspeção técnica inicial: levantamento histórico, análise físico-química e bacteriológica da água (GONZÁLEZ, 2009).

II. Remoção da coluna de bombeamento e verificação estrutural.

III. Filmagem com vídeo: detecção de colapsos, incrustações ou obstruções.

IV. Escovação e jateamento: limpeza mecânica de filtros.

V. Aplicação de produtos químicos como:

EasyClean: dispersante biodegradável para sais metálicos (CATÁLOGO FIMAI, 2023);

Hexa-T: limpador alcalino para biofilmes orgânicos;

Ácido Muriático: dissolução de incrustações calcárias e ferruginosas.

VI. Retrolavagem: fluxo reverso sob pressão para desobstrução de filtros (DRISCOLL, 1986).

VII. Desinfecção com hipoclorito e teste final de recuperação e rendimento.

Figura 1 – Desenho esquemático apresentado as etapas de uma manutenção de poço

PRINCIPAIS CAUSAS DE INCRUSTAÇÕES NOS POÇOS TUBULARES NO AMAZONAS

As incrustações observadas nos poços tubulares do Amazonas resultam de processos físico-químicos e biológicos associados à composição da água subterrânea e à presença de microrganismos. Entre os processos mais comuns, destacam-se as incrustações ferrosas, originadas pela oxidação do ferro dissolvido (Fe^{2+}), que forma hidróxidos insolúveis aderidos às paredes internas dos poços e filtros, sendo particularmente frequente nos aquíferos Alter do Chão e Solimões. As bioincrustações são também muito

comuns e ocorrem pela ação de bactérias como Gallionella spp. e Leptothrix spp., que metabolizam ferro e manganês e produzem biofilmes aderentes. Em menor escala, ocorrem incrustações calcárias, com precipitação de carbonato de cálcio ($CaCO_3$) em poços que cruzam camadas com carbonatos, e incrustações por manganês, cujos depósitos são mais aderentes e de difícil remoção. Geograficamente, essas incrustações são mais frequentes na região metropolitana de Manaus e no Baixo Amazonas, onde se observam acúmulos mistos de ferro, manganês e matéria orgânica. No Alto Solimões, a presença de manganês e compostos orgânicos favorece principalmente as bioincrustações. Os efeitos dessas formações incluem perda de eficiência hidráulica, aumento do consumo de energia elétrica, obstrução dos filtros e risco elevado de contaminação microbiológica. Além disso, as incrustações aceleram os processos de corrosão de componentes metálicos, prejudicando a durabilidade das instalações. As incrustações nos poços tubulares da região amazônica são processos comuns e multifatoriais, associados tanto à composição química da água subterrânea quanto à presença de microrganismos.

Figura 2 - Desenho esquematico demonstrando incrustações em poço tubular

MANUTENÇÃO EM POÇO.

Estudos clássicos mostram que a ausência de manutenção por períodos superiores a um ano pode reduzir a vazão do poço em até 50%, especialmente em aquíferos com águas agressivas (Driscoll, 1986; Custódio; Llamas, 1976). Em poços com uso contínuo ou em zonas tropicais úmidas, como no Amazonas, o intervalo ideal recomendado é de 6 a 12 meses.

AUSÊNCIA DE LEGISLAÇÃO ESPECÍFICA NO AMAZONAS E NO BRASIL

Atualmente, não existe legislação federal ou estadual (Amazonas) que estabeleça normas obrigatórias para manutenção de poços tubulares. A Agência Nacional de Águas (ANA) e o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) não exige, por meio de suas resoluções, a realização periódica de manutenção como critério para concessão

ou renovação de outorga. No Amazonas, o IPAAM também não estabelece diretrizes técnicas claras para a manutenção preventiva, tampouco exige comprovação periódica dessas ações como condicionante ambiental. Essa lacuna legal contribui para o abandono técnico e operacional dos sistemas, com impactos na segurança hídrica e na saúde pública (Gomes *et al*., 2019).

DISCUSSÃO

A manutenção de poços é amplamente reconhecida na literatura técnico-científica como uma prática obrigatória para garantir a eficiência e segurança do abastecimento (CUSTÓDIO; LLAMAS, 1976; DRISCOLL, 1986). No contexto amazônico, caracterizado por aquíferos com águas ácidas e elevadas concentrações de ferro, a negligência na manutenção técnica torna-se ainda mais crítica. A ausência de regulação estatal contribui para o sucateamento de poços e a perda de estruturas que poderiam ser recuperadas com simples intervenções periódicas (SILVA *et al*., 2019). A retrolavagem e o uso de produtos químicos específicos na manutenção de poços representam o estado da arte em técnicas de recuperação hidráulica e sanitária de sistemas de captação subterrânea. Sua eficácia está documentada em estudos internacionais e nacionais. No entanto, o cenário de abandono técnico da maioria dos poços no Amazonas revela uma grave deficiência institucional. É imperativo que os órgãos gestores estabeleçam normas técnicas obrigatórias para manutenção, incluindo exigência de relatórios fotográficos, filmagens e laudos de análise de água pós-serviço. Essas exigências devem ser integradas aos processos de outorga, licenciamento ambiental e renovação de operação de poços, como forma de promover o uso sustentável das águas subterrâneas.

CONCLUSÃO

A manutenção e limpeza preventiva, com etapas como retrolavagem e aplicação controlada de agentes químicos como EasyClean, Hexa-T e ácido muriático, são essenciais para garantir a funcionalidade e qualidade dos poços tubulares do Amazonas. A ausência de legislação que regule tais práticas fomenta a negligência e compromete a segurança hídrica da população. É necessário que gestores públicos, técnicos e legisladores trabalhem juntos na criação de marcos legais e protocolos técnicos que assegurem o uso responsável das águas subterrâneas na região amazônica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA – Agência Nacional de Águas. 2019. *Manual de outorga de direito de uso de recursos hídricos subterrâneos*. Brasília: ANA. 76p. : il.

CATÁLOGO DE PRODUTOS FIMAI. 2023. *EasyClean e Hexa-T – Características Técnicas*. Fimai Engenharia de Poços.

RM – Serviço Geológico do Brasil. Mapa Hidrogeológico do Estado do Amazonas – Escala 1:1.000.000. Brasília: CPRM, 2015.

Custódio, E.; Llamas, M.R. 1976. *Hidrologia subterrânea*. Barcelona: Editorial Omega, Tomo I, Seção 8, p. 644

Driscoll, F.G. 1986. *Groundwater and wells*. 2nd ed. St. Paul: Johnson Division, 1.089 p.

González, B.J.G. 2009. *Águas subterrâneas e captação por poços tubulares no Brasil*. Rio de Janeiro: Editora Interciência. 304 p.

Gomes, M.A.F.; Oliveira, M.L.; Silva, J.S. 2019. Corrosividade das águas subterrâneas na região Norte do Brasil. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 24(2):1–11.

IPAAM – Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas. 2022. *Manual técnico de outorga e licenciamento ambiental de poços tubulares*. Manaus: IPAAM.

REIS, L. B.; SANTOS, C. A. Limpeza Química de Poços com Produtos Ácidos e Alcalinos – Uma Visão Técnica e Prática. Revista Águas

Silva, A.L.; Moura, R.G.; Nascimento, J.D. 2019. Caracterização hidrogeológica e potencial dos sistemas aquíferos do Amazonas. *Revista Geociências*, 38(4):797–812.

ANÁLISE MULTITEMPORAL DA MICROBACIA ÁGUA BRANCA, PORÇÃO OESTE DE MANAUS (AM), A PARTIR DE IMAGENS *PLANET* NO PERÍODO DE 2022 A 2024

Marcus Vinícius, Reis Andrade[1]; Solange, dos Santos Costa[1]

[1]Universidade Federal do Amazonas – UFAM

marcus.andrade@ufam.edu.br, solangecosta@ufam.edu.br

RESUMO

O crescimento populacional acelerado em Manaus (AM) tem gerado impactos ambientais preocupantes na maioria das bacias urbanas deste município, poluídas em decorrência da supressão vegetal nas adjacências das nascentes e margens para ocupação inadequada desse território. Porém, a microbacia do igarapé Água Branca, pertencente a bacia hidrográfica Tarumã-Açú, localizada no bairro Tarumã, Zona Oeste de Manaus, ainda se encontra preservada. Com o objetivo de monitorar por meio de sensores remotos, o uso e cobertura do solo dessa microbacia, foi realizado o monitoramento dessa região durante o período entre 2022 e 2024 a partir de imagens *Planet*. O processo envolveu análise multitemporal por meio de composições coloridas, tanto cor real quanto falsa-cor e classificação supervisionada, utilizando o algoritmo *Random Forest*. As análises preliminares indicaram uma significativa perda de floresta nativa, reforçando a necessidade de monitoramento contínuo para embasar ações de conservação e gestão sustentável dos recursos hídricos da região.

PALAVRAS-CHAVE: Sensoriamento remoto; Monitoramento ambiental; Expansão urbana.

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional de Manaus tem impulsionado a expansão urbana, resultando em impactos ambientais significativos, como a degradação de microbacias hidrográficas. A microbacia do Igarapé Água Branca vem apresentando sinais de degradação há alguns anos, conforme apontou Soares (2016), que observou alterações significativas na paisagem decorrentes da ocupação urbana. O Igarapé Água Branca, localizado na bacia hidrográfica do Tarumã-Açu, porção Oeste da cidade, é um dos últimos cursos d'água não poluídos da região urbana (Agência Cenarium, 2022). Diante desse cenário, este estudo realizou a análise e monitoramento da dinâmica do uso e cobertura do solo na microbacia do igarapé Água Branca entre 2022 e 2024, utilizando imagem de satélite *Planet*. Considerando que o emprego de geotecnologias permite uma abordagem eficiente para identificar e quantificar as mudanças na paisagem, contribuindo para a compreensão dos efeitos da ocupação irregular e da urbanização desordenada sobre os recursos hídricos, os resultados obtidos podem subsidiar estratégias de conservação e gestão ambiental, além de fortalecer a disseminação do conhecimento sobre geotecnologias junto à comunidade acadêmica e escolar.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada à partir de técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI), conforme estabelecido por Crósta (1992) e Meneses e Almeida, (2012). Foram utilizadas imagens ópticas *Planet*, sendo realizada a análise multitemporal do período entre 2022 e 2024. As imagens ópticas utilizadas compreenderam as bandas B1, B2 e B3 no espectro visível vermelho, verde e azul e a B4 do infravermelho próximo. As imagens foram selecionadas considerando os períodos com menor índice de nuvens, descartando a necessidade de correção atmosférica. As composições coloridas utilizadas foram RGB-321 e RGB 432, para a identificação das ROIs (*region of interest*), agrupadas a partir das características de cor, textura e padrão, conforme estabelecido por Crósta (1992). Foram definidas quatro classes sendo: Classe 1- Vegetação densa, Classe 2- Vegetação rasteira, Classe 3- solo exposto e Classe 4 – Área antropizada. Posteriormente foi realizada a classificação supervisionada utilizando o plugin de classificação semiautomática *Dzetsaka* e o classificador *Random Forest* para identificar e quantificar as classes temáticas de uso e cobertura do solo. Os dados foram analisados via software QGIS, integrando com os dados vetoriais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e do Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM) para caracterização da área de estudo. Os resultados obtidos poderão contribuir para o monitoramento da ocupação urbana e conservação dos recursos hídricos na região.

RESULTADOS

A análise multitemporal das imagens *Planet* indicou mudanças significativas na microbacia Água Branca. Conforme a classificação supervisionada, a cobertura de vegetação densa foi suprimida em 11% entre maio de 2022 e dezembro de 2024. Para o tamanho da área de interesse esses dados evidenciam um avanço da ação antrópica e consequentemente a degradação do ambiente natural.

Mapeamento Temático

Utilizando o plugin *Dzetsaka* no QGIS, em conjunto com o classificador *Random Forest*, foram gerados mapas temáticos com as quatro classes de uso e cobertura do solo. Os mapas demonstraram a fragmentação da cobertura vegetal e a expansão das áreas degradadas, reforçando as tendências quantitativas observadas.

Comparação Temporal dos Dados

O comparativo entre os períodos analisados aponta para tendências consistentes, com maior expansão das áreas desmatadas associadas à urbanização crescente. As transformações mapeadas evidenciam que ao longo do período de 2022 a 2024, a progressão de atividades antrópicas contribuiu para a redução gradual da vegetação, conforme observado pelos dados percentuais e pela análise visual dos mapas temáticos, sendo notadas ações de grande impacto principalmente na região norte e nordeste da microbacia (Figura 1).

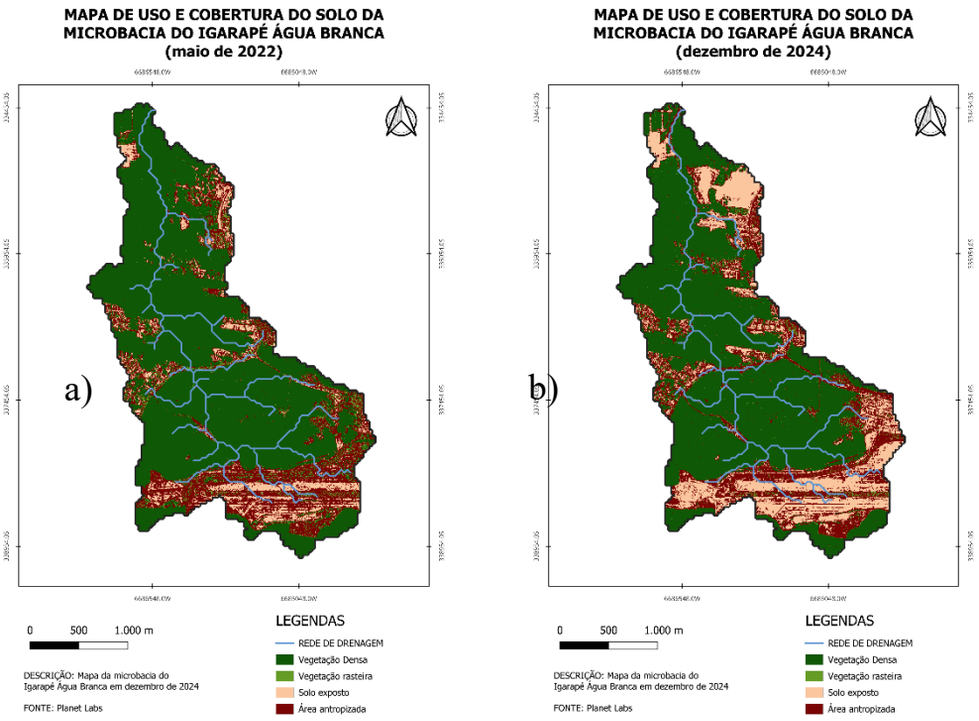


Figura 1 – Mapas de classificação supervisionada da microbacia Água Branca: a) maio de 2022; b) dezembro de 2024.

DISCUSSÕES

Os resultados deste estudo revelam transformações notáveis na microbacia Água Branca. Entre maio de 2022 e dezembro de 2024, a pesquisa revela que a vegetação nativa sofreu uma redução total de aproximadamente 11%. Esses achados indicam um avanço significativo dos processos de degradação ambiental, provavelmente impulsionados pela expansão urbana e pela ocupação do território.

Silva *et al*., (2023), utilizaram imagens Sentinel-1A para analisar o uso e ocupação do solo entre 2015 e 2021, e identificaram uma perda de 5,53% da vegetação na microbacia. Embora o percentual de perdas obtido na presente pesquisa seja diferente, possivelmente devido ao intervalo temporal maior e às variações na resolução dos sensores, ambos os estudos evidenciam o impacto da urbanização desordenada na alteração da cobertura vegetal.

Além de Silva *et al*., Machado e Wachholz (2023) realizaram o mapeamento da microbacia com imagens *CBERS* 4A e verificaram que em setembro de 2022 a cobertura florestal nativa correspondia a aproximadamente 76,41%, com áreas urbanizadas (solo exposto e construídas) representando cerca de 23,59% da área total. Comparando com dados de maio de 2022 e dezembro de 2024, é notável uma queda expressiva da vegetação nativa, chegando a uma perda de >10%, indicativo de uma tendência contínua de perda das áreas naturais para usos urbanos e degradados ao longo dos últimos anos.

A comparação dos estudos reforça que, apesar das diferenças metodológicas e dos períodos analisados, há um consenso quanto à vulnerabilidade ambiental da microbacia Água Branca. Essas divergências, contudo, ressaltam a importância de padronizar as técnicas de classificação e de ampliar a frequência das análises temporais, de forma a proporcionar um monitoramento mais contínuo e preciso dos impactos da

expansão urbana. Tais pesquisas são fundamentais para embasar políticas públicas de gestão territorial e estratégias de conservação que visem mitigar os efeitos negativos da degradação ambiental na região.

CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho indicam que a microbacia Água Branca passou por transformações significativas no uso e cobertura do solo, reflexo da expansão urbana e da ocupação irregular. Embora a vegetação nativa tenha diminuído de forma moderada ao longo dos três anos, o aumento expressivo na soma das áreas desmatadas e construídas evidencia uma intensificação dos processos de degradação ambiental.

A comparação com outras pesquisas realizadas na microbacia Água Branca, reforçam que, independentemente dos diferentes sensores e metodologias empregadas, a tendência de perda de cobertura vegetal e expansão antrópica persiste. Essas variações sugerem a importância de se padronizar e intensificar o monitoramento do território na microbacia, de modo a conhecer melhor a dinâmica dos impactos ambientais e a embasar políticas públicas de proteção dos recursos naturais.

Assim, o estudo contribui para o entendimento do avanço da urbanização em áreas sensíveis, reforçando a importância da vegetação nativa na proteção dos corpos da água como observado por Castro *et al*., (2013) e ressaltando a necessidade urgente de intervenções que assegurem a preservação dos ecossistemas e dos serviços ambientais essenciais para a cidade de Manaus.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Cenarium. (2022). Água Branca: último igarapé limpo de Manaus resiste ao avanço da urbanização. *Agência Cenarium*. Recuperado em 17 de maio de 2025, de https://agenciacenarium.com.br/agua-branca-ultimo-igarape-limpo-de-manaus-resiste-ao-avanco-da-urbanizacao/

Castro, M. N., Castro, R. M., & Souza, P. C. (2013). A importância da mata ciliar no contexto da conservação do solo. *Revista Eletrônica de Educação da Faculdade Araguaia*, 4, 230–241.

Crósta, A. P. (1992). *Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto* (Ed. rev. 1999). Campinas: Unicamp.

Meneses, P. R., & Almeida, T. (2012). *Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto*. Brasília: Universidade de Brasília.

Machado, A. K. N., & Wachholz, F. R. (2023). Uso de imagens CBERS 4A no mapeamento da cobertura florestal da bacia Tarumã-Açu. In *Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, p. 2801–2804.

Silva, R. S., Costa, S. S., & Cortez, E. R. (2023). Análise multitemporal da cobertura vegetal na microbacia Água Branca utilizando imagens Sentinel-1A. In *Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, p. 1446–1449.

Soares, R. B. (2016). Análise sobre a alteração da paisagem na microbacia do Igarapé da Água Branca. *Relatório Final de Iniciação Científica*, SIPAM/FAPEAM, 53 p.

PANORAMA DA DINÂMICA HIDROSEDIMENTOLÓGICA DO RIO BRANCO: DADOS PRELIMINARES

Guilherme Cabral Costa [1,2]
[1] **Universidade Federal do Amazonas - UFAM**

[2] **-Serviço Geológico do Brasil - Superintendência de Manaus – SGB – SUREG-MA**

guilherme.costa@ufam.edu.br

RESUMO

Neste texto aborda-se o comportamento hidrológico da bacia do rio Branco analisando-se dados fluviométricos das estações Boa Vista, Mucajaí e Caracaraí, no período de 2013 e 2023, com objetivo de se apresentar o balanço sedimentológico. A estação de Caracaraí pode ser considerada como exutório e tem grade responsabilidade na representação da bacia, é, portanto, de grande importância para o claro entendimento da dinâmica fluvial da região. Atualmente, antes de qualquer intervenção de engenharia, como o projeto em curso da usina hidrelétrica do Bem Querer, Caracaraí tem picos de transporte de sedimentos que atingem até 42 mg/l de concentração de sedimentos, valor três vezes superior ao valor médio citado na confluência com rio Negro.

PALAVRAS-CHAVE: Bacia Hidrográfica do Rio Branco; Caracterização de Vazão Sólida; Balanço Hidrossedimentológico.

INTRODUÇÃO

Processos de erosão presentes na superfície da Terra carreiam anualmente até os Oceanos cerca de 20 bilhões de toneladas de sedimento pelos rios (Allen, 2008). É sabido que os rios tropicais são os maiores meios de transporte de sedimentos para os oceanos. Na bacia Amazônica, apesar de se ter a maior vazão e a maior carga de sedimento em suspensão do planeta (com médias variando de 1.000 a 1.300 x 10^6 ton/ano), têm a produtividade dos sedimentos bastante desigual ao longo de sua área drenada, com destaque para os que se originam nas regiões andinas (Meade, 1985 e 1994; Filizola, 1999; Latrubesse *et al*., 2005; Gupta, 2002 e 2007; Filizola e Guyot, 2011).

Uma bacia hidrográfica pode ser definida como um sistema natural, modelador da superfície terrestre, movimentando material sedimentar, nutrientes e água através de fluxos de água com uma saída, o exutório (Carvalho, 2015).

Em uma bacia de drenagem o transporte de sedimentos e materiais solúveis definem a carga sedimentar a qual é fator chave do seu equilíbrio hidrodinâmico. Essa carga pode ser de fundo (areia), suspensa e dissolvida (argila, e nutrientes respetivamente) (Carvalho, 2009a).

Alterações naturais, como clima e reajuste morfológico constante do canal, além de ações antrópicas, modificam o perfil dinâmico de estado "equilibrado" do sistema, promovendo modificações no fluxo energético de saída, assim como novos aportes de matéria de uma bacia hidrográfica.

Esta pesquisa ocorre na bacia do rio Branco, especificamente com dados fluviométricos e sedimentométricos das estações de Boa Vista e Mucajaí, além de dados de reflectância coletados na estação de Caracaraí, identificada como exutório de uma área total de 126.000 km². Além de compreender a maior parte do estado de Roraima, esta bacia drena ainda terrenos localizados na República Cooperativista da Guiana, através de seu segundo maior afluente, o rio Tacutu, que drena terrenos de lavrado do graben de Tacutú com relevos rebaixados. Seu maior tributário é o rio Uraricoera e se destaca o rio Mucajaí (Sander *et al*., 2014), que drenam regiões onde predominam serras e relevos ondulados encobertas por e pastos, respectivamente.

Estudos sobre dinâmica fluvial, classificação de canais e rede de drenagem nesta bacia vêm sendo desenvolvidos desde a metade do século passado, contudo, sobre os sistemas fluviais tropicais são bastante recentes, com poucos estudos que antecedem a década de 1990 (Phillip, Gupta e Bhattacharya, 1989; Pickup e Warner, 1984).

Estudos realizados por Guyot *et al*. (2005), e mais recentemente por Santos (2015), sugerem que o aumento na descarga de sedimentos em estações no rio Amazonas, Solimões e Purus, não está diretamente correlacionada com a descarga. Em outras palavras, não é possível derivar uma relação simples e direta entre a vazão destes rios e a concentração de sedimentos em suspensão. Assim, não é possível estimar a descarga de sedimentos apenas a partir da medição diária do fluxo de água do rio, mas em vez disso, é necessário o monitoramento simultâneo da concentração de sedimentos e da descarga de água.

MÉTODOS

Os dados de cota (H), vazão (Q) e concentração de sedimentos (Css) foram adquiridos nas plataformas da Rede Hidrometeorológica Nacional e da Rede SO-HYBAM, organizados e analisados para geração de tabelas e gráficos que permitem a comparação do comportamento da vazão e da concentração de sedimentos no período de 2013 a 2023, o que leva à quantificação do aporte de sedimentos da bacia do rio Branco no rio Negro e, portanto, de sua contribuição na bacia Amazônica.

. Área de estudo

O mapa abaixo (Figura 1) mostra a região da estação de Caracaraí, tomada para este estudo como exutório da bacia do médio rio Branco e sua posição na bacia amazônica.

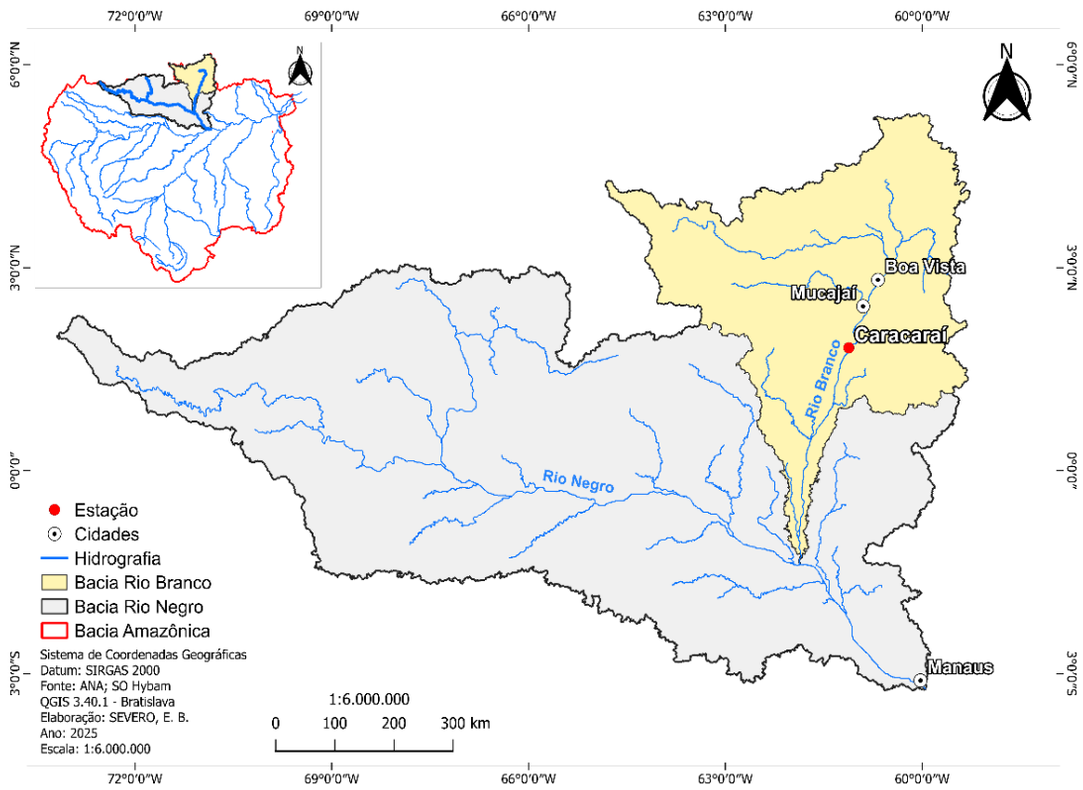


Figura 1 – Apontamento da estação fluviométrica deste estudo e sua posição na bacia

2.2 Coleta de dados

Os dados base deste estudo tem origem em atividades de campo em que se realizam medição de descarga líquida com equipamento de efeito doppler (ADCP), nivelamento topográfico altimétrico das réguas fluviométricas com uso de nível topográfico e coleta de amostras de água superficial utilizando um guincho hidrométrico e amostrador de sedimentos por integração da vertical.

2.2.1 Medição de Descarga Líquida

As medições seguiram o padrão do que há em Santos (2015), quanto às especificações dos equipamentos e procedimentos de coleta de dados.

2.2.2 Sedimentos em Suspensão

As técnicas para amostragem de sedimentos utilizadas nas coletas levaram em consideração o Guia de Práticas Sedimentométricas de Carvalho et. al (2000), utilizando amostrador por integração de vertical do tipo saca de 6 litros, adequado a profundidades superiores a 4,5 m, com bico de captação variando de diâmetro 1/8", 3/16" ou 1/4" a depender da velocidade do fluxo. Em cada medição, foram coletadas amostras em 5 verticais, localizadas a 10, 30, 50, 70 e 90% da vazão passante na seção, para coletas representativas.

2.3 Análises Laboratoriais

As análises para obtenção da concentração de sedimentos das amostras foram realizadas no LAMIN do SGB em Manaus pelo método de filtração seguindo o roteiro apresentado por Santos (2015), com a utilização do filtro de 1,5 µm no lugar do de 0,45 µm, suficiente para classificação.

RESULTADOS

Os dados de cota (Figura 2) têm comportamento similar aos de vazão (Figura 3), em que se evidencia que os maiores volumes ocorrem nos meses de junho, julho e agosto e os menores no primeiro trimestre anual para as três estações abordadas.

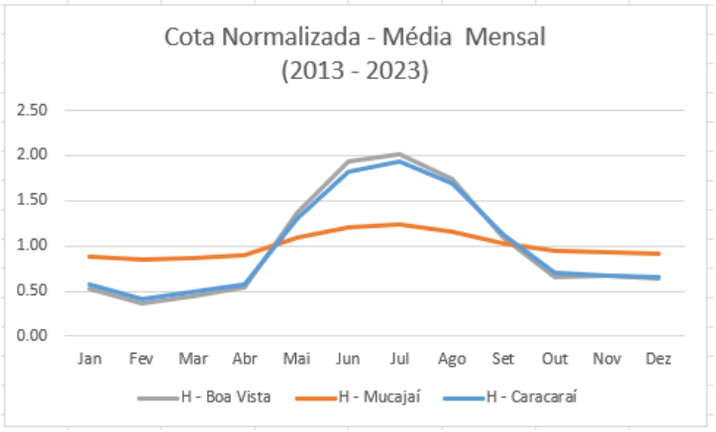


Figura 2 – Comparação de cota normaliza entre as estações.

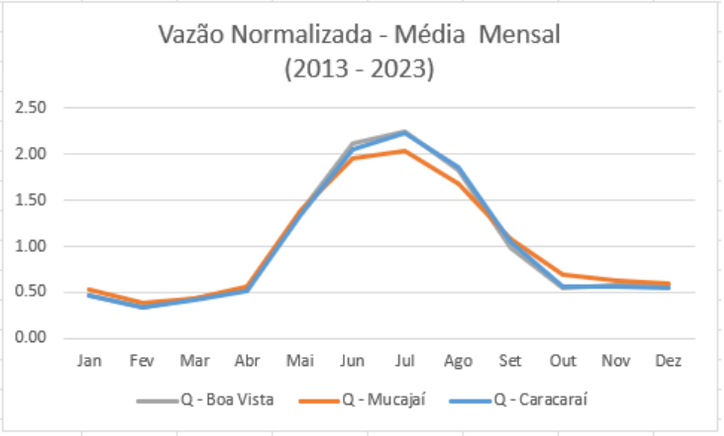


Figura 3 – Comparação de vazão normaliza entre as estações.

O pico de cheia nos meses de julho para as três estações sendo a média para o período de: 5.7 mil m³/s em Boa Vista, 1.1 mil m³/s em Mucajaí e 7.4 mil m³/s em Caracaraí.

Já a concentração de sedimentos (figura 4), considerando apenas dados de coleta *in situ*, apresenta maior pico em janeiro e abril na estação de Boa Vista, com menores valores em março. Mucajaí tem seu pico de maior ocorrência de sedimentos em setembro e menor em junho e Caracaraí, valores mais altos em junho, setembro e dezembro com mais baixos em abril, maio e agosto.

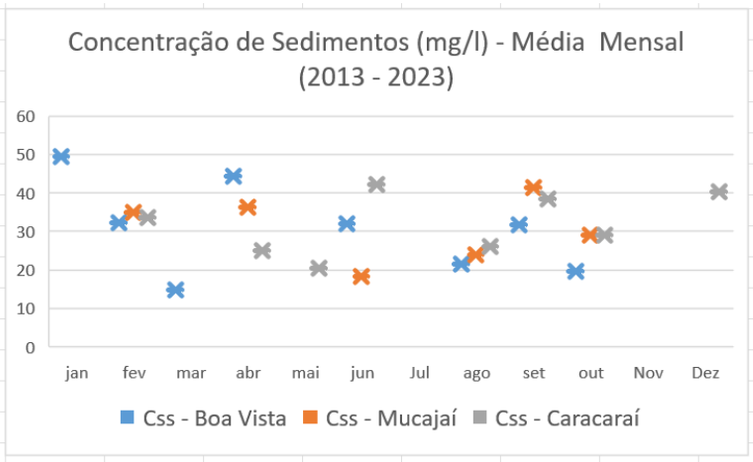


Figura 4 – Magnitude de concentração de sedimento nas estações para balanço sedimentométrico.

Em Boa Vista o maior valor de Css é de 65,7 mg/l observado em abril de 2022, em Mucajaí em fevereiro de 2023 (58,02 mg/l) e em Caracaraí atingiu 54,67 mg/l em fevereiro de 2022.

As concentrações de sedimentos coletadas entre 2013 e 2023, vazão média mensal e produção de matéria sólida, são apresentadas na tabela 1, baixo:

Tabela 1 – Resumo de produção de sedimentos em toneladas por dia das três estações (CSS em mg/l; Q em m³/s e produção em ton/dia)

Meses	Boa Vista			Mucajaí			Caracaraí		
	css	Q	Produção	css	Q	Produção	css	Q	Produção
jan	49	1,187	5,074		290	-		1,570	-
fev	32	849	2,368	35	212	638	34	1,109	3,215
mar	15	1,116	1,433		241	-		1,418	-
abr	44	1,334	5,096	36	307	960	25	1,722	3,704
mai		3,487	-		765	-	21	4,480	7,966
jun	32	5,404	14,982	18	1,073	1,705	42	6,900	25,094
Jul		5,738	-		1,120	-		7,476	-
ago	21	4,628	8,569	24	923	1,919	26	6,239	14,101
set	32	2,492	6,846	41	591	2,120	39	3,506	11,677
out	20	1,375	2,345	29	383	958	29	1,897	4,760
Nov		1,465	-		349	-		1,882	-
Dez		1,454	-		325	-	40	1,855	6,480

Somente os meses salientados em amarelo foram considerados para avaliação do balanço já que existiram coletas nas três estações, não existem dados suficiente para análise nos demais meses.

DISCUSSÕES

A partir dos dados de Css, originados de medições pontuais, percebe-se que o maior volume de transporte sólido não ocorre em julho, mês de maior volume de transporte líquido para as três estações. Ainda que a estação mais a jusante, Caracaraí, registra

Css mais baixos que as estações a montante antes do pico de vazão e apresenta valores próximos ou maiores após o pico da vazão.

Pode se inferir que a inexistência de dados de Css em meses de julho esteja ligada a dificuldade na amostragem por particularidades do método utilizados nos projetos que fornecem estes dados. Os procedimentos citados no item 2.2.2. trazem detalhes operacionais que podem ser desafiadores para serem realizados com maiores velocidades de fluxo.

Considerando-se os valores médios mensais de Css e as vazões das estações relacionadas para os seis meses em que há dados para as três estações (fevereiro, abril, junho, agosto, setembro e outubro), calculou-se que o aporte de Boa Vista e Mucajaí juntos atingem 91% da ocorrência observada em Caracaraí. Somente nestes meses a massa transportada é de aproximadamente 62.550 toneladas por dia de material sólido.

CONCLUSÕES

Assim como Santos (2015) percebe para o rio Purus, de origem andina, o transporte de sedimentos na bacia do rio Branco não tem distribuição temporal em mesmo padrão da relação cota x vazão, ou seja, para diferentes sub bacias da grande bacia Amazônica existe um comportamento que surpreende e pode causar estranheza: ainda que as cotas e volumes líquidos se ascendam, e, portanto, a velocidade do fluxo aumenta, a concentração de sedimentos não assume mesmo comportamento.

A estação fluviométrica de Caracaraí representa bem a condição de exutório da bacia do rio Branco quando se percebe a existência de equilíbrio no balanço hídrico entre as três estações estudadas.

O desenvolvimento desta temática necessariamente passará pela estimativa de concentração de sedimentos de maneira indireta (radiometria) como as aplicações de Mobley (1999) e estudos de Martinez et. al (2009) e de Espinoza (2013), com objetivo de se entender as distribuições completas no ano hidrológico para as estações e calcular o aporte da massa sólida destinada a foz do rio Branco, confluência com rio Negro, onde se tem pesquisas como a de Marinho et. al (2021). Neste estudo a Css média encontrada foi de 14,7 mg/l, para o período de análise entre 2016 e 2019.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allen, P.A. (2008). Time scales of tectonic landscapes and their sediment routing systems. Natture, vol 451, 17 January 2008.

Carvalho, T. M. de; Morais, R. P (2014). *Aspectos hidrogeomorfológicos do sistema fluvial do baixo rio Uraricoera e alto rio Branco como subsídio à gestão de terras.* Geografias – Artigos Científicos, Belo Horizonte, 01 de Julho - 31 de Dezembro de 2014. Vol.10, no 2.

Guyout, J. L.; Filizola, N. P. Jr (2007); *Balanço do fluxo de sedimentos em suspensão da Bacia Amazônica.* Workshop Geotecnologias Aplicadas às Áreas de Várzea da Amazônia: trabalhos apresentados no workshop realizado em Manaus, de 17 a 18 de julho de 2007. – Manaus: Ibama. 104 p.

Espinoza, R.(2013) *Monitoramento das dinâmicas espaciais e temporais dos fluxos sedimentares na Bacia Amazônica a partir de imagens de satélite.* Tese de Doutorado. Brasília-DF: Universidade de Brasília: Instituto de Geociências.

Marinho, R. R.; Harmel, T; Martinez, J. M.; Filizola Junior, N.P. (2021) Spatiotemporal Dynamics of Suspended Sediments in the Negro River, Amazon Basin, from In Situ- and Sentinel-2 Remote Sensing Data.

Martinez, J. M.; Guyot, J. L.; Filizola, N. P. Jr; Sondag, F. (2009) *Increase in suspended sediment discharge of the Amazon River assessed by monitoring network and satellite data.* Catena. Vol. 79, 257-264.

Mobley, C.D. (1999*). Estimation of the Remote-Sensing Reflectance from Above-Surface Measurements. Applied Optics,* 38(36): 7442-7455.

Sander, C.; Gasparetto, N. V. L.; Santos, M. L .dos; Carvalho, T. M. de; (2014) *Características do transporte de sedimentos em suspensão na bacia do rio Branco, estado de Roraima.* ACTA Geográfica, Boa Vista, v.8, n.17, abr./agos. de 2014. pp.71-85.

Santos, A. L. M. R. dos; (2015) *Variabilidade no aporte de sedimentos do rio Purus – Avaliação por sensores remotos e aspectos observacionais.* Dissertação de Mestrado, UFAM, Instituto de Geografia, Manaus.

AVALIAÇÃO DE MUDANÇAS GEOMORFOLÓGICAS A PARTIR DA INTEGRAÇÃO DE DADOS HIDRO SEDIMENTARES E MULTITEMPORAIS ENTRE CRUZEIRO DO SUL E CARAUARI, NO RIO JURUÁ

Thayná Rosário do Nascimento[1]; Naziano Pantoja Filizola Júnior[1]

[1]Universidade Federal de Amazonas - UFAM

thayrosafield@gmail.com; nazianofilizola@ufam.edu.br

RESUMO

A nascente do rio Juruá (um dos maiores rios meandrantes do mundo) localiza-se em terrenos peruanos, a até desaguar na margem direita do rio Solimões, percorre uma extensão total de 3.280 Km. Através de dados fluviométricos, de vazão e material em suspensão (MES), foram realizadas análises de máximas e mínimas extremas, e correlacionando aos seus respectivos anos e níveis corretamente. Para a análise multitemporal foram utilizadas imagens Landsat 5 e 8, correspondente aos anos de 1897, 1997, 2007 e 2017. Observou-se que ao longo dos 30 anos, 66,67% das maiores vazões registradas ocorreram na década de 10, após a virada do século, e que por sua vez, as menores vazões ocorreram principalmente nos anos 90 (66,67% dos casos), indicando uma possível correlação com o aumento da quantidade de eventos extremos de cheias que ocorreram nos últimos anos. Para as mudanças do canal fluvial, foram identificadas feições de abandono, cicatrizes e espiras de meandros, *cutoffs*, alteração de sinuosidade, surgimento, recuou ou desaparecimento de barras fluviais, e trechos onde o padrão do rio é mais retilíneo, indicativos para uma forte estruturação tectônica na região.

PALAVRAS-CHAVE: Meandrante; Multitemporal; MES; Cutoff;

INTRODUÇÃO

Entre os rios amazônicos há o rio Juruá, um dos maiores rios meandrantes do mundo, apresentando muitos lagos abandonados devido à migração do canal ao longo dos anos. Sua nascente localiza-se em terrenos peruanos, em altitudes que chegam a aproximadamente 450 metros, na região do departamento de Ucayali. Ao adentrar o território brasileiro, o rio Juruá percorre no sentido SE-NW de todo o estado do Acre, e no sentido SW-NE no estado do Amazonas até desaguar na margem direita do rio Solimões, totalizando uma extensão de aproximadamente 3.280 km.

O Juruá possui uma descarga média anual de 8.444 m³/s (Filizola, 1999) e sua bacia possui 166.469,7 km² de área de contribuição hidrológica (Melo et al., 2012). É caracterizado por ser um rio de água branca, cujo caráter primordial reside na cor turva, amarela ou barrenta (Novaes, 1958), **composto por uma rede de afluentes, levando a** ter maior expressão na deposição de sedimentos (Sousa, 2017). De acordo com Sioli (1957) *apud* Filizola, 1999, rios de água branca são aqueles de origem andina, que transportam, em abundância, de material em suspensão (MES).

Entre os trechos de Cruzeiro do Sul e Eirunepé, a taxa de variação de MES permite interpretar que a região é caracterizada por possuir uma área de maior deposição sedimentar e, em contrapartida, entre os trechos de Eirunepé e Gavião, os dados indicam o inverso – há uma produção de sedimentos com uma taxa positiva de variação no fluxo de MES (Filizola, 1999).

O objetivo desta pesquisa, portanto, é integrar dados hidro sedimentares e de sensoriamento remoto para identificar, mapear, analisar e responder quais foram as mudanças geomorfológicas ocorridas em diferentes trechos do rio Juruá ao longo dos anos, contribuindo para o entendimento dos processos relacionados a dinâmica fluvial na Amazônia.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados fluviométricos (nível de cota do rio e vazão) e de materiais em suspensão (MES) que foram obtidos para a realização desta pesquisa estão disponibilizados de maneira gratuita no banco de dados da Agência Nacional de Águas – ANA (https://www.snirh.gov.br/hidrotelemetria/) e do observatório SO HYBAM (https://hybam.obs--mip.fr/pt/dados/).

Foi utilizada uma estação representativa para cada estado, sendo a 12500000 a de Cruzeiro do Sul (AC) e 1284000 em Carauari (AM). Elas foram processadas e analisadas no *software Excel,* em um recorte temporal de 1987 a 2017, gerando assim valores máximos e mínimos de cada ano, para assim classificá-los a fim de criar um ranking com os picos de cheias e estiagens. Os valores correlacionados aos de materiais de suspensão foram calculados através da Equação (1):

QS = Q * [MES] * 0,0864 (1)

em que QS = descarga sólida, Q = vazão, MES = material em suspensão e 0,0864 = constante para transformação dos valores na unidade ton./dia.

Para as análises multitemporais e de mudanças geomorfológicas, foram definidos 4 subáreas ao longo dos municípios de Cruzeiro do Sul e Carauari e utilizadas recorte de imagens *Landsat* 5 TM nos anos de 1987, 1997 e 2007, e imagens *Landsat* 8 OLI no ano de 2017, disponíveis no banco de dados *United States Geological Survey* – USGS (acesso em https://earthexplorer.usgs.gov/). Foram priorizadas as imagens próximas à época de estiagem, onde é possível encontrar cenas com coberturas de nuvem <b20%. As etapas de processamento foram executadas no QGIS, no sistema de projeção UTM (*Universal Transverso de Mercator*) e Datum SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas). Foi obtida, através do método de composição por mesclagem, as cores naturais simuladas, compostas pelas bandas R5G4B3 para as imagens do *Landsat 5* e R6G5B4 para as imagens do *Landsat* 8. O processamento constituiu-se da extração, quantificação e caracterização das feições geomorfológicas encontradas, sendo elas *cutoff, scroll bars, istimo,* e cicatrizes de meandro. Por fim, foi realizada uma avaliação quantitativa da área de estudo, identificando e mapeando as principais mudanças ocorridas ao longo dos anos.

RESULTADOS

Os resultados aqui apresentados fazem parte do trabalho de conclusão de curso "Integração de dados hidrológicos, climáticos e de sensoriamento remoto para avaliação de eventos extremos e análise multitemporal ocorridas ao longo do rio Juruá, série histórica de 1987-2017", da própria autora.

Análise hidro sedimentar

Para a ocorrência de valores máximos, ambas as estações possuem os maiores relacionados após a virada da década de 10, o que indica um aumento de eventos extremos ao longo dos anos. Já para as estiagens, as ocorrências de eventos extremos divergem entre as décadas, tendo as maiores ocorrências na estação 12840000 entre os anos de 2013-2017 e na estação 1250000 entre 1987-1995.

Quanto aos valores de MESmax, MESmin e MESmed, observou-se que, ao menos para os valores de MESmax, todos foram atingidos a partir da virada do século, entretanto, esse padrão não se mantém para os valores de MESmin. A partir dos dados de vazões e materiais em suspensão, gráficos nos quais facilitam a compreensão da variabilidade da descarga sólida no rio Juruá. É possível analisar que há uma certa homogeneidade nos valores de QS entre os meses de junho a outubro para ambas as estações de estudo, conciliando com os meses em que há secas nessa região (Figura 29). Essa homogeneidade não se repete, entretanto, entre os meses de novembro a junho, visto que a taxa de variabilidade é maior, ocasionando também picos de valores acima de 25 * 10^4 ton/ano.

Análise multitemporal

Em Carauari (Figura 1A), município no baixo Juruá, a maioria dos meandros abandonados são anteriores ao ano de 1987, e a coloração azul escura em seu interior indica que ainda há a presença de água em seus lagos. Foram quantificados três processos de abandono de meandro na série temporal estudada, onde é possível identificar o processo desde o surgimento do *istimo* até a separação do meandro por processo de *neck cutoff,* sendo a diferença somente dos anos: em um meandro isso ocorre entre 1987-1997, e noutro, entre 1997-2017. Outras características vistas são as mudanças de ângulo no canal, predomínio de *scroll bars* em vez de cicatrizes de meandro e a presença de várias barras do tipo pontal ao longo da subárea. Por último, foram identificados dois possíveis *neck cutoff* que poderão formar meandros abandonados nos próximos anos.

Em Itamarati (Figura 1B), foram encontradas mudanças de ângulo do canal, em 1987 tem-se um padrão mais fechado e alongado, e, ao passar dos anos, vê-se que o trecho se torna mais sinuoso e largo, recuando da área da cidade em que antes estava, e como consequência, gerou-se uma região de várzea, preenchida na época de cheia do rio. Observam-se somente uma feição de *neck cutoff* nesta subárea, sendo os meandros abandonados presentes na região, em sua maioria, originados de antes de 1987, em contrapartida, observa-se possíveis quatro *cutoffs* ao longo dos anos. Por último, são vistas cicatrizes de meandro, *scroll bars* e meandros do tipo *double heading.*

É notável que as maiores mudanças ocorridas em Ipixuna (Figura 1A) foram entre a passagem da década de 1987 para 1997, e que boa parte dos lagos abandonados já estava antes do ano de 1987. Ainda sobre esta subárea, nota-se que o encurtamento do canal já ocorria sutilmente desde 1987, ganhando intensidade a partir de 2007. Em contrapartida, a região mediana da subárea, onde se localiza a região da sede municipal de Ipixuna, é a que menos sofreu alteração, mudando somente a sinuosidade do canal. A partir do ano de 2007, observa-se na frente da cidade de Ipixuna a presença de uma pequena barra lateral, que se manteve até 2017, com alterações em sua extensão, passando de 0,044 km² para 0,110 km². Somente na porção mais ao sul da subárea é que se observa um certo controle estrutural no curso do rio, devido ao padrão retilíneo neste local.

Em Cruzeiro do Sul (Figura 2B), todos os abandonos de meandro ocorreram entre a transição de 1987 a 1997. Nos outros anos, ocorreram somente o estreitamento ou alargamento do canal, com a formação e desaparecimento das barras fluviais e mudanças no ângulo de sinuosidade. A mudança mais significativa ocorre próxima à sede municipal de Cruzeiro do Sul, onde o canal abandona, através do processo de *neck cutoff,* um meandro com uma área de aproximadamente 0,908 km², encurtando as viagens feitas por via fluvial entre CDS e Rodrigo Alves. Ainda na sede municipal, é possível observar a existência de um trecho onde praticamente não houve mudanças no canal, formando um padrão retilíneo, e sua explicação também pode ser relacionada à topografia do local ou a uma condição estrutural da região.

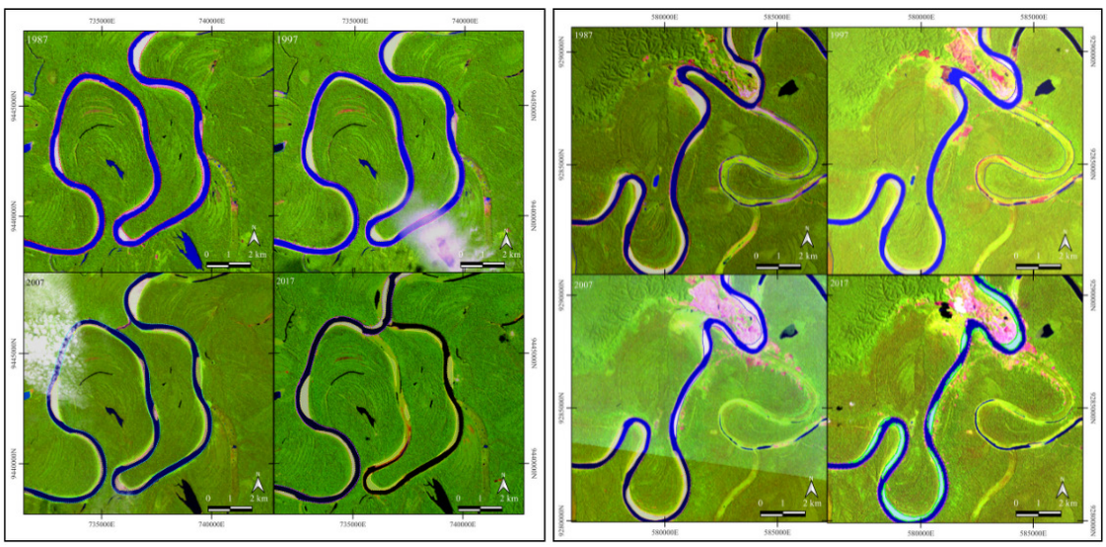


Figura 1: Em Carauari (A), um istmo (seta vermelha) cria condições para que o meandro seja abandonado e assim a barra lateral que antes havia na porção norte da imagem, acaba mudando de lado e de espessura. Em Itamarati é possível observar o espaçamento lateral e encurtamento do canal ao longo dos anos (seta roxa), gerando uma nova região de várzea ao lado da cidade. Em ambas áreas é visto abandonos de meandro por neck cutoff ou espiras de meandro.

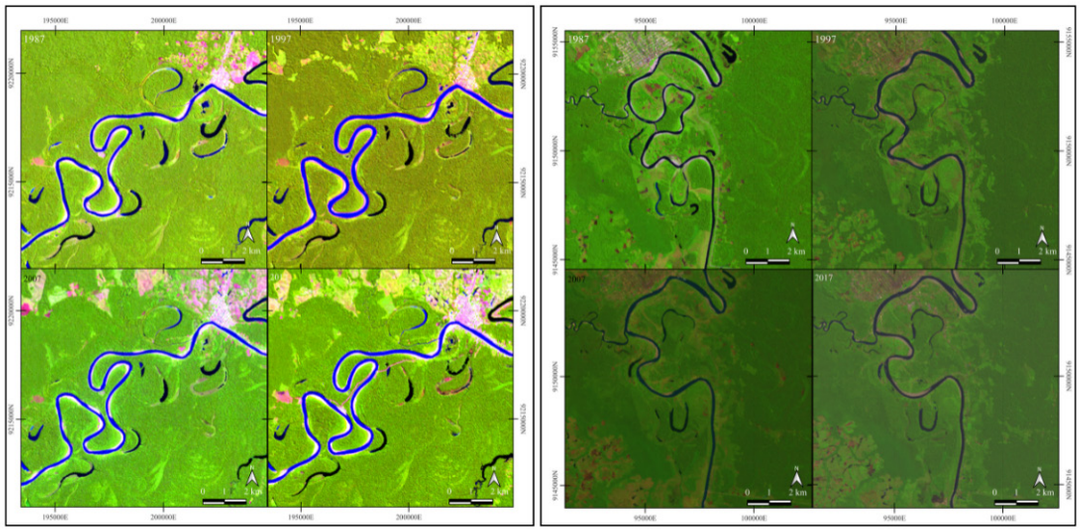


Figura 2: Em Ipixuna (A) ocorre a mudança de ângulo de curvatura com o canal mais sinuoso ao passar dos anos (seta vermelha). Em Cruzeiro do Sul (B), um istmo é visto na cena de 1987 (seta azul), o que vira um processo de abandono por neck cutoff no ano de 1997 (seta roxa).

DISCUSSÕES

Há uma certa homogeneidade nos valores de QS entre os meses de julho a outubro, conciliando com os meses em que há estiagens nessa região. Essa homogeneidade não se repete, entretanto, entre os meses de novembro a junho, visto que a taxa de variabilidade é maior, ocasionando também picos de valores acima de 25 * 104 ton/ano.

As feições vistas nas mudanças de cena entre 1987-2017, como mudanças de ângulo no canal e o predomínio de *scroll bars* em vez de cicatrizes de meandro, indicam que o rio Juruá é um rio bastante ativo e dinâmico.

Ao decorrer dos anos e especialmente nas cenas representativas do ano de 2017, observa-se ainda uma maior expressividade na quantidade de barras fluviais, principalmente as caracterizadas como barras fluviais. Essa informação coincide com o fato de que o ano de 2017 possui os valores de cheia e vazão máxima extrema, por exemplo, em Ipixuna e Cruzeiro do Sul, o que pode explicar o acúmulo de sedimentos nestes lugares. Isso implica no aumento da vazão e de sedimentos em suspensão, estes oriundos de erosões do próprio canal fluvial devido à instabilidade do solo, que se depositam nas barras devido ao avançar do período de estiagem.

CONCLUSÕES

É visto que, ao longo do rio Juruá, os eventos extremos de cheias ocorreram após a virada do milênio, ao contrário dos eventos de estiagem, onde os mais severos concentraram-se principalmente entre os anos 80 e 90.

O avanço do sensoriamento remoto permite identificar, mapear e entender como os canais fluviais mudaram ao decorrer dos anos, como foi visto, por exemplo, em Cruzeiro do Sul, onde a viagem por meio de embarcações teve seus trechos encurta-

dos, devido ao abandono de meandro. Outras mudanças ocorridas que foram possíveis de observar com as análises multitemporais foram mudança de ângulo, estreitamento e encurtamento do canal, além do surgimento ou espaçamento de novas barras arenosas, essas últimas interligadas ao acúmulo de sedimentos devido a diferente quantidade de MES transportados.

A previsão de futuros eventos de *cutoff* pode auxiliar os navegantes, pescadores e trabalhadores rurais a se preparar para novas áreas propícias ao manejo de peixes em lagos abandonados ou ao cultivo de hortaliças, gerando benefícios econômicos aos moradores locais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adamy, A. (2015). Geodiversidade do estado do Acre / Organização Amílcar Adamy. – Porto Velho: CPRM. 321 p. ; il., color.; 30 cm + 1 DVD-ROM Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade. ISBN 978-85-7499-156-6

Filizola Junior, N. P. (1999). O fluxo de sedimentos em suspensão nos rios da bacia amazônica brasileira. Brasília: ANEEL.

Melo, E. C., Filizola Junior, N.P., e Guyot, J. L. (2012). Estudo comparativo de índices morfométricos nas bacias dos rios Juruá e Purus – Região Amazônica. Janeiro/Junho de 2012. Pag 9.

Novaes, F. C. (1958). As aves e as comunidades bióticas no alto Rio Juruá, território do Acre. Boletim do museu paraense Emílio Goeldi; Zoologia. Nº 14

Sioli, H. (1957). Sedimentation in Amazonasgebiet. Geologishe Rundschau.

Sousa, M. M., e Oliveira, W. (2017). Análise morfológica da rede de drenagem do alto Juruá/AC, extraída de MDE-SRTM. Caminhos de Geografia Uberlândia v. 18, n. 61 Março/2017 p. 44–64

DINÂMICA ESPACIAL E TEMPORAL DA MATÉRIA ORGÂNICA DISSOLVIDA COLORIDA (ACDOM) NO RIO NEGRO IMAGENS SENTINEL-2A

Anna Beatriz Monteiro[1]; Rogério Ribeiro Marinho[1]

[1] niversidade Federal do Amazonas - UFAM, Programa de Pós- Graduação em Geociências, Manaus, Brasil

annabeatrizdom@gmail.com; rogeo@ufam.edu.br

RESUMO

A matéria orgânica dissolvida (MOD) desempenha papel importante nos ecossistemas aquáticos continentais, atua como fonte e reservatório de carbono, além de fornecer energia e nutrientes para diversos organismos. Os ecossistemas aquáticos continentais são centrais para o armazenamento, processamento e transporte da MOD dos continentes para os oceanos. Diante dos desafios logísticos e dos custos associados ao processamento laboratorial de dados de MOD, imagens de sensoriamento remoto é uma alternativa para estimar a matéria orgânica dissolvida colorida (CDOM) na água. A relação entre a absorção de CDOM e a reflectância de imagens de satélite tem sido usada com sucesso em diversos ambientes aquáticos. Este estudo mapeou a dinâmica espaço-temporal da matéria orgânica dissolvida colorida (aCDOM) no baixo curso do Rio Negro, utilizando imagens do satélite Sentinel-2A para estimar o aCDOM em 440 nm. Foram analisadas imagens dos anos de 2015 a 2019, revelando padrões sazonais distintos na distribuição da matéria orgânica dissolvida, com valores mais elevados durante a cheia e menores no periodo de águas baixas. As análises indicam que a variação da aCDOM está relacionada ao regime hidrológico e à contribuição de matéria orgânica alóctone.

PALAVRAS-CHAVE: Matéria orgânica; aCDOM; Geoquímica.

INTRODUÇÃO

A matéria orgânica natural (MON) desempenha um papel central nos processos químicos que conectam a biosfera a atmosfera, especialmente por meio da matéria orgânica dissolvida (MOD), que regula parâmetros essenciais da qualidade da água e participa do ciclo global do carbono (MELO et al., 2012).

Em ambientes aquáticos, a MOD influencia a disponibilidade de nutrientes e poluentes, a transparência da água, e a dinâmica ecológica dos ecossistemas. Em rios, sua composição é condicionada por fatores como clima, erosão e características geológicas, sendo transportada até os oceanos e contribuindo para as emissões de gases de efeito estufa (COBLE, 2007; KIRK, 1994; LEENHEER; CROUÉ, 2003).

Na bacia Amazônica, rios de águas pretas, como o Rio Negro, destacam-se por sua coloração escura resultado da alta concentração de carbono orgânico dissolvido (COD), baixos níveis de sólidos suspensos e pH ácido (PINHEIRO, 2013). Esse rio é responsável por cerca de 40% do carbono orgânico total transportado pelo rio Amazonas (SCOFIELD *et al.*, 2016). Essas propriedades resultam em maior absorção de luz do que espalhamento, o que confere à água uma coloração escura, característica atribuída ao baixo albedo da MOD (MARINHO *et al.*, 2021).

Apesar da importância da MOD para o entendimento dos ciclos biogeoquímicos e da qualidade da água, os métodos tradicionais de medição enfrentam limitações como altos custos e dificuldades logísticas, sobretudo em regiões remotas como a Amazônia. Nesse contexto, o sensoriamento remoto tem se mostrado promissor, permitindo o monitoramento em larga escala por meio da reflectância espectral e modelos bio-ópticos que estimam o coeficiente de absorção do CDOM (aCDOM). Ainda assim, são escassos os estudos que aplicam essas técnicas na bacia amazônica (BREZONIK *et al.,* 2015; COBLE, 2007; FICEK; ZAPADKA; DERA, 2011). Diante disso, a dinâmica temporal e espacial da aCDOM no baixo curso do Rio Negro ainda não foi suficientemente caracterizada com base em dados de sensoriamento remoto. Assim, este trabalho busca mapear e analisar a dinâmica espacial e temporal da aCDOM no baixo curso do Rio Negro, entre os anos de imagens dos anos de 2015 a 2019, utilizando dados do satélite Sentinel-2A.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se no estreito de Paricatuba, baixo rio Negro, onde foram analisados dados de aCDOM (a440) entre 2015 e 2019, a partir de imagens dos satélites Sentinel-2A e 2B. Os satélites Sentinel-2A e Sentinel-2B foram lançados em 2015 e 2017, respectivamente, e possuem como carga útil o sensor MSI. A imagem da banda 4 do MSI utilizada neste estudo possui comprimento de onda centrado em 665 nm, com largura de banda de 30 nm na região espectral do vermelho e resolução espacial de 10 m. As principais características espectrais e espaciais do sensor MSI e da missão Sentinel-2 podem ser encontradas em Drusch *et al*. (2012).

As imagens utilizadas foram processadas para correção atmosférica e redução do brilho solar (reflexão especular da luz solar direta na superfície da água) utilizando o algoritmo Glint Removal of Sentinel-2-like images (GRS), desenvolvido por Harmel *et al*. (2018). Após a correção atmosférica e a remoção do brilho solar, os valores de Rrs da superfície da água na banda 4 do rio Negro foram extraídos para um conjunto de 76 imagens dos satélites Sentinel-2A e Sentinel-2B. Assim, foram obtidos valores médios de Rrs do conjunto de pixels sobre uma área no estreito de Tatu Paricatuba no rio Negro. Assim, o valor médio de Rrs dos pixels selecionados foi considerado representativo da reflectância no dia da passagem do satélite.

Mapas da distribuição espacial do aCDOM foram elaborados através da equação (1) para período de águas altas e equação (2) para período águas baixas, conforme Marinho *et. al.,* (2024).

9.0567*exp (-82.671x) (1)

12.484*exp (-142.31x) (2)

Onde x é a Rrs em 665 nm. A extração dos valores de Rrs das imagens Sentinel-2 foi realizada utilizando o software Sentinel Application Platform (SNAP Desktop v. 7.0) e a produção dos mapas no software QGIS.

Este conjunto de dados foram analisados de acordo com regime hidrológico do rio Negro, a partir dos dados da estação fluviométrica Tatu-Paricatuba.

RESULTADOS

Variação temporal da concentração de aCDOM

A concentração média de matéria orgânica dissolvida colorida (aCDOM 440) estimada no rio Negro, para o período de 2015 a 2019, foi de 8.36 m^{-1}, com variação entre 4.59 m^{-1} e 14,06 m^{-1}. Durante os períodos de subida e descida das águas, os valores médios de aCDOM foram de 7,75 m^{-1} e 9,31 m^{-1}, respectivamente. Já nos períodos de águas altas e de águas baixas, o rio Negro apresentou valores médios de 8,19 m^{-1} e 6,48 m^{-1}, respectivamente.

Os valores mínimo e máximo estimados nesta série de dados foram observados em novembro e setembro de 2017 e 2018, respectivamente (Figura 1). Observou-se que os valores médios de aCDOM nos períodos de subida e descida apresentam um aumento (Tabela 1), mas notou-se maior amplitude e maior coeficiente de variação dos dados no período de descida do rio Negro.

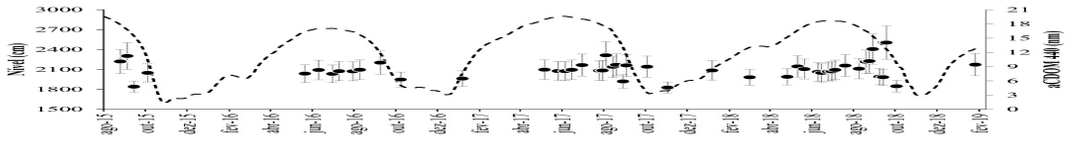


Figura 1 - Série temporal da aCDOM estimada a partir das imagens Sentinel-2 (pontos) na estação Tatu-Paricatuba e da variação do nível da água do rio Negro em Manaus (linha pontilhada). As barras nos pontos indicam o erro das estimativas de aCDOM.

Foi identificada uma defasagem de aproximadamente cinco meses entre o pico do nível do rio Negro, que ocorre geralmente em junho, e os valores mínimos de aCDOM, observados por volta de novembro. Essa relação inversa indica que, nos períodos em que o rio atinge sua cota máxima, a concentração de aCDOM tende a ser mais elevada, enquanto nos períodos de águas baixas, os valores de aCDOM diminuem.

Tabela 1: Estatísticas descritivas da aCDOM (em m^{-1}) estimada com dados Sentinel-2. Período: 2015–2019.

	Subida (Dez - Mai)	Águas altas (Jun - Jul)	Descida (Ago - Set)	Águas baixas (Out - Nov)
Imagens analisadas	19	21	23	13
Mínima	6.48	7.48	4.77	4.59
Máxima	9.04	9.33	14.06	8.98
Amplitude	2.56	1.85	9.29	4.4
Média	7.75	8.19	9.31	6.48
Mediana	8.07	8.05	9.38	6.27
25° Percentil	6.85	7.98	8.33	4.87
75° Percentil	8.36	8.3	10.16	7.67
Desvio padrão	0.89	0.49	2.38	1.87
Coeficiente de variação (%)	11.47	6.04	25.55	28.8

Essa dinâmica está diretamente relacionada à influência do rio Branco, principal afluente do baixo rio Negro, cuja foz está localizada a cerca de 250 km da área de estudo. O rio Branco possui características hidrossedimentológicas distintas, com águas mais ricas em sedimentos em suspensão e com um pulso de cheia que ocorre entre junho e julho — cerca de quatro a cinco meses antes do pico do aCDOM.

Durante o período de cheia do rio Branco, há um aumento na contribuição de sedimentos inorgânicos em suspensão. Isso resulta em valores mais baixos de aCDOM em trechos do rio Negro sob influência direta da pluma sedimentar do rio Branco, principalmente na região da confluência e áreas a jusante.

A dinâmica identificada com os dados de aCDOM indica que, no rio Negro, há uma redução nos valores médios de aCDOM entre o final do período de descida e durante o período de águas baixas (setembro a dezembro), o que pode estar relacionado ao aumento da contribuição de águas ricas em sedimentos provenientes do rio Branco. Durante esses meses, observa-se uma redução nos níveis do rio Negro, favorecendo a entrada de sedimentos do rio Branco na região de estudo.

Variação espacial da concentração de aCDOM

A distribuição espaço-temporal da aCDOM no rio Negro, nas proximidades da seção hidrométrica Tatu-Paricatuba, foi analisada com base em imagens adquiridas em 2017, pois apresentavam maior representatividade em diferentes períodos hidrológicos (Figura 2).

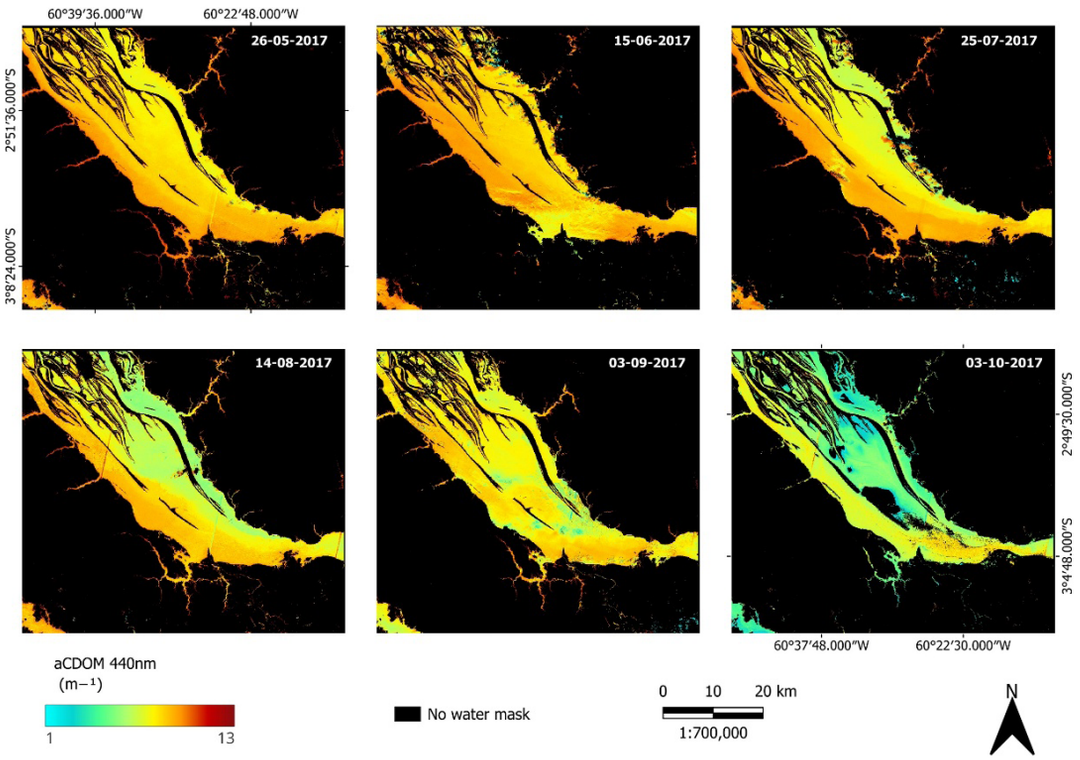


Figura 2 – Mapas da aCDOM em 440 nm do rio Negro a jusante do Arquipélago de Anavilhanas, estimado com imagens Sentinel-2 no final do período de subida até o início do período de águas baixas (2017).

Na Figura 2, É possível observar a morfologia complexa do canal do rio Negro nas imagens do Sentinel-2, com extensas áreas de águas livres que, em alguns trechos, ultrapassam os 10 km de largura. As imagens processadas para a estimativa do aCDOM (absorção da matéria orgânica dissolvida colorida a 440 nm) evidenciam uma distribuição espacial e temporal heterogênea ao longo do curso do rio, especialmente entre os meses de maio e outubro.

Durante os períodos de transição entre a cheia e a vazante, e principalmente nas águas baixas (agosto a outubro), observa-se uma redução significativa nos valores de aCDOM em trechos localizados próximos à margem esquerda e ao canal central inferior do rio Negro.

Durante o período de cheia do rio Negro, observa-se uma maior uniformidade na distribuição espacial do aCDOM nas extensas áreas de águas livres, com valores mais elevados e bem distribuídos ao longo do canal principal.

DISCUSSÕES

A análise da variabilidade do aCDOM no baixo rio Negro mostrou valores mais altos e homogêneos durante a cheia, refletindo as características naturais das águas pretas, e redução nos períodos de vazante e águas baixas, especialmente em áreas influenciadas pelo rio Branco. Essa redução está associada à maior carga de sedimentos em

suspensão, que atenuam opticamente os compostos orgânicos dissolvidos, resultando em menores coeficientes de absorção. A defasagem entre o nível do rio e os mínimos de aCDOM destaca a influência da hidrologia, morfologia e conectividade lateral na modulação da matéria orgânica dissolvida e na qualidade da água amazônica.

CONCLUSÕES

Este estudo analisou a variação espaço-temporal do aCDOM no baixo rio Negro com o uso de imagens Sentinel-2, evidenciando que sua distribuição é fortemente influenciada pela dinâmica hidrológica e pelas águas do rio Branco.

Foi identificada uma defasagem de aproximadamente cinco meses entre o pico do nível do rio Negro e os valores mínimos de aCDOM, o que reforça a importância dos processos hidrodinâmicos e da conectividade lateral com afluentes na modulação da matéria orgânica dissolvida.

Conclui-se que o uso de imagens Sentinel-2 é uma ferramenta eficaz para monitorar a dinâmica do aCDOM, contribuindo para o entendimento da variabilidade da qualidade da água e dos processos biogeoquímicos em grandes rios amazônicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brezonik, P. L. *et al*. (2015). Factors affecting the measurement of CDOM by remote sensing of optically complex inland waters. *Remote Sensing of Environment*, v. 157, p. 199–215.

Coble, P. G. (2007). Marine Optical Biogeochemistry: The Chemistry of Ocean Color. *Chemical Reviews,* v. 107, n. 2, p. 402–418.

Ficek, D. et. al. (2011). Remote sensing reflectance of Pomeranian lakes and the Baltic. *Oceanologia,* v. 53, n. 4, p. 959–970.

Harmel, T. et. al. (2018). Sunglint correction of the Multi-Spectral Instrument (MSI)-SENTINEL-2 imagery over inland and sea waters from SWIR bands. *Remote Sensing of Environment*, v.204, p. 308-321. https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.10.022.

Kirk, J. T. O. (2011). Light and Photosiynthesis in Aquatic Ecossystems. *Cambridge: Cambridge University Press.*

Leenheer, J. A.; CROUÉ, J.-P. (2003). Characterizing aquatic dissolved organic matter. *Environmental science & technology*, v. 37, n. 1, p. 18A-26A.

Marinho, R. R. *et al*. (2021). Spatiotemporal Dynamics of Suspended Sediments in the Negro River, Amazon Basin, from In Situ and Sentinel-2 *Remote Sensing Data. ISPRS International Journal of Geo-Information*, v. 10, n. 2, p. 86, 19 fev.

Marinho, R. R. *et al*. (2024). Estimating the Colored Dissolved Organic Matter in the Negro River, Amazon Basin, with In Situ Remote Sensing Data. *Remote Sensing*, v. 16, n. 4, p. 613, 6 fev.

Melo, C. A. *et al*. (2012). Solar radiation effect on the complexation capacity of aquatic humic substances with metals. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 23, n. 10, p. 1871–1879.

Pinheiro, G. M. D. S. (2013). Balanço espaço-temporal do ciclo dos isótopos de Fe no material em suspensão de águas da bacia Intertropical do Rio Amazonas e de seus afluentes.

Scofield, V. *et al*. (2016). Carbon dioxide outgassing from Amazonian aquatic ecosystems in the Negro River basin. *Biogeochemistry*, v. 129, n. 1, p. 77–91.

ESTIMATIVA DE RECARGA DO AQUÍFERO FREÁTICO NA COMUNIDADE ASSUNÇÃO DO IÇANA, MUNICÍPIO DE SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA (AM)

Rubens, Silva[1]; Ingo, Wahnfried[1]; Natanael, Almeida[2]; Emily, da Silva[2]; Roderval, Quintino[2]; Antonio, Venancio[2]; Estevão, Olímpio[2]

[1] Universidade Federal do Amazonas – UFAM; [2] Comunidade Assunção do Içana

rsamuel6677@gmail.com; iwahnfried@ufam.edu.br; natanael.almeida.tariano@gmail.com; emilyolimpiodasilva22@gmail.com; rodervlapedroquintino@gmail.com; rodriguinhoancs@gmail.com; estevam.f.olimpio@gmail.com

RESUMO

A floresta amazônica já teve 15% de sua área devastada, e as alterações climáticas têm o potencial de acelerar este processo de degradação. Alterações na cobertura vegetal comprometem o balanço hídrico e os ecossistemas associados. Populações indígenas, cuja própria sobrevivência e bem-estar dependem da floresta, são reconhecidas protetoras das áreas preservadas. As mudanças nos padrões de temperatura e precipitação podem afetar os territórios indígenas, mesmo que estes se mantenham preservados. A água subterrânea é essencial para a manutenção da disponibilidade hídrica que sustenta a biodiversidade e as comunidades amazônicas. Entender como a água subterrânea influencia e é afetada pelas mudanças climáticas e eventos extremos, na região do Alto rio Negro, que possui grande extensão de territórios indígenas, é essencial para a definir meios de manter e preservar o contexto hidrológico que sustenta os sistemas físicos, químicos e biológicos nesses territórios. O presente trabalho tem como um dos seus objetivos estimar a recarga do aquífero freático na comunidade Assunção do Içana, em São Gabriel da Cachoeira (AM), alto Rio Negro. Para estimar a recarga do aquífero freático, foram aplicados os métodos do balanço hídrico (BH) e variação do nível de água (VNA), com dados meteorológicos de janeiro de 2022 a maio de 2025. O monitoramento do NA foi realizado em oito piezômetros, com medições diárias em um, 12/2024 a 06/2025. Análises preliminares permitiram identificar dez eventos de recarga, sendo os dois últimos os mais expressivos. Pelo método do BH, as recargas mensais de janeiro a junho de 2025 são, respectivamente, 0%, 34%, 7%, 44%, 52% e 50%. Os eventos Δh3 e Δh4 acontecem quase que totalmente no mês de janeiro, com recarga totalizando 51% da precipitação. Porém, pelo método do VNA, a recarga para janeiro é zero. A discrepância pode ser causada pela estimativa da capacidade de água disponível, já que esse dado ainda não foi medido localmente de forma mais precisa. Isso mostra a grande importância de usar pelo menos dois métodos de estimativa de recarga. Os resultados também serão refinados quando os dados do segundo semestre de 2025, período mais seco, forem analisados e comparados.

PALAVRAS-CHAVE: Balanço hídrico; Hidrogeologia; Rio Negro.

INTRODUÇÃO

Problemática

A água subterrânea é essencial para a manutenção da disponibilidade hídrica que sustenta a biodiversidade e as comunidades amazônicas (Tomasella *et al*., 2008; Wahnfried e Soares, 2012). Serviços ecossistêmicos, como nascentes, dependem desses aquíferos, influenciando a fauna, a flora e o equilíbrio microclimático (Fidelis *et al*., 2008; Schietti *et al*., 2014). No entanto, alterações na cobertura vegetal comprometem o balanço hídrico e os ecossistemas associados (Larned, 2012). Diante da importância do tema e a região do alto rio Negro ser uma das menos conhecidas da Amazônia para a hidrogeologia, este trabalho de mestrado, ainda em andamento, tem como área de estudo a comunidade Assunção do Içana, localizada no município de São Gabriel da Cachoeira (Figura 1).

Objetivo

O objetivo geral do trabalho foi estimar a recarga do aquífero freático da área de estudo, comparando as metodologias utilizadas. Para tanto, foram estimados a recarga do aquífero freático, através do método do balanço hídrico e da variação do nível de água subterrânea, identificando seus principais eventos de elevação, e os resultados foram comparados, identificando suas semelhanças e diferenças.

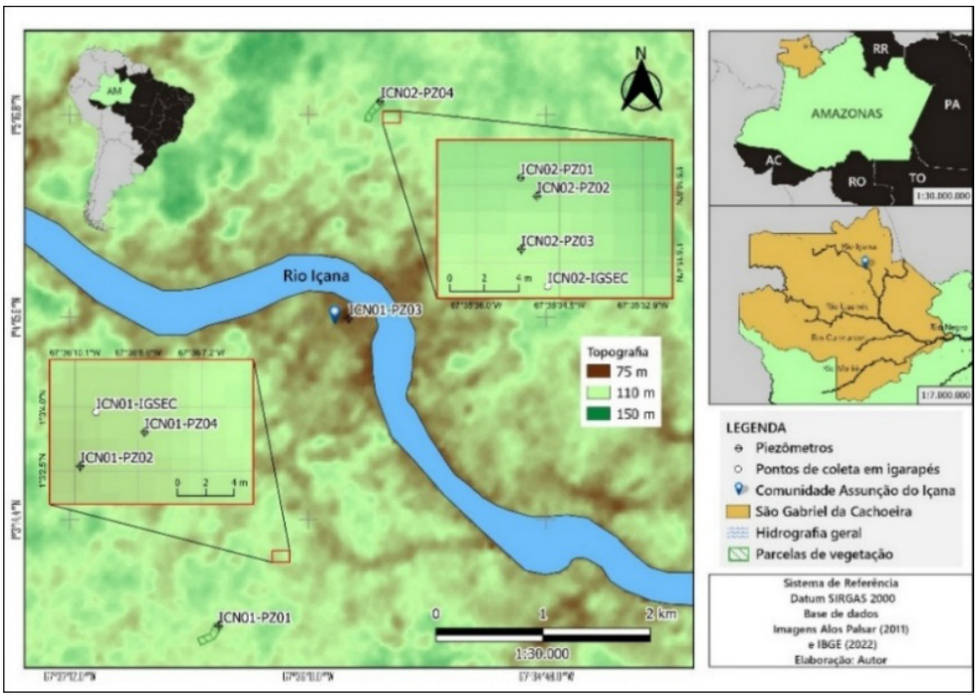


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Dados disponíveis

Para o cálculo do balanço hídrico, foram utilizados dados meteorológicos entre janeiro de 2022 e junho de 2025, com base principalmente na estação pluviométrica Missão Içana (código 81670000), próxima à comunidade Assunção do Içana, disponí-

vel na plataforma HIDROWEB do SNIRH (https://www.snirh.gov.br/hidroweb-mobile/mapa). Como os dados de precipitação e temperatura estavam disponíveis apenas até novembro de 2024, foram utilizados scripts desenvolvidos no *Google Colab* (*https://colab.research.google.com/*) para acessar dados de satélite do projeto *NASA POWER* (https://power.larc.nasa.gov) referentes ao período de dezembro de 2024 a junho de 2025, todas correspondentes à coordenada da comunidade (1,0836° N, 67,5989° W). Além disso, foi considerada a Capacidade de Água Disponível (CAD) do solo, com valor de 10% para São Gabriel da Cachoeira, conforme o Atlas de Irrigação (ANA, 2021) e metodologia de Pereira (2005), representando o armazenamento máximo de água no solo.

Construção dos piezômetros e método de variação do nível de água

Com auxílio de trado manual, foram instalados oito piezômetros em duas parcelas de monitoramento de vegetação, nas duas margens do rio Içana. Os pontos de instalação foram selecionados ao lado de igarapés próximos a essas parcelas, além de um dentro da comunidade Assunção do Içana (ICN01-PZ03). A profundidade dos furos varia entre 1,0 e 5,8 m. Os piezômetros construídos consistem em um tubo PVC de 50 mm de diâmetro com filtro de 50 cm na porção inferior, para o qual foi utilizado geotêxtil.

O monitoramento do nível de água (NA) nos piezômetros foi realizado manualmente pelos monitores da comunidade, feito através do ICN01-PZ03, com medições diárias. Já para os demais piezômetros, as medidas foram feitas quinzenalmente, além de três piezômetros com instalação de transdutores, com medições automáticas. Os dados do ICN01-PZ03 foram utilizados para identificar eventos de recarga pelos picos no NA, em que será determinado os valores de Δh, que é a subtração do NA mais baixo (encontrado através da inclinação da curva de rebaixamento) pelo maior NA, que é o pico do evento. Para definir essa inclinação, o NA foi representado em gráfico, em um período que não há precipitação. Para cálculo da recarga, o valor de Δh foi dividido pelos dias de medição do evento (Δh), e em seguida foi multiplicado pelo rendimento específico (S_y) do solo, que foi inferido como 0.3 pelo fato do filtro do piezômetro estar em silte. O monitoramento começou em dezembro de 2024, e deve continuar até o final do primeiro semestre de 2026.

Balanço hídrico

O método do balanço hídrico (BH), definido por Thornthwaite e Mather (1955), é descrito pela Equação 1:

$$P = ESC + ETR + \Delta ARM + REC \qquad (1)$$

Todas as variáveis da equação estão em milímetros (mm): P (precipitação); ESC (escoamento superficial); ETR (evapotranspiração real); ΔARM (variação no armazenamento de água); e REC (recarga do aquífero).

Thornthwaite (1948) detalha as equações para o cálculo da evapotranspiração. O coeficiente de escoamento superficial (Cs) foi extraído do trabalho de Marques Filho *et al*. (2009). Para calcular a recarga e demais valores, basta reorganizar e/ou aplicar igualdades relacionáveis na Equação 1.

RESULTADOS

Variação do nível de água (VNA)

Foram identificados dez eventos de recarga (Tabela 1). A inclinação da curva de rebaixamento (linhas tracejadas na Figura 2) foi extraída no início do evento Δh3, do dia 14 a 17 de janeiro de 2025.

Os dados apresentam dados de monitoramento de NA entre 8 de dezembro de 2024 e 10 de julho de 2025. Entre 9 e 31 de dezembro de 2024 e 30 de junho a 5 de julho de 2025 não foi possível fazer registros por problemas logísticos. Apesar da ausência dos dados de NA nos períodos citados, os dados de precipitação existem, então o período foi contabilizado para o 1º evento.

Tabela 1 - Eventos de recarga indicados pela elevação do nível de água, precipitação associada ao evento e recarga gerada em mm e porcentagem da precipitação.

Ano	Evento	Δh (mm)	P (mm)	REC (mm)	REC (%)
2024	1	1490	189	19	10
	2	3230	96	81	84
2025	3	1700	83	36	44
	4	1550	198	22	11
	5	3000	169	36	21
	6	2990	254	33	13
	7	5290	206	61	30
	8	2990	169	75	44
	9	2490	336	27	8
	10	5150	301	59	20

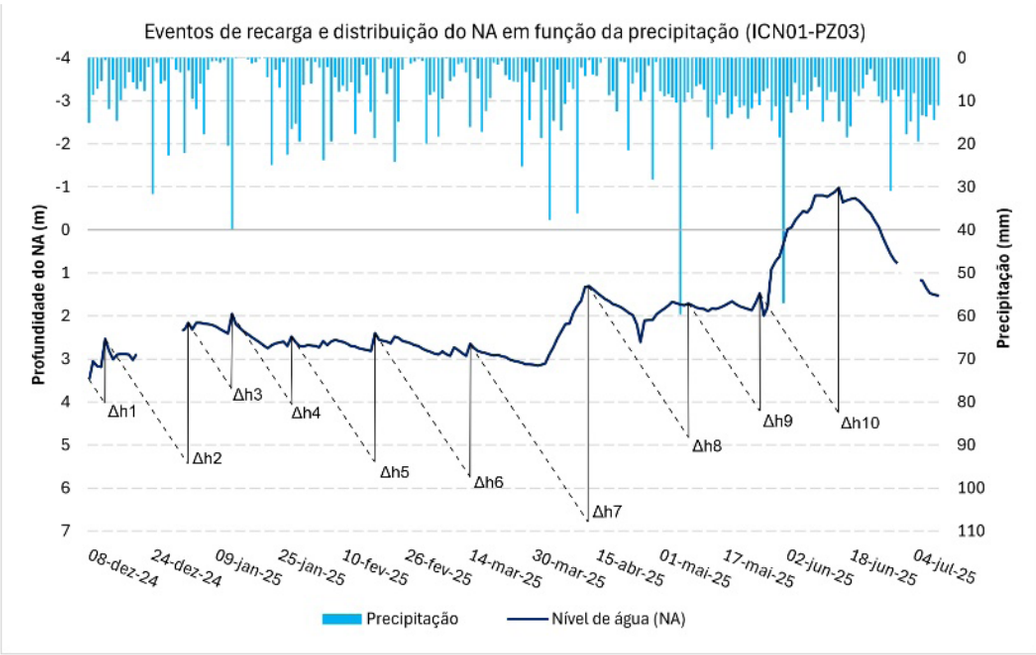


Figura 2 – Distribuição da variação do nível de água em função da precipitação e distribuição dos eventos de maior elevação do NA.

3.2. Balanço hídrico (BH)

Os valores de precipitação anual para os anos 2022, 2023 e 2024 foram, respectivamente, 4.068 mm, 3.159 mm e 3.415 mm., como pode ser visto na figura 3.

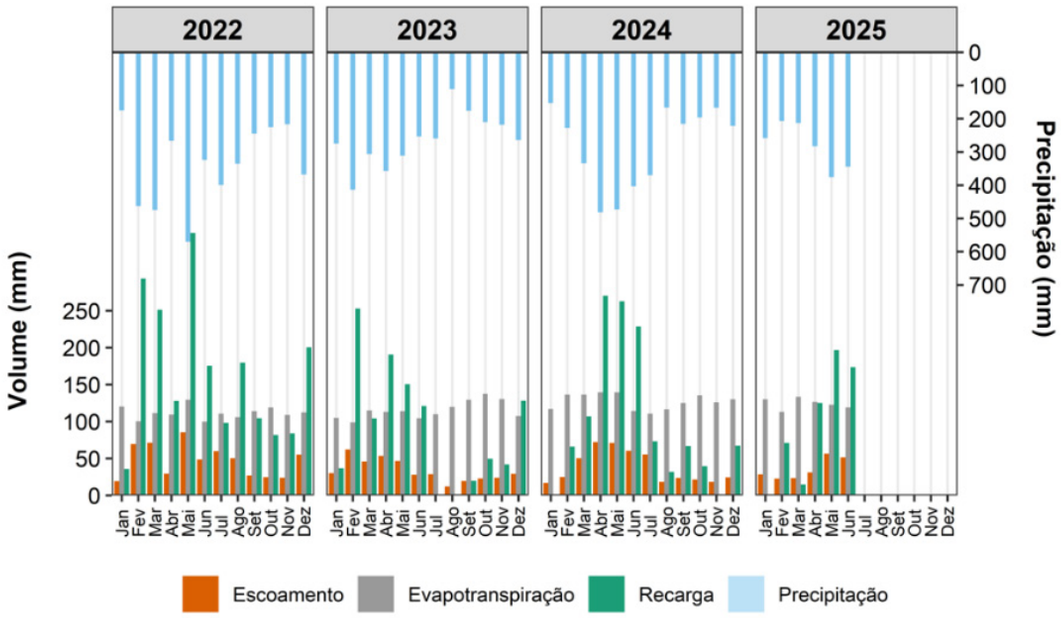


Figura 3 – Balanço hídrico para o período de 2022-2025.

DISCUSSÕES

Pelo método de balanço hídrico (BH), verificou-se maior recarga em 2022, ano mais chuvoso, com pico em 571 mm no mês de maio, com redução significativa em 2023 e 2024. Apesar das diferenças, a tendência de sazonalidade na recarga foi semelhante.

Em termos de temperatura, as médias anuais foram, respectivamente, de 25,4°C, 26,0°C e 26,5°C, sendo 2024 o ano mais quente. O ano de 2023 apresenta a menor recarga anual dos três anos em termos relativos e absolutos.

As precipitações para 2025 estão todas abaixo da média da estação pluviométrica, que é aproximadamente 292 mm, com exceção de maio e junho, com total de 376 e 345 mm, respectivamente.

Há três eventos que duram de 11 a 15 dias, que correspondem ao 2º, 3º e 8º, e os demais duram de 21 a 28 dias. Destes, o maior acumulado de precipitações foi observado no evento Δh9, com 336 mm acumulados em 28 dias, ocorrendo entre 18 de maio a 14 de junho. Do mês de maio ao começo de junho, o volume de chuvas aumentou, em que a mínima neste período foi de 6,1 mm e máxima de 60 mm. Os monitores relataram que a água também estava presente do lado de fora do piezômetro. Apesar disso, o NA já começou a diminuir, atingindo 1.52 m no dia 10 de julho.

Os eventos Δh9 e Δh10 apresentaram as maiores elevações do NA, sugerindo resposta rápida do aquífero às chuvas intensas. Apesar disso, as taxas de recarga nestes eventos não foram as maiores encontradas, representando somente 8 e 20% da preci-

pitação, respectivamente. As maiores recargas pertencem aos eventos Δh2, Δh3 e Δh8, com 84, 44 e 44%, respectivamente.

As recargas mensais de janeiro a junho de 2025, calculadas pelo BH são respectivamente 0%, 34%, 7%, 44%, 52% e 50%. Como o evento Δh3 e Δh4 acontecem quase que totalmente no mês de janeiro, juntando suas recargas totalizam 51%. Pelo método do VNA, porém, a recarga é zero. A causa potencial para essa diferença nos valores é o CAD, já que esse dado local não pode ainda ser estabelecido de forma mais precisa. Isso mostra a grande importância de usar pelo menos dois métodos de estimativa de recarga, para verificação da confiabilidade dos seus dados, ou mesmo, entender os motivos de uma estimativa ser maior ou menor que outra, já que os parâmetros em cada metodologia não são totalmente iguais.

CONCLUSÕES

A combinação dos métodos de balanço hídrico e variação do nível de água permite uma estimativa mais robusta e comparativa da recarga, em que outros métodos serão usados até a finalização desta pesquisa. Os dados preliminares mostram o potencial desse estudo, podendo verificar melhor com os dados dos próximos meses.

AGRADECIMENTOS

O projeto tem apoio financeiro do projeto de título "Caracterização colaborativa das relações entre estrutura da vegetação, biomassa e diversidade de aves na bacia do Rio Içana", através do Edital N. 001/2023 - Universal - FAPEAM 20 ANOS. Além disso, agradecimentos pela bolsa de pós-graduação fornecida pela CAPES.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA. Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada. Agência Nacional de Águas, 2, 66p., 2021.

Fidelis, L., Nessimian, J.L., Hamada, N. Distribuição espacial de insetos aquáticos em igarapés de pequena ordem na Amazônia Central. Acta Amazônica, 38, 127-134, 2008.

Larned, S. T. Phreatic groundwater ecosystems: research frontiers for freshwater ecology. *Freshwater Biology, 57, 885-906, 2012.*

Marques Filho, A.O., Ferreira, S.J.F., Miranda, S.A.F. Modelo de escoamento superficial em bacia experimental da Reserva Florestal Adolpho Ducke. Acta Amazônica, 39, 907-922, 2009.

Pereira, A.R. Simplificado o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather. Bragantia, 64, 311-313, 2005.

Schietti, J., [*Et Al.*] Vertical distance from drainage drives floristic composition changes in an Amazonian rainforest. *Plant Ecology & Diversity*, 7, 241-253, 2014.

Thornthwaite, C.W. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38, 55-94, 1948.

Thornthwaite, C.W., Mather, J.R. The water balance. Centerton: Drexel Institute of Technology, 104 p., 1955.

Tomasella, J., [*ET AL*.] The water balance of an Amazonian micro-catchment: the effect of interannual variability of rainfall on hydrological behavior. *Hydrogeological Processes*, 22, 2133-2147, 2008.

Wahnfried, I.D., Soares, E.A.A. Água subterrânea na Amazônia: Importância, estado atual do conhecimento e estratégias de pesquisa. Ciência e Ambiente, 44, 29-40, 2012.

ANÁLISE GEOECOLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA IGARAPÉ GRANDE (BOA VISTA, RORAIMA)

Aline da Silva de Almeida[1]; Thalluan Coelho de Oliveira[1]; Caio R. Bezerra[1]; Elizete C. Holanda[1]

[1]**Departamento de Geologia, Universidade Federal de Roraima - UFRR**

alinesilva34534@gmail.com; *thalluanc@gmail.com*; **caiogeoufrr@gmail.com; elizete.holanda@ufrr.br**

RESUMO

É fundamental inserir o meio social no planejamento territorial para inibir ações inadequadas do ser humano sobre o meio ambiente e criar espaços que influenciem no funcionamento da paisagem e na qualidade da vida das pessoas. No entanto, a expansão urbana informal desencadeou reflexos sobre o futuro da Bacia Hidrográfica do Igarapé Grande. Nesse estudo, faz-se uma análise do crescimento populacional, da geoecológica da paisagem, e a importância do planejamento territorial para a área de estudo. São apresentados componentes do diagnóstico geoecológico da bacia e mapas temáticos como essenciais para esse planejamento urbano, por meio de reflexões sobre o contexto geoecológico e da esfera social. Os resultados diagnosticaram que os bairros Raiar do Sol, Centenário e São Bento apresentam ocupações irregulares próximas às lagoas e canais de drenagem, acúmulo de resíduos e lançamento de efluentes, isso conduz à degradação do solo, propagação de doenças, riscos de deslizamentos e perda da mata ciliar. A falta de saneamento colabora para a dispersão de lixo e solo, sendo esta área classificada como alterada e esgotada. O uso e ocupação do solo sem controle contribui para mudanças negativas na dinâmica da paisagem, dessa forma, a compreensão da interação das pessoas com a paisagem e de mapas informativos devem ser considerados como fundamentos para a formulação de estratégias de ordenamento e desenvolvimento sustentável.

PALAVRAS-CHAVES: Urbanização; análise sistêmica; paisagem.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o processo de ocupação e uso da terra intensificou-se na Bacia Hidrográfica do Igarapé Grande (BHIG) em Boa Vista, Roraima. Destaca-se a expansão urbana desordenada, que ignora aspectos físicos da área, gerando riscos ambientais como inundações e degradação de corpos hídricos. O crescimento populacional (400% em 40 anos) e a falta de planejamento levam à ocupação de áreas inadequadas, especialmente por populações de baixa renda (Araújo Júnior *et al*., 2024).

A BHIG tem aproximadamente 12 km de extensão, cujas nascentes e drenagens estão distribuídas ao longo de 15 bairros do município de Boa Vista. Dentre os principais usos e ocupação da terra que tem impacto direto sobre a área da bacia estão: o setor industrial do município, que envolve atividades como produção de asfalto, beneficiamento de arroz e madeireiras, situado no bairro Distrito Industrial Aquilino Mota Duarte; a extração mineral de areia da foz do Igarapé Grande; a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da Companhia de Águas e Esgotos de Roraima – CAER, construída próxima à margem do igarapé; o antigo lixão desativado em 2002, sobre o qual se instalou o conjunto habitacional que hoje forma o bairro São Bento; e o atual aterro sanitário municipal (Pereira *et al*., 2010; Chaves *et al*., 2020). Estudos encontraram nas amostras de sedimento dos depósitos tecnogênicos do bairro São Bento a ocorrência de metais pesados, os quais apontam para uma contaminação dos depósitos (Chaves *et al*., 2020). Do mesmo modo, há uma grande concentração de resíduos sólidos no entorno e dentro do igarapé, perda da mata ciliar e focos de queimadas na margem do rio, além de um problema recorrente no município de Boa Vista, que é o uso de fossas sépticas rudimentares pelos moradores do entorno do Igarapé Grande, como relatado por Moreira e Teixeira (2019).

Diante disso, este estudo tem como o objetivo analisar a dinâmica populacional em torno da bacia hidrográfica, realizando um diagnóstico e inventário através de mapeamentos temáticos associado à análise sistêmica da paisagem.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo, BHIG, localiza-se na capital de Boa Vista no estado de Roraima. Na Figura 1, os círculos em cor amarela representam os pontos onde foram realizadas observações *in loco* para registros iconográficos, nos bairros Raiar do Sol, São Bento e Operário.

Foram confeccionados mapas temáticos com o uso do *software* QGIS na versão 3.40, incluindo as bases de dados fornecidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e a utilização do programa Copernicus Global para elaborar os mapas de declividade e altimetria (Figura 2).

De acordo com o diagnóstico encontrado, o estado geoecológico das áreas foi avaliado de acordo com Moraes e Zacharias (2022).

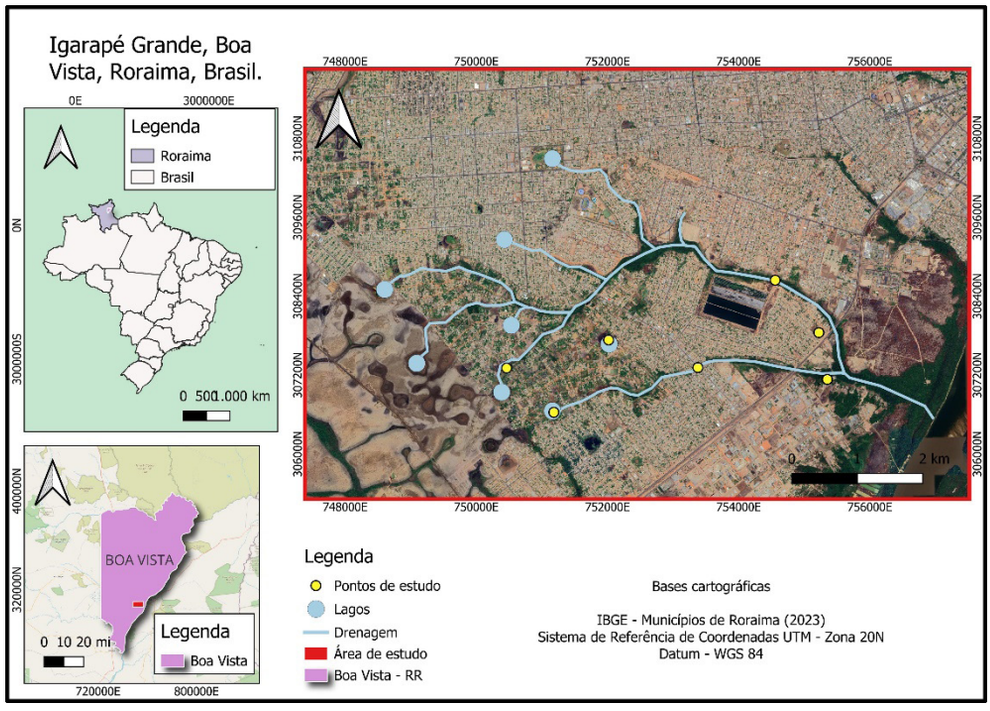


Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica do igarapé Grande, Boa Vista, Roraima.

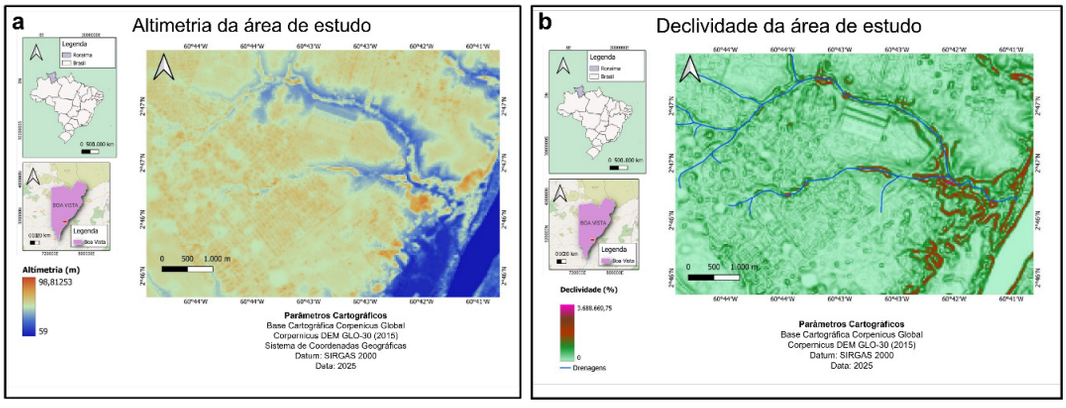


Figura 2 –Mapas temáticos de a) altimetria e b) declividade da Bacia Hidrográfica do igarapé Grande

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise da dinâmica populacional e ocupação urbana no entorno da bacia é mostrada na Figura 3, com a evolução do crescimento de áreas urbanas entre os anos de 2005, 2010 e 2019. O mapa de concentração urbana destacou um aumento da população em torno da bacia hidrográfica ao longo destes 14 anos.

Segundo Araújo Júnior *et al*. (2024), na BHIG, a expansão urbana se deu no ano de 1990, sendo que em 1992 as áreas urbanizadas representavam 16% da cobertura do solo e em 2022 aumentou para 36%. Isso resultou em muitas ocupações não planejadas e, em 2005, os espaços próximos aos corpos hídricos já estavam ocupados; em 2019, as demais áreas também haviam sido comprometidas.

Estas ocupações irregulares resultam da falta de planejamento territorial, que também estão interligados com os fatores socioeconômicos, pois a maior parte da população que reside nestes bairros da área de estudo são de baixa renda.

Em campo, a caracterização dos estados geoecológicos no entorno da BHIG mostrou fatores determinantes para o estado de alterado a esgotado observado, como a ocupação irregular da mata ciliar, o despejo de resíduos sólidos e esgoto nas lagoas que alimentam o igarapé (Figura 4).

Na Figura 2, a declividade mostrou que a área de estudo é acumuladora, porque a água escorre devagar e pode ficar parada. Também são transmissores porque o fluxo carrega a água para outros locais. Já a altimetria representa que a área é plana, por isso tende a acumular água. Portanto, a função geoecológica da área é transmissora e acumuladora.

A relação entre a capacidade potencial e a função socioeconômica é dada por inadequada porque grande parte da ocupação é desordenada e as atividades humanas alteram os atributos físicos do igarapé. A função socioeconômica é representada por essas ocupações irregulares ao redor da drenagem. Os processos ambientais são determinados pelo descarte irregular e pelo despejo de esgoto que ameaçam o funcionamento da paisagem. Os riscos ambientais são a degradação do solo, aumento de doenças e deslizamento. A problemática ambiental constitui a perda da mata ciliar que é resultado de moradias ocupando o espaço e resíduos descartados incorretamente pela devida falta de saneamento. O estado geoecológico da área da BHIG foi considerado alterado porque as ações antrópicas contribuem para um solo e água degradados pela poluição (Figs.4 b-e) e esgotado porque existem moradias sobre o depósito tecnogênico (Fig. 4f), colocando a vida das pessoas em risco.

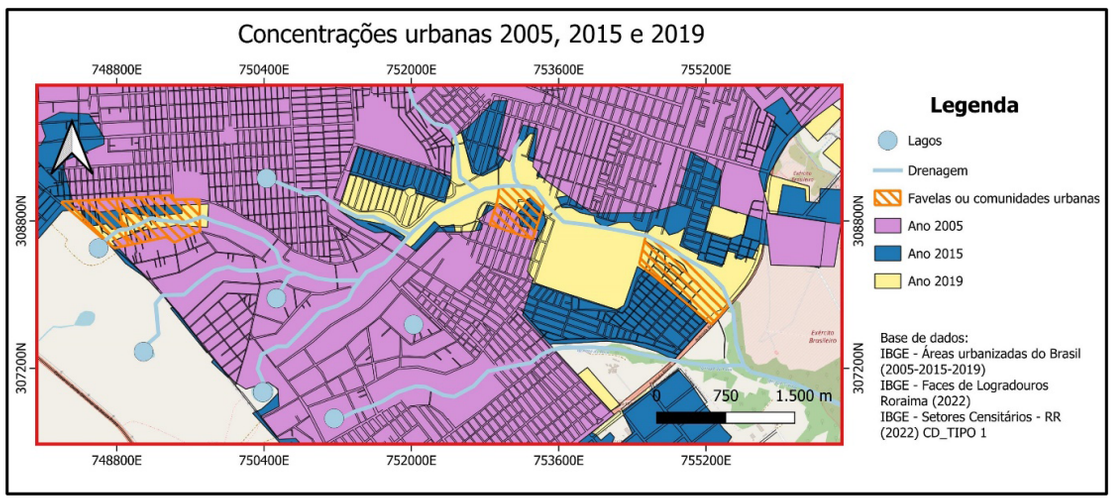


Figura 3 – Mapa de concentração urbana da bacia hidrográfica do igarapé Grande no intervalo de 2005 a 2019.

Figura 4 – Observações *in loco* sobre o estado geoecológico da BHIG; a) lagoa da Paca, área mais preservada e com propriedades no entorno do lago no bairro Operário; b) ocupação irregular da mata ciliar no bairro Raiar do Sol; c) despejo de esgoto no igarapé na Rua Estrela d'Alva; d) acúmulo de resíduos nas proximidades da drenagem no bairro Centenário; e) ocupação irregular da mata ciliar no bairro Centenário ; e f) depósito tecnogênico e casas suscetíveis a desabamento ou deslizamento no Bairro São Bento.

CONCLUSÃO

Este estudo permitiu analisar a partir dos mapas o uso e ocupação do solo na BHIG em Boa Vista, Roraima, entre os anos de 2005 e 2019, que a expansão urbana resultou em uma concentração em torno da bacia em 14 anos, conduzindo a ocupações irregulares e a redução do solo e vegetação. O registro iconográfico permitiu identificar os impactos das ações antrópicas na bacia. Os resultados demonstraram a necessidade de uma análise socioambiental das áreas no entorno de bacias hidrográficas urbanas para o planejamento da cidade de Boa Vista, uma vez que estas são fundamentais para conservar o ecossistema e o manter o contínuo abastecimento de água para o consumo humano, bem como para a prevenção de inundações e enchentes urbanas, recorrentes na região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araújo Júnior, A. C. R., Falcão, M. T., Gomes, M. L., Maia, V. V. e Farizel, S. R. S. (2024). Ocupação e uso na Bacia Hidrográfica do Igarapé Grande – Boa Vista – Roraima – Brasil. *Revista Territorium Terram*, 7, 1-21.

Chaves, G. B., Feitoza, L. M., Farias, E. E., Santos, C. I. C. e Rocha, S. F. (2020) Caracterização física e aplicação da espectroscopia de emissão óptica com plasma induzido por laser (LIBS) para a determinação de contaminantes provenientes do depósito tecnogênico do Bairro São Bento, Boa Vista – RR. *Acta Geográfica*, 14, 182-200.

Moraes, W. R. e Zacharias, A. A. (2022). A Geoecologia da Paisagem como metodologia na exequibilidade de parques lineares em córregos urbanos: apontamentos a partir de estudos no Água da Veada, Ourinhos/SP, Brasil. *Espaço em Revista,* 24, 144-180.

Moreira, S.R.S. e Teixeira, A.S.M. (2019). Impactos ambientais causados pela ação do homem no Igarapé Grande em Boa Vista/RR. *Revista REAMEC*, 7.

Pereira, J.T.R., Macedo, A.R.S. e Veras, A.T.R. (2010) Panorama ambiental da micro bacia do Igarapé Grande. *Acta Geográfica*, 4, 185-206.

A PAISAGEM DA PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO DA MICROBACIA DO IGARAPÉ CARRAPATO, MUNICÍPIO DE BOA VISTA – RORAIMA

Véritha Nascimento Pessôa[1]; Vladimir de Souza[1] Carlos Eduardo Lucas Vieira[1]

[1]Universidade Federal de Roraima – UFRR

veritha.pessoa@ifrr.edu.br; vladimir.souza@ufrr.br; carlos.vieira@ufrr.br

RESUMO

As bacias hidrográficas são ambientes continentais interrelacionados com o ciclo hidrológico, onde as águias das precipitações fluem neste ambiente permitindo o desenvolvimento dos processos ambientais para a manutenção do ecossistema. Este estudo mostra a dinâmica da paisagem decorrente da variação sazonal na planície de inundação da microbacia do igarapé Carrapato, município de Boa Vista – Roraima, no extremo norte da Amazônia brasileira. Para o levantamento bibliográfico documental, foi realizada a pesquisa em acervo biográfico *on line* e físico, em instituições públicas e privadas, que abordam a temática. A observação do ambiente *in loco*, realizado em duas visitas programadas para ocorrer em período climático distinto, a primeira no período da estiagem e a segunda no período chuvoso, para conhecer os aspectos que modificam a planície de inundação e altera visivelmente a ecopaisagem no local. Feito o levantamento cartográfico e fotográfico em superfície, para posterior emprego dos dados aplicados no geoprocessamento para elaboração dos mapas de localização, é o de variação sazonal da microbacia do Igarapé Carrapato. Intervenções antrópicas na planície de inundação da microbacia podem interferir na dinâmica hidrológica a longo prazo e afetar a disponibilidade hídrica e a capacidade de manutenção dos serviços ecossistêmicos, e a sustentabilidade da microbacia.

PALAVRAS-CHAVE: Recurso hídricos; Variação sazonal; Planície de inundação.

INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica amazônica possui a maior rede hídrica da Terra, um grande reservatório de água doce, que existe pela combinação complexa e excepcional existente entre o ciclo hidrológico e a floresta tropical (Ab' Sáber, 2003). Coordenada por um ciclo natural de que se alterna entre cheias e vazantes (Lang, 2009). Assim, a paisagem, é considerada herança de processos atuantes antigos, remodelados e modificados pelas condições atuais, com seus próprios mecanismos de controle regeneração e tendência ao seu estado original que, interagem sobrepondo uns aos outros, construindo a paisagem uma unidade complexa em contínua evolução (Bertrand, 2004). As bacias hidrográficas são ambientes continentais influenciados pelo ciclo hidrológico e sofrem

os efeitos da variação sazonal do clima que modifica a paisagem. A bacia hidrográfica é o ambiente natural de captação das águas das precipitações numa dinâmica constate coordenada pelo fenômeno atmosférico do ciclo hidrológico (Tucci, 2000). A paisagem da microbacia do igarapé Carrapato, encontra -se na savana uma ecorregião da Amazonia brasileira, descrita por (Buenafuente, Galdino, Barbosa, 2023), como um ambiente ecológico e hídrico de grande relevância ambiental no extremo norte do país. Possui um relevo com baixa a média altitude (média < 600 m), constituída por uma geologia de resíduos basálticos e depressões no terreno (abaciamentos), que geram sistemas de lagos perenes e sazonais, com rede de drenagem interligada margeada por veredas de buritizais, que são córregos que fazem ligação com lagos e rios maiores, são mecanismos ambientais de adaptação relacionada à sazonalidade climática. No período das cheias, esses cursos d'água transformam-se em barreiras naturais contra o fogo e no período de estiagem (período seco), essas veredas tornam-se corredores de fogo por terem maior carga de biomassa seca (combustível) no solo (Barbosa, Campos, Pinto, Fearnside, 2007). Os estudos do (INPA, 2006), destaca a relevância ecológica da savana roraimense e chama atenção para a biodiversidade e o endemismo deste ecossistema, que possui similaridade como outras savanas amazônicas. Neste aspecto as geotecnologias são ferramentas indispensáveis para o estudo das bacias hidrográficas, juntamente com os indicadores ambientais contribuem para o entendimento da capacidade de suporte ambiental, direcionando as possibilidades de diferentes manejos empregados nas atividades de produção, com vistas no desenvolvimento sustentável (Manual Técnico de uso da Terra, 2013).

OBJETIVO

Este estudo tem como objetivo destacar a importância da planície de inundação da microbacia do igarapé Carrapato, município de Boa Vista - Roraima, sob a hipótese de que as intervenções antrópicas, neste ambiente pode comprometer a disponibilidade hídrica da microbacia.

MATERIAL E MÉTODOS

Á área de estudo é a microbacia do Igarapé Carrapato encontra-se entre as latitudes de 2°52' 35" e 3°1'16" N e longitudes 60° 46'15" e 60°46'14" W, é um tributário da margem esquerda do rio Cauamé, localizada na zona norte do município de Boa Vista - Roraima, extremo norte da Amazônia brasileira, (Figura 1). O tipo climático é o tropical úmido Awi, segundo a classificação de Koppen. A vegetação é do tipo savana (lavrado na terminologia local) com a predominância de ambientes tipicamente graminoso. Os solos são do tipo latossolos amarelos distróficos (textura média), de baixa fertilidade natural, sendo ácidos a fortemente ácidos. Contudo, possuem aptidão para a maioria das culturas anuais e, principalmente às permanentes como a fruticultura (Sander *et al*, 2007).

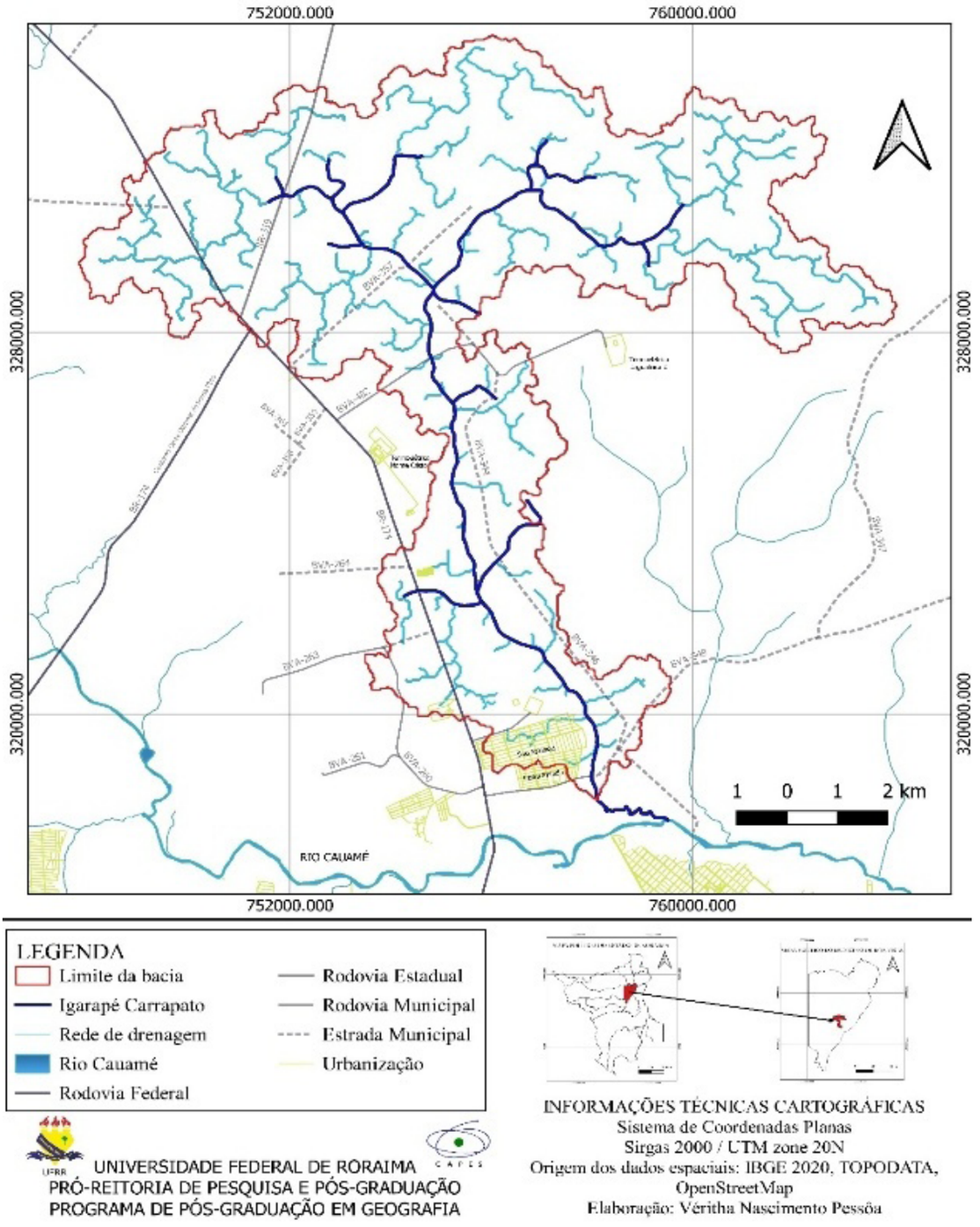


Figura 1 - Mapa de localização da microbacia do igarapé Carrapato município de Boa Vista, Roraima.

A metodologia utilizada no estudo foi visita ao local para a observação dos padrões de paisagem, e coleta de pontos de coordenadas. O levantamento bibliográfico documental foi realizado em acervo bibliográfico *on line* e físico, em instituições públicas e privadas, que abordam a temática. Foi programada duas visitas a microbacia que ocorreram no ano de 2021, considerando dois momentos climáticos distintos. A primeira visita, no período da estiagem no mês de dezembro, a segunda no período chuvoso no mês de julho, considerando a variação sazonal da região, pois, ambos interferem consideravelmente no aspecto eco paisagístico da microbacia. O geoprocessamento das

imagens de satélites para confecção do mapa de variação sazonal climática da bacia, foram integrados e tratados em ambiente de geoprocessamento, com o software *QGIS* 3.16. Os mapas possuem sistema de Referência datum SIRGAS 2000, Zona 20 N, Meridional Central -63°. Optou-se por uma imagem de satélite do *Landsat* 8 para a composição colorida das bandas infravermelhos 5, 6 e 4 e fusão com a banda 8 pancromática para obter melhor resolução e distinção dos alvos no reconhecimento da superfície coberta por água no período das altas precipitações no local que ocorre no inicia no mês de março seguindo até agosto. Para quantificar a extensão da área inundada da microbacia, realizou a classificação supervisionada para água. Para reconhecimento da expansão da planície de inundação no período chuvoso, foi utilizada a composição colorida com as bandas 5, 6 e 4, que evidencia os elementos naturais, terra no período de estiagem e água no período chuvoso da microbacia. Para a elaboração dos mapas (A) e (B) respectivamente da microbacia (figura 02), utilizou-se uma imagem do período de estiagem do mês de fevereiro de 2020, e uma imagem do período de precipitação do mês de agosto de 2019.

RESULTADOS E DISCUSSÃO.

A mudança da paisagem da planície de inundação do igarapé Carrapato decorrente da viação sazonal, esta apresentada na (Figura 02), os mapas de variação sazonal da microbacia, mostram o comportamento da planície de inundação em dois momentos climáticos distintos, o período da estiagem e o chuvoso.

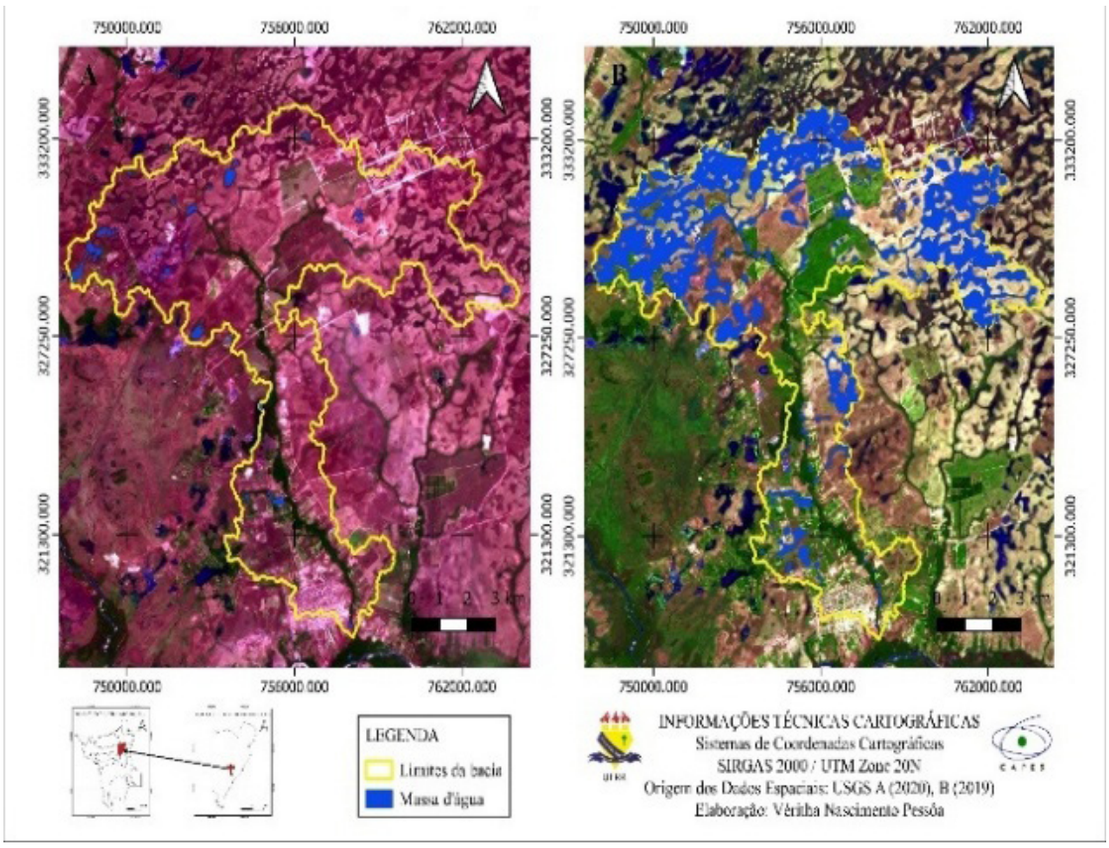


Figura 2 - Mapa de variação sazonal da microbacia do igarapé Carrapato, município de Boa Vista – Roraima.

Visivelmente a paisagem muda em relação a variação sazonal climática, expressa em dois períodos climáticos bem-marcados na região. O período chuvoso, as superfícies abaciadas são preenchidas pelas águas das formando lagos e lagoas temporárias, constituindo uma grande área úmida que perfaz a planície de inundação. O mapa (figura 02), estão identificados da seguinte forma: imagem (A), e imagem (B), apresenta respectivamente a paisagem da microbacia no mês de fevereiro de 2020 no ápice do período da estiagem, é no mês de agosto de 2019 no período chuvoso. A superfície abaciada desempenha papel ambiental indispensável nos processos de infiltração e conseguinte recarga dos cursos hídricos superficiais e subterrâneos da microbacia Sander *et al*., (2007), em seus estudos identificou que cerca de 54% da microbacia e composta por este ambiente úmido. Atividades antrópicas neste ambiente como a construção de canais de drenagem para escoamento da água no período chuvoso, avanço da agricultura e pecuária, podem comprometer a sustentabilidade ambiental e a capacidade de manutenção dos recursos hídricos da microbacia (Pessôa *et al*., 2023). A impermeabilização do solo da microbacia, com a implantação de bairros, termoelétricas, pavimentações de estrada e infraestrutura urbana, a longo prazo interferem negativamente na disponibilidade hídrica da microbacia. Conforme constata Ross (2019), Guerra & Cunha (2000), as intervenções humanas, desenvolvidas em bacias hidrográficas, resultam em rápidas mudanças geram agravos e desequilíbrios aos recursos hídricos, com perda da biodiversidade, da qualidade ambiental e da produção de alimentos. Para, Silva *et al*. (2009), modificações no relevo e na vegetação de bacias hidrográficas causam agravantes negativos nos processos morfogenéticos da paisagem. O escoamento superficial rápido da água das lagoas pelo canal de drenagem artificial, potencializa o arraste de partículas e sedimentos mineral e orgânico, que logo alcança a foz do Igarapé. Amorim (2018), afirma que os monocultivos de Soja e a psicultura em microbacias do lavrado de Roraima, ocasionam o carreamento de resíduos provenientes de adubos, inseticidas, herbicidas, rações e sedimentos, este material presente no curso hídrico são levados para outros rios da região que compromete a qualidade da água doce nesta parte da Amazônia brasileira. A tabela 1, apresenta o quantitativo em porcentagem dos índices da área inundada da microbacia.

Tabela 1 – Índices em porcentagem da área inundada da em relação a variação sazonal da microbacia.

Ambiente hídrico da microbacia	Índices (%)	Período climático
Massa de água	0,91%	Estiagem
Área abaciada	21,80%	Precipitação
Área inundada na cheia	23,70%	Precipitação

A planície de inundação se expande no período chuvoso, em comparação com o período seco. No período da estiagem a massa de água é de 0.91%, e as superfícies abaciadas ocupam uma área de 21,80%, com a chegada das chuvas, estas se enchem e se expandem, que perfaz uma área de 23,70% da microbacia. Grande parte do solo da microbacia encontra se no seu estado natural, arenoso coberto por vegetação graminosa

condicionada à variação sazonal do clima local, adaptado a infiltração de grandes volumes de precipitações se assemelha a uma esponja. Esta condição ambiental é um fator importante no processo de abastecimento das reservas superficiais e subterrâneas da microbacia e conseguinte do aquífero Boa Vista (Sander *et al* 2012).

CONCLUSÕES

O planejamento e a gestão dos recursos hídricos das microbacias do lavrado de Roraima, devem estar pautados na sustentabilidade ambiental. Como estratégia de conservação deve se evitar a expansão das atividades econômicas predatórias das superfícies abaciadas da microbacia, mantê-la sob vigilância ambiental, para garantir a sua conservação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ab' Sáber, A. N. Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. 1. 4ª ed. Paisagens - Brasil.

Amorim, J. E. L. de.; Características geoambientais da bacia hidrográfica do igarapé Água Boa do Bom Intento, Boa Vista, Roraima. GEOSABERES: **Revista de Estudos Geoeducacionais**, vol. 9, núm. 17, 2018 Universidade Federal do Ceará.

Barbosa, R. I.; Campos, C.; Pinto, F.; Fearnside, P. M. The "Lavrados" of Roraima: Biodiversity and Conservação das Savanas Amazônicas do Brasil, 2007. Functional Ecosystems and Communities (in press) disponível em: <http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/preprints/2007/biodiversity% in%20lavrado%20of%20roraima-5a.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2022.

Bertrand, G. Paisagem e geografia física global. Revista RA´E GA, n. 8, p. 141-152, 2004.

Guerra, A. J. T.; Cunha, S. B. Degradação Ambiental. In: Guerra, A. J. T.; Cunha, S. B. (orgs.). Geomorfologia e Meio Ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Bases Cartográficas Contínuas. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: <https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#mapa222602>. Acesso em: 27 out. 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manuais Técnico em Geociências n 7 - Manual Técnico de Uso da Terra. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manuais Técnico em Geociências n 7 - Manual Técnico de uso da Terra. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

INPA. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Proposta de Criação de uma Unidade de Conservação nas Savanas de Roraima. Boa Vista: IBAMA; INPA; SMGA, 2006. Disponível em: <http://agroeco.inpa.gov.br/reinaldo/RIBarbosa_ProdCient_Usu_Visitantes/2006Indica%C3%A7%C3%A3o_UCLavrado_v3.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2022.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. São Paulo: INPE, Topodata. s.d. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>. Acesso em: 27 out. 2021.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. CBERS - Imagem de Alta Resolução do dia 04 de agosto de 2022. São Paulo: INPE, 2022. Disponível em: <http.//www.cbers.inpe.br>. Acesso em: 21 nov. 2022.

Lang, S. Análise da paisagem com SIG. Thomas Blaschke. Tradução Hermann Kux. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

Ross, J. L. S. Geomorfologia, Aplicada aos EIAS-RIMAS. In: Guerra, A. J. T.; Cunha, S. B. (orgs.). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2019.

Sander, C.; Wankler, F. L.; Tonello, M. F.; Sousa, V. P. Levantamento hidrológico da bacia do Igarapé Carrapato, Boa Vista, RR: dados preliminares. Revista ACTA Geográfica, n. 3, p.119-129, 2008.

Sander, C.; Wankler, F. L.; Evangelista, R. A. O.; Santos, M. L.; Fernandez, O. V. Q. Intervenção antrópicas em canais fluviais em áreas urbanizadas: rede de drenagem do igarapé Caranã, Boa Vista, RR. Revista ACTA Geográfica, v. 6, n. 12, p. 59-84, 2012.

Silva, D. A.; Nascimento, F. A.; Silva, L. D.; Beserra Neta, L. C.; Tavares Júnior, S. S. Características geomorfológicas e a atuação antrópica na formação atual da paisagem em Boa Vista e Bonfim e Pacaraima. **Revista ACTA Geográfica**, n. 6, p. 55-64, 2009.

Pessôa, V. N.; Souza, V De.; Vieira, C. E, L.; Araújo Júnior, A. C. R.; Análise espacial dos impactos ambientais da cobertura da terra da bacia hidrográfica do igarapé Carrapato, município de Boa Vista – Roraima. **Acta Geográfica,** Boa Vista, v. 17, n. 45, edição especial, p. 1–15, 2023.

TUCCI, M. E. C. Hidrologia: Ciência e aplicação. In: Tucci, C. E. M. (org.). Hidrologia: ciência e aplicação. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos). v. 4. Porto Alegre: [15] TUCCI, M. E. C. Hidrologia: Ciência e aplicação. In: TUCCI, C. E. M. (org.). Hidrologia: ciência e aplicação. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos). v. 4. Porto Alegre: EUFRGS/ABRH, 2000.

ESTUDO GRAVIMÉTRICO NA ÁREA DE DISPOSIÇÃO MUNICIPAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO CANTÁ, RORAIMA, BRASIL

Iasmim Maria de Souza Nunes Pereira[1]; Lena Simone Barata Souza[1]; Pedro Alves da Silva Filho[1]

[1] Universidade Federal de Roraima-UFRR

iasmimsn2024@gmail.com; lenabarata@yahoo.com.br; pedro.filho@ufrr.br

RESUMO

A geração de resíduos sólidos é cada vez mais crescente, visto a obsolescência programada de produtos que são projetados para terem uma vida útil limitada. Este cenário produz desafios na gestão municipal, visto que nos estados federativos do Brasil, o tratamento e a destinação final dos resíduos são, em sua grande maioria, os lixões à céu aberto. Estes causam sérios impactos ambientais e à saúde pública. Desta forma, o presente trabalho buscou entender as propriedades físicas dos resíduos sólidos urbanos-RSU na Área de Disposição Municipal de Resíduos Sólidos - ADMRS do Cantá/RR, visando o planejamento e gerenciamento de sua gestão integrada. Assim, a caracterização qualitativa e quantitativa dos RSU é de vital importância. Assim, foi adotada a metodologia da composição gravimétrica por meio de três amostragens de RSU, de forma a abranger o maior perímetro possível da ADMRS. Para a triagem, pesagem e avaliação do volume, os resíduos foram separados nas frações: matéria orgânica; papel/papelão; plástico mole e duro; isopor, metal, vidro, tecido e rejeito, com a utilização da técnica do quarteamento. Neste processo a amostra de resíduos coletados é pré-homogenizada e dividida em quatro partes, sendo tomada duas partes opostas entre si para a constituição da amostra a ser analisada. Os resíduos caracterizados como matéria orgânica apresentaram percentual correspondente a 32,24%, dos rejeitos com 13,55% e da fração dos recicláveis com maior percentual com 54,2%. Os resultados obtidos para a fração de recicláveis indicaram alto potencial do Município para implantação de programas de coleta seletiva e de educação ambiental, proporcionando assim a correta segregação dos resíduos e resultando no aumento da fração de recicláveis, e redução da fração de rejeitos. Além disso, os governantes do Município, podem desenvolver programas de compostagem e incentivar a população a realizar em suas residências. Estes, se incluídos, no ambiente escolar, fomentariam crianças/adolescentes/jovens sobre os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável-ODS.

PALAVRAS-CHAVE: Lixo; Composição Gravimétrica; Quarteamento; Roraima.

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e a intensificação das atividades urbanas têm como consequência o aumento da geração de resíduos sólidos. Esse cenário acarreta desafios na gestão municipal, pois, muitas vezes, carece de infraestrutura adequada para o manejo, o tratamento e a destinação final desses resíduos, causando sérios impactos ambientais e à saúde pública (SOARES, 2011).

Segundo a Associação Brasileira de Resíduos Sólidos e Meio Ambiente - ABREMA, no ano de 2022, o Brasil gerou mais de 77 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos - RSU. Desse total, a Região Norte foi responsável pela produção de 15 mil ton/dia, o que representa 7,3% da geração nacional (ABREMA, 2023). Em 2022 foram coletados 93% dos resíduos gerados no Brasil, o que corresponde a 71,7 milhões de toneladas. No entanto, cerca de 30 milhões foram enviados para os mais de 3.000 lixões, sendo este o número que se estima haver no país. Tal situação revela um cenário preocupante em relação à gestão e ao descarte ambientalmente adequado dos resíduos (ABREMA, 2023).

Embora os lixões não sejam a forma correta de destinação do lixo, esta é a prática mais comum executada no Brasil, em detrimento a alocação dos resíduos em aterros controlados e sanitários, sendo este último o ambientalmente adequado e com viabilidade econômica. De forma desenfreada o Estado de Roraima continua a praticar a destinação incorreta em todos os seus 15 municípios (SOUZA; PIMENTEL, 2024; SILVA; SOUZA, 2023; PIMENTEL; SOUZA; SILVA; 2022; SOUZA; ANDRADE, 2018), implicando em continuada contaminação ao meio ambiente e transtornos sociais e econômicos.

Dentre alternativas de estudos que assessorem políticas públicas, é possível entender as propriedades dos resíduos sólidos urbanos. De acordo com Soares (2011) os resíduos apresentam variações entre os municípios, a depender de alguns fatores como o tamanho da população, as atividades econômicas do local, os hábitos culturais, as condições climáticas e o nível de escolaridade da comunidade local. Além disso, as características dos RSU podem modificar ao longo do tempo em função das transformações sociais, econômicas e ambientais do município.

Assim é necessário a realização periódica de pesquisas de caracterização dos resíduos, especialmente em cidades com crescimento populacional. Fato este vigente no Estado de Roraima, cuja população em 2022 foi de 640 mil e estimada em 2024 para quase 700 mil. Tal acréscimo é atribuido ao intenso processo migratório da Venezuela nos últimos anos (*https://cidades.ibge.gov.br/brasil*; IBGE, 2010). E, o município do Cantá, área foco de estudo, posicionado na região nordeste do Estado, entre as coordenadas geográficas 60º 34’ 01” O e 02º 36’ 18” N, com a extensão territorial de 7.664 km², tinha uma população de 19 mil em 2022, e em 2024 foi estimada em quase 21 mil.

Assim, a presente pesquisa teve como objetivo a caracterização qualitativa e quantitativa dos resíduos sólidos urbanos produzidos pelo Município, visando contribuir para o planejamento e gerenciamento de sua gestão integrada.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para alcançar o objetivo proposto neste estudo, realizou-se o levantamento bibliográfico da área de estudo, com base em fontes como livros, artigos científicos, revistas e plataformas virtuais relevantes ao tema.

No dia 14/07/2025 fez-se uma visita técnica à Área de Disposição Municipal de Resíduos Sólidos - ADMRS do Cantá/RR, com o intuito de realizar a caracterização dos RSU por meio do Ensaio de Composição Gravimétrica. Esta está posicionada nas coordenadas geográficas 2° 34’ 16.96” N e 60° 39’ 25.40” O, distando a 7 km da sede municipal. O acesso ao local é feito por meio da RR- 444, que liga a vila de Cantá às vilas de Serra Grande I e Serra Grande II (Figuras 1 e 2).

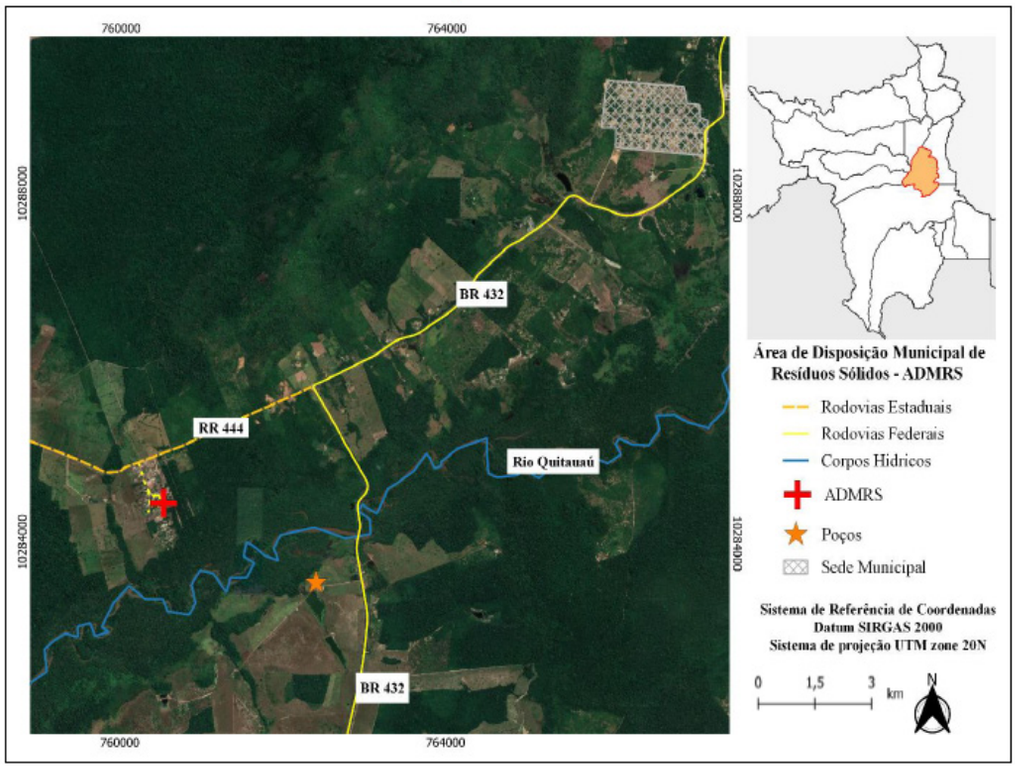


Figura 1 – Localização da área de disposição municipal de resíduos do município do Cantá/RR. Fonte: Silva (2022).

Figura 2 – Exemplificação da Área de Disposição Municipal de Resíduos Sólidos do Cantá/RR.

Os materiais utilizados para ensaio gravimétrico foram: equipamentos de proteção individual (EPI); balança; bombona de plástico 1,30 kg e volume 0,06 m³; lona plástica e pás e enxadas. Para realização do Ensaio adotaram-se as bibliografias/normas ABNT NBR 10007/2004 (ABNT, 2004) e Fundação Estadual do Meio Ambiente-FEAM (FEAM, 2019)

Para o desenvolvimento do Ensaio foi aplicado o procedimento de quarteamento, que consistiu em separar a amostra pré-homogenizada em quatro partes iguais, sendo tomadas duas partes opostas entre si (diagonal) para a constituição da amostra a ser analisada, sendo as demais partes descartadas. O procedimento foi repetido duas vezes até se obter o volume da amostra representativa desejada.

A massa adotada para realização do estudo foi de aproximadamente 16 kg, obtida após o quarteamento, conforme o procedimento para a preparação da amostra descrita a seguir:

1º. Definição e preparação do local da amostragem, que deve ser plano e isolado (Figura 3).

2°. Para a amostragem foram coletadas três bombonas em pontos diferentes da ADMRS, sendo pesadas e em seguida o conteúdo delas (os resíduos) dispostos sobre a lona plástica para homogeneização (figura 3), e posterior quarteamento. Este último com o objetivo de obter uma amostra heterogênea e representativa (Figura 4).

Figura 3 – Homogeneização dos resíduos.

Figura 4 – Procedimento de quarteamento da parte escolhida na diagonal.

3°. Triagem dos resíduos nas frações: matéria orgânica; papel e papelão; plástico mole e duro; metal, vidro, tecido e rejeito (Figura 5).

Figura 5 – Triagem dos resíduos.

4°. Categorização das frações: percentual e o peso específico.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O ensaio gravimétrico realizado na ADMRS de Cantá/RR por meio de quarteamento, implicou na caracterização dos resíduos por meio da coleta de 3 amostras de bombonas, estas sendo pesadas e obtidos os pesos específicos (kg/m³) de cada amostra como peso específico médio conforme a tabela 1 a seguir.

ENSAIO GRAVIMÉTRICO (Caracterização dos Resíduos Sólidos Ubanos-RSU)					
QUARTEAMENTO					
Recipiente (bombona)	Volume balde (m³)	Peso balde (kg)	Peso RSU + balde (kg)	Peso RSU (kg)	Peso específi-co (kg/m³)
Bombona 1	0,06	1,3	8,3	7	116,66
Bombona 2	0,06	1,3	7,73	6,43	107,16
Bombona 3	0,06	1,3	10,16	8,86	147,66
	Somatório/Média		26,19	22,29	92,87

Tabela 1 – Caracterização dos resíduos.

O valor do peso específico médio de 92,87 kg/m³ permite utilizá-lo no dimensionamento de veículos coletores e equipamentos de compactação, possibilitando ter um melhor gerenciamento na coleta seletiva do município de Cantá. Além de servir como instrumento numérico importante para dimensionar o tamanho e área necessária para a construção de um aterro sanitário.

Além disso, por meio da composição gravimétrica indicado na tabela 2, foi possível verificar que a maior concentração de resíduos gerados pela população foi de material orgânico, com cerca de 32,24%; em seguida o plástico mole-27,80%; plástico duro-16,12%; rejeito-13,55%; papel/papelão-6,78%; tecido-2,10%; isopor-1,40%. Os rejeitos aparecem com 13,55%, sendo estes os tipos de resíduos que realmente deveriam ir para o aterro sanitário conforme a legislação vigente, e os outros materiais deveriam ser reaproveitados/reciclados (Lei 12.305/2010, art. 3º, XV). E, de acordo, com as evidencias dos trabalhos de Silva e Souza (2023) e Souza e Pimentel (2024) o Município não possui um aterro sanitário, lançando seus resíduos em lixão à céu aberto.

É importante enfatizar que a maior geração de resíduo orgânico no Município, evidencia a ausência ou baixíssima difusão de políticas públicas. Visto que esse tipo de resíduo deveria estar sendo utilizado em técnica da compostagem, incentivando a população a ter uma educação ambiental de qualidade, e ainda, usufruir economicamente, pois a compostagem poderia fomentar a agricultura familiar. A técnica, se incluída no ambiente escolar, muniria crianças/adolescentes/jovens sobre os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável-ODS.

Composição gravimétrica - CCT		
Material	Peso (kg)	Fração (%)
Matéria Orgânica	1,38	32,24
Plástico Mole	1,19	27,80
Plástico Duro	0,69	16,12
Papel/Papelão	0,29	6,78
Rejeito	0,58	13,55
Tecido	0,09	2,10
Isopor	0,06	1,40
Somatório	4,28	100,00

Tabela 2 – Composição gravimétrica.

A figura 6 mostra a expressão gráfica da composição gravimétrica dos resíduos produzidos pela população do município de Cantá, compreendendo 32,24% de matéria orgânica, 54,2% de material reciclável (plástico mole e duro, papel/papelão, tecido e isopor) e de rejeitos com apenas 13,55% do total de produção.

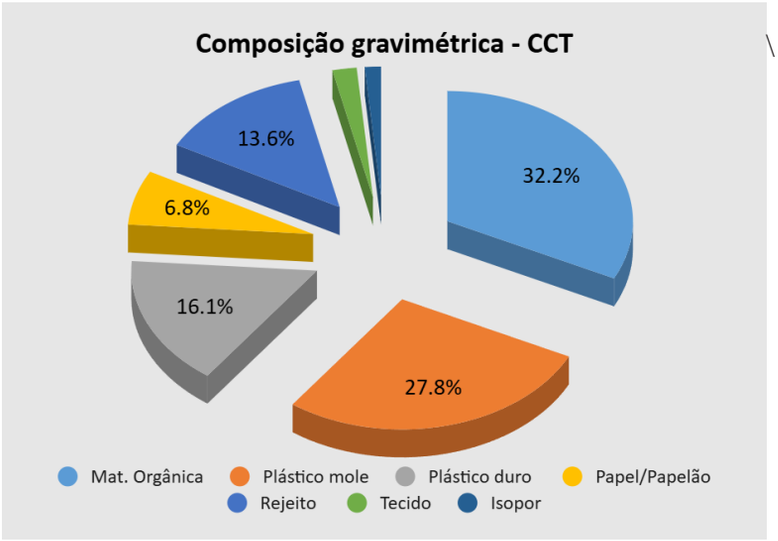


Figura 6 – Composição gravimétrica Área de Disposição Municipal de Resíduos Sólidos do Cantá/RR.

No âmbito da reciclagem (54,2%), destaca-se a importância de acordo com a lei nº 12.305/2010, Art. 6º, VIII - o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania.

CONCLUSÕES

A caracterização física dos RSU na ADMRS de Cantá/RR é uma fonte norteadora para elaboração do diagnóstico da geração dos resíduos sólidos, e posterior implantação de ações de melhoria da gestão e do manejo destes.

Considerando o percentual da fração orgânica em 32,24%, tem-se o potencial uso desses resíduos para compostagem, representando uma alternativa eficiente para o tratamento destes, promovendo a diminuição do volume de lixo nos aterros sanitários e minimizando problemas sociais e ambientais.

A reciclagem (com 54,2%) e a compostagem constituem processos fundamentais para a redução do consumo de matérias-primas, do uso de energia e da poluição do ar e da água, além de contribuírem para a diminuição da emissão de gases de efeito estufa. Essas práticas integram o plano de gestão de resíduos sólidos, estando inseridas na hierarquia dos resíduos como o terceiro componente, que consiste em: reduzir, reutilizar e reciclar.

O estudo da composição gravimétrica serve como valiosa ferramenta para o poder público municipal, que são os responsáveis pelos serviços de manejo de resíduos sólidos e de limpeza urbana do Município, pois essa técnica apresenta informações importantes para o entendimento do comportamento dos resíduos, e expressa, em percentual, a presença de cada componente, em relação ao peso total da amostra dos resíduos. Por-

tanto, auxiliando no monitoramento ambiental e na compreensão da decomposição do lixo, permitindo escolher a tecnologia mais adequada ao tratamento e disposição final dos resíduos, calculando a estimativa de vida útil da área de um aterro sanitário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira De Resíduos Sólidos E Meio Ambiente (ABREMA). *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2022/2023*. São Paulo, 2023. Disponível em: https://www.abrema.org.br. Acesso em: 18 Jul. 2025.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 10004/2004. 2004. *Destinada aos resíduos Sólidos - Classificação*. Rio de Janeiro/RJ.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 10007/2004. 2004. *Destinada a amostragem de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro/RJ.

Brasil. Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. *Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998*.

Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM). *Cartilha de orientações: estudo gravimétrico de resíduos sólidos urbanos*. Belo Horizonte: FEAM, 2019. 27p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Censo Demográfico, 2010. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: 19 julho. 2025.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. População estimada. Disponível em https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rr/cantá. Acesso em: 18 julho. 2025.

Pimentel, F.A. ; Souza, L.S.B. ; Silva, A.F. (2022). Morfometria em área de disposição de resíduos sólidos no município de Normandia, Roraima, Brasil. Revista AIDS. 15 (3), 1149-1162. https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2022.15.3.80788.

Silva, K. V.; Souza, L.S.B. (2023). Índice de qualidade de aterros de resíduos-IQR valas/lixões nos municípios do estado de Roraima, Amazônia ocidental, Brasil. *Geográfica Acadêmica,*7, 159-180.

Silva, K.V. (2022). Cenário ambiental, estrutural e legislativo das áreas de disposição de resíduos sólidos dos municípios no estado de Roraima. [Tese de mestrado, Universidade Federal de Roraima]. Repositório do Campus. http://repositorio.ufrr. br:8080/jspui/há ndle/prefix/928.

Soares, E. L. de S. F. *Estudo da Caracterização Gravimétrica e Poder Calorífico dos Resíduos Sólidos Urbanos.* Rio de Janeiro, 104p., 2011. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Souza, L. S. B. ; Andrade, G. G. (2018). Resistividade no entorno do aterro sanitário municipal de Boa Vista, Roraima, Brasil: implicações ambientais. Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi. Ciências Naturais, 13,3, 435-452.

Souza, L.S.B. ; Pimentel, F.A. (2024). Relevância ambiental da morfometria em área de disposição de resíduos sólidos: exemplo do município de Cantá, RR, Brasil. Ambiente: Gestão e Desenvolvimento, 14, 2, 193-206. https://doi.org/10.24979/ambiente.v17i2.1359.

AVALIAÇÃO DE RISCO GEOLÓGICO DOS ATRATIVOS GEOTURÍSTICOS DA SERRA DO TEPEQUÉM, AMAJARI (RR)

Antonio Gilmar Honorato Souza[1]; Júlio César Lana [1]; José Luiz Marmos[1]

[1] Serviço Geológico do Brasil- CPRM

gilmar.souza@sgb.gov.br; julio.lana@sgb.gov.br; jose.marmos@sgb.gov.br

RESUMO

A Serra do Tepequém está localizada no município de Amajari, estado de Roraima. A Defesa Civil Municipal de Amajari solicitou uma avaliação nos principais atrativos turísticos do Serviço Geológico do Brasil - CPRM. O método de trabalho se baseou em pesquisa bibliográfica, reunião com Defesa Civil Municipal e campo na região com auxílio de drone para avaliar os riscos, classificados como de risco/perigo muito alto, alto, médio e baixo tanto para movimentos de massa quanto para processos hidrológicos. Os principais riscos identificados foram queda de blocos na Cachoeira Laje Verde, a Pedra Mão de Deus e o Tilim do Gringo. Já as cachoeiras do Paiva, Salto do Sapo, do Funil, do Barata e do Sobral, além do Paredão das Araras e a Subida do SESC apresentam perigo alto para quedas de blocos. Enxurradas a partir de Cabeça D'água foram os riscos hidrológicos identificados para Cachoeiras Laje Verde, Barata, Salto do Sapo, Funil, Sobral e ainda Tilim do Gringo. Os Mirantes no geral necessitam de guarda corpos para evitar risco de queda do turista, além de orientação do perigo de queda dos Mirantes Mão de Deus e Paredão das Araras. É de suma importância treinamento de guias locais e divulgação dos resultados aos turistas afim de que se possa garantir um turismo sustentável local seguro e garantir o desenvolvimento local, bem como sinalização dos riscos avaliados e construção de guarda corpos para ajudar na mitigação desse risco.

PALAVRAS-CHAVE: Risco Geológico 1; Serra do Tepequém 2; Amajari 3; Roraima 4.

INTRODUÇÃO

A Serra do Tepequém (figura 1) se situa no NW do Estado de Roraima, a 50km da cidade de Amajari e 200km da capital Boa Vista, podendo ser facilmente acessada pelas rodovias pavimentadas BR-174 e RR-203.

Atualmente é o destino turístico mais visitado de Roraima, por suas belas cachoeiras, corredeiras e mirantes e facilidade de acesso a Serra.

Um laudo técnico da Fundação do Meio Ambiente e Recursos Hídricos de RR apontou que a "Pedra Mão de Deus", apresenta perigo muito alto de desabamento, o que poderia desencadear um desastre de grandes proporções.

Com base nesse laudo, a Defesa Civil do Município de Amajari solicitou ao SGB-CPRM a avaliação dos perigos geológicos existentes em todos os atrativos geoturísticos da Serra.

MATERIAIS E MÉTODOS

A execução deste estudo englobou três etapas principais: i) planejamento dos levantamentos de campo; ii) execução das vistorias em campo; iii) elaboração dos produtos finais.

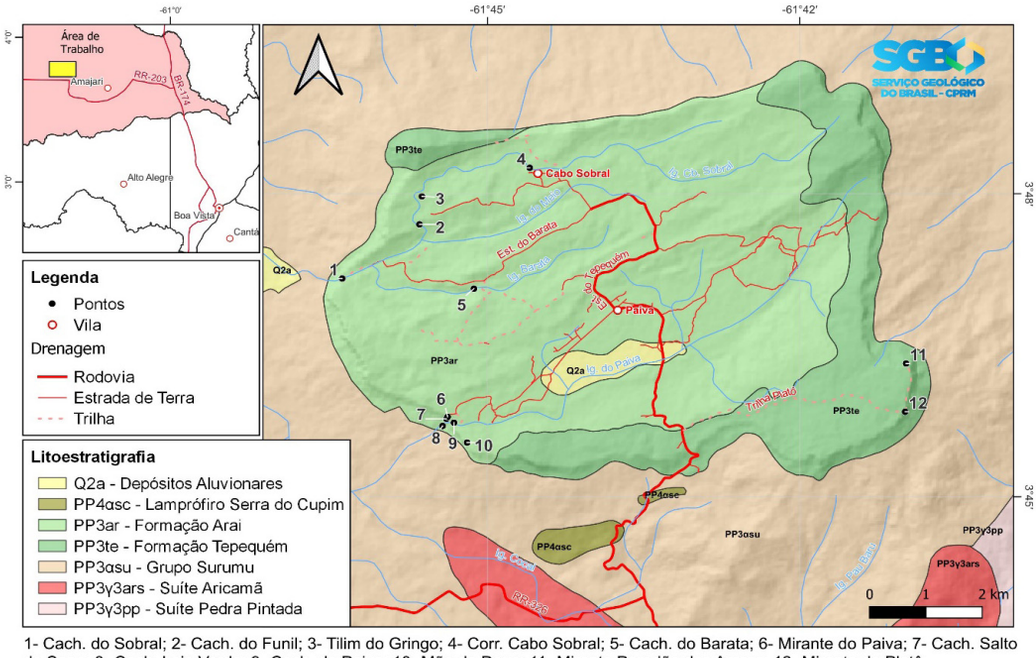
O Planejamento de campo se baseou nos estudos prévios realizados na região, reunião da equipe do SGB-CPRM com a Defesa Civil de Amajari, para definir os locais de estudo.

O trabalho de campo ocorreu entre os dias 10 e 15/04/2023, com a colaboração de guias turísticos locais, identificação e caracterização dos riscos geológicos.

Utilização de GPS, bússolas, câmeras fotográficas, tablets e dois drones (Dji Mavic 2 Pro e Mavic Mini 2) para aquisição de imagens aéreas.

Os riscos/perigos foram classificados de acordo com a expressividade de seus condicionantes e eventuais consequências associadas. Ressalta-se que essa classificação é qualitativa e visa estabelecer, de maneira sintética, uma possibilidade de comparação entre os locais avaliados. Houve uma adaptação nos procedimentos propostos por Brasil (2007), que empregam a abordagem heurística para o mapeamento e classificação das áreas de risco desenvolvida em regiões onde existem imóveis. Contudo, em atrativos turísticos, ainda não há uma metodologia desenvolvida especificamente, mas sabe-se que as trilhas e determinados locais onde concentram pessoas tem mais probalidade a ocorrer acidentes.

Os dados coletados em campo foram analisados com os softwares ArcMap e QGis para a produção dos documentos cartográficos, bem como o software Pix4D Mapper para a construção dos ortomosaicos exibidos nas pranchas técnicas que acompanham este estudo.



1- Cach. do Sobral; 2- Cach. do Funil; 3- Tilim do Gringo; 4- Corr. Cabo Sobral; 5- Cach. do Barata; 6- Mirante do Paiva; 7- Cach. Salto do Sapo; 8- Cach. Laje Verde; 9- Cach. do Paiva; 10- Mão de Deus; 11- Mirante Paredão das Araras; 12- Mirante do Platô.

Figura 1 – Mapa geológico simplificado da Serra do Tepequém, com a localização dos atrativos geoturísticos. Modificado de Fraga *et al.* (2017).

RESULTADOS

As escarpas da Serra do Tepequém são abruptas, verticais a subverticais, com desníveis de dezenas a centenas de metros, com cachoeiras e mirantes como atrativos geoturísticos.

A área é naturalmente propensa aos processos que desestabilizam os maciços rochosos, os quais se deflagram preferencialmente nas vertentes dos vales dos igarapés que drenam a região. O perigo hidrológico de aumento repentino da vazão das águas fluviais devido a precipitações intensas nas cabeceiras de drenagem, conhecido como "cabeça d'água, seguidos de enxurradas.

Os locais avaliados foram:

Cachoeira do Paiva

É o atrativo mais frequentado pelos turistas,com queda d'água única, com 25-30m de desnível total, esculpida em metarenitos conglomeráticos e metaconglomerados fraturados, com abundantes estratificações cruzadas. Como as encostas do vale, no sopé da cachoeira, não são muito íngremes, considera-se como médio o perigo de ocorrência de enxurradas no local, a partir do fenômeno conhecido como "cabeça d'água".

Cachoeira Salto do Sapo

Situado cerca de 200m a jusante da Cachoeira do Paiva, com acesso por uma trilha íngreme na margem esquerda do igarapé, observa-se uma sequência de três quedas d'água, com desnível total de 30-35m, pouco visitada pelos turistas devido às dificuldades do acesso.

As rochas que sustentam a cachoeira são metarenitos conglomeráticos, mal selecionados, com intercalações de metapelitos foliados e de metaconglomerados com seixos centimétricos, angulosos e arredondados, de quartzo e rochas vulcânicas, com grande quantidade de blocos instáveis na face da cachoeira, passíveis de queda, configurando uma situação de alto risco/perigo para os turistas.

Cachoeira Laje Verde

É a última queda d'água do igarapé do Paiva, e seu nome "Laje Verde" se origina da coloração da rocha esverdeada de composição basáltica, em contato aos metarenitos típicos da região. A base e a porção superior da cachoeira encontram-se entulhadas por blocos de rochas, transportados por fluxos de alta energia durante eventos de chuvas intensas. Os principais riscos existentes são quedas de blocos rochosos e enxurradas.

Mirante do Paiva

Local de fácil acesso em que se observa a beleza cênica da região, distante 4 km da Vila do Paiva. O maior risco é de queda do próprio visitante que se aproxima demais da borda, por não possuir uma infraestrutura adequada. Recomenda-se a instalação de guarda-corpo na borda do abismo.

Mão de Deus

Localizado a sudoeste da Serra, com trilha de acesso com menos de 500m. Já foi constatado instabilidade geotécnica por técnicos da FEMARH (QUEIROZ e OLIVEIRA, 2022).

Há risco de enxurrada na travessia do igarapé do Paiva, após episódios de chuva intensa. Já o mirante, está fraturado em risco de queda. Recomenda-se instalação de uma barreira ou cerca de proteção de modo a manter os turistas afastados da borda do penhasco.

Mirante do Platô

Trilha de acesso com cerca de 4km de extensão, em forma de rampa. O risco maior é a eventual queda livre de turistas que se aproximam demais da borda da escarpa. Também se recomenda a instalação de guarda-corpo no local para minimizar o risco. O risco maior está na possibilidade de cabeça d'água seguido de enxurradas no igarapé que cruza a trilha de acesso ao atrativo, como já ocorreu recentemente.

Paredão das Araras

Acessado a partir do Mirante do Platô, por uma trilha com 900m de extensão e rumo norte, bordejando a escarpa rochosa. É sustentado por metarenitos, com fraturamentos subverticais, paralelos e ortogonais à borda da escarpa, que configuram uma plataforma rochosa, em forma de cunha, sem calçamento inferior (relevo negativo).

Apresenta alto risco de colapso devido à pequena espessura do bloco que a sustenta. O formato em "U" da borda da Serra neste local é resultado do colapso de grandes blocos rochosos no passado.

Corredeira do Cabo Sobral

Situado cerca de 200m a jusante da Trecho de igarapé com mais de 300m de extensão, formando várias piscinas naturais de baixa profundidade.

Vale amplo e bem aberto, com baixo risco para ocorrência de cabeça d'água e enxurradas, além de baixo perigo para queda de blocos.

Cachoeira do Funil

Possui cerca de 50m de altura, formada por 3 quedas, com piscinas naturais. O topo foi modificado por detonações realizadas no local com objetivo para desviar o igarapé. Apresenta alto risco geológico para quedas de blocos de rocha, além de alto risco para enxurradas e cabeça d'água, pois a drenagem é encaixada no vale.

Tilim do Gringo

Estrutura antropogênica retilínea, de paredes verticais, com cerca de 60m de comprimento, 1,5-2,0m de largura e profundidade máxima de 6m, escavada em metarenitos fraturados. Apresenta risco muito alto de queda de blocos e risco alto para enxurrada em episódios de chuvas intensas.

Cachoeira do Sobral

Acesso por trilha com 700m de extensão, a partir de uma propriedade particular. Afloram metarenitos intercalados com metapelitos, bastante fraturados.

Apresenta risco alto de quedas de blocos rochosos e de ocorrência de cabeça d'água e enxurradas.

Cachoeira do Barata

Esculpida no leito do igarapé do Barata, afluente da margem esquerda do Igarapé Cabo Sobral, com acesso fácil, e bastante visitado. Afloram metarenitos maciços, fraturados e rochas metavulcânicas ácidas na base.

Existem algumas quedas d'água, corredeiras e piscinas naturais com águas claras esverdeadas, sendo que a queda maior tem cerca de 12m.

Risco alto a muito alto de quedas, tombamentos de blocos rochosos e enxurradas após período de chuvas intensas.

Subida do SESC

Um trecho da estrada pavimentada de acesso à Vila do Paiva (RR-203), na encosta da Serra, apresenta recorrente instabilidade geotécnica, no lado direito do sentido Amajari – Tepequém, onde se observa um talude íngreme, com até 15m de altura, instável, composto por solos friáveis e afloramentos de rochas areníticas e tufos esbranquiçados bastante alterados com blocos rochosos soltos, e cicatriz de deslizamentos local.

DISCUSSÕES

Foram classificados como de risco muito alto para queda de blocos a Cachoeira Laje Verde, a Pedra Mão de Deus e o Tilim do Gringo. Já as cachoeiras do Paiva, Salto do Sapo, do Funil, do Barata e do Sobral, além do Paredão das Araras e a Subida do SESC apresentam risco alto para quedas de blocos.

O risco hidrológico está relacionado ao fenômeno conhecido como "cabeça d'água", que pode desencadear enxurradas no canal dos igarapés, como nas cachoeiras Laje Verde e do Barata. Já as cachoeiras Salto do Sapo, do Funil, do Sobral e o Tilim do Gringo foram classificados como de risco alto. A Cachoeira do Paiva apresenta risco médio para ocorrência desse fenômeno. Os mirantes da Pedra Mão de Deus, do Platô e do Paredão das Araras foram considerados de risco médio de enxurrada nos cursos d'água que cruzam as trilhas de acesso a esses atrativos.

CONCLUSÕES

A região apresenta inegável vocação para desenvolvimento do turismo de natureza, atividade esta que gera grandes benefícios para sua população, principalmente no que diz respeito aos impactos positivos produzidos na economia local. Entretanto, é de suma importância que sejam implementadas práticas de turismo seguro e sustentável, com o intuito de prevenir a ocorrência de desastres e preservar o patrimônio geológico na região.

Ressalta-se que, tão importante quanto minimizar os perigos geológicos em áreas turísticas, é promover ações educativas para que os visitantes, moradores locais e guias conheçam esses perigos e, principalmente, saibam como podem colaborar para mitigar os riscos de ocorrência de acidentes e desastres

AGRADECIMENTOS

À Prefeitura Municipal de Amajari, em particular à Coordenadoria de Proteção e Defesa Civil, pelo apoio logístico e pelas informações prestadas durante o desenvolvimento deste trabalho. Aos guias Samuel Clementino Gouveia e Amauri José Barbosa Duarte, que nos conduziram em segurança aos atrativos turísticos mais distantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Ministério das Cidades. Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT. Mapeamento de riscos em encostas e margem dos rios. Brasília, 2007. 176 p.

Fraga, L.M.B.; Reis, N.J.; Betiollo, L.M.; Scandolara, J.; Dreher, A.M. (2017). Geologia e recursos minerais da Folha Ilha de Maracá – NA-20-X-A, Estado de Roraima, escala 1:250.000 – Manaus: CPRM.

Queiroz, V. A. L., Oliveira, Z. C. (2022). Relatório Sobre as Condições Geotécnicas da Pedra Mão de Deus, Serra do Tepequém, Município de Amajari, RR. Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 11p.

SUSCETIBILIDADE AO RISCO HIDROLÓGICO EM ÁREA URBANA DA CIDADE DE MANAUS

Thayná Rosário do Nascimento[1]; Naziano Pantoja Filizola Júnior[1]

[1] **Universidade Federal de Amazonas - UFAM**

thayrosafield@gmail.com; nazianofilizola@ufam.edu.br

RESUMO

Em Manaus, foram quantificados 319 setores de risco de inundação e alagamento, relacionados a chuvas intensas que ocorrem na zona urbana. Dentre essas areas, 13 delas estão inseridas na Zona Leste da cidade. Com isto, o presente trabalho visa destacar as atividades realizadas no contexto do Plano Municipal de Redução de Risco-Manaus, com intuito principal de subsidiar políticas públicas voltadas à prevenção de riscos e desastres. Para isso, aqui adotou-se a análise por bacias hidrográficas utilizando variáveis morfométricas que abrangem valores hidrográficos e de relevo, através do tratamento de imagens processadas em sistemas de informações geográficas. Preliminarmente, foram discriminadas 27 bacias presentes na região urbana de Manaus, através da utilização do Modelo Digital de Elevação (MDE) FABDEM, para extração de dados hidrométricos e dos limites das próprias bacias trabalhadas. Após o recorte das bacias e microbacias, realizou-se a extração das características morfométricas. Com as bacias identificadas e morfometricamente caracterizadas, foram definidas as de maior vulnerabilidade do ponto de vista hidrológico, em acordo com o que é identificado na literatura. É observado que as subacias são moderadamente a altamente circulares na zona leste e sul da cidade, o que indica maior vulnerabilidade a ocorrências de inundações. Em contrapartida, na zona norte há o predomínio de bacias moderadas a subalongadas, ou seja, possuem moderadas chances de enchentes bruscas, devido às junções de fatores como precipitação intensa que cubra toda a bacia, e retenção de água que favoreça ou não o escoamento superficial. Por último e com auxílio do Software HEC-RAS, foi simulada preliminarmente uma mancha de inundação para a subacia do Mauazinho.

PALAVRAS-CHAVE: Risco hidrológico; Morfometria; Bacia; Mauazinho

INTRODUÇÃO

Historicamente, o processo de ocupação urbana em Manaus foi intensificado inicialmente com os dois ciclos da borracha, que tiveram desempenho fundamental no aumento da migração e expansão da cidade. No entanto, foi a partir de 1967, com o surgimento da Zona Franca de Manaus (ZFM), que houve um crescimento explosivo e desordenado decorrente da urbanização acelerada (Manaus, 2014 *apud* Silva e Scudeller, 2022). Com isso, houve aumento do processo de ocupação irregular nas margens

dos igarapés e em regiões próximas à orla da cidade, caso presenciado até os dias atuais e ocorridos especialmente no período da vazante, em áreas denominadas como planície de inundação que nesta época estão completamente secas e são vistas como possíveis moradias.

Essa ocupação desordenada promove a degradação contínua dos solos e corpos hídricos. Em alguns casos, ocorre o aterramento do canal fluvial para construção de nova malha viária, o que causa o impedimento ou dificuldade da infiltração da água devido à impermeabilização do solo, aumentando consequentemente a área de escoamento superficial e ocasionando a inundação das áreas de várzeas e de pontos urbanos, devido a processos como enchentes, alagamento, enxurradas ou inundações, agravadas principalmente em épocas chuvosas.

Diante deste cenário de risco hidrológico, foram quantificados pelo mapeamento realizado pela CPRM (2019), 319 setores de risco de inundação e alagamento em Manaus. Macena (2016) identificou a sazonalidade do risco na cidade, que ocorre quando observado o período de precipitação e o regime natural de cheias e vazantes do rio Negro. CPRM (2019) indica que, segundo os registros de sinistros realizados pela Defesa Civil Municipal, a maioria das ocorrências foi realizada entre os meses de dezembro a abril, período com elevado índice pluviométrico que incide na cidade.

Portanto, o objetivo desta pesquisa é identificar, monitorar e analisar áreas de risco hidrológico em Manaus, integrando dados morfométricos, climáticos e de modelagem hídrica para contribuir com a compreensão de processos de ocupação irregular e seus impactos sobre os eventos de inundação, alagamento e enxurradas, subsidiando estratégias de planejamento urbano e gestão de risco.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudos consiste na zona urbana da cidade de Manaus (Figura 1).

A primeira etapa constou com o levantamento bibliográfico que apoia o tema estudado, assim como boletins e relatórios disponibilizados pela Defesa Civil do Município e pelo Serviço Geológico do Brasil sobre sinistros ocorridos. Para a abordagem de dados espaciais, serão adquiridos dados vetoriais temáticos como hidrografia, Modelo Digital de Elevação, malha urbana e divisões políticas estaduais e federais, assim como imagens de satélites que auxiliem na visualização de manchas de inundação na área de estudo. Foram realizadas visitas técnicas, em parceria da Defesa Civil Municipal, em quatro subacias de relevância quanto a riscos hidrológicos e geológicos na cidade de Manaus, ao nível de detalhe, coletando informações sobre o canal fluvial, aspectos geomorfológicos, litológicos, pedológicos e sociais, sendo elas Mauazinho, São Raimundo, Educandos e Tarumã.

Na segunda etapa, que consistiu na construção e tratamento da base de dados, identificando e corrigindo as lacunas nas informações pluviométricas e/ou fluviométricas. Após isso, foram criadas classificações quanto às áreas e graus de riscos e definidas as mais significativas para dar seguimento ao estudo. Através do uso do QGIS e as imagens de Modelo Digital de Elevação obtidas pelo *Forest And Buildings removed Copernicus* DEM (FABDEM), foram realizadas as delimitações das subacia e a extração de

características morfométricas, seguindo critérios estabelecidos pelo Manual técnico de Geomorfologia (IBGE, 2009), para avaliar as áreas e drenagens prioritárias, delimitar os setores e bacias hidrográficas de Manaus e classificar os eventos ocorridos, inserindo-os em seus graus de risco correspondente.

O processamento da mancha de inundação foi realizado no HECRAS 6.5, através da utilização dos "Unsteady Flow Data" e "Unsteady Flow Analys". A imagem de satélite escolhida para este processamento foi a ALOS World 3D, retirada diretamente do QGIS e com resolução de 30 metros. A precipitação máxima escolhida para a simulação de mancha de inundação máxima foi de aproximadamente 152 mm, ocorrida no início de março de 2025.

RESULTADOS

Quanto aos parâmetros morfométricos relacionados à forma da bacia, temos que, em maioria, as subacias de Manaus possuem formato moderadamente alongado a subalongado, com casos de bacias circulares nas regiões que margeiam o rio negro, principalmente na zona Norte de Manaus. Bacias circulares são mais propensas a processos de inundação, devido ao seu favorecimento ao escoamento superficial para um trecho do rio principal (Sousa, 2017; Sehnem *et al.,* 2015).

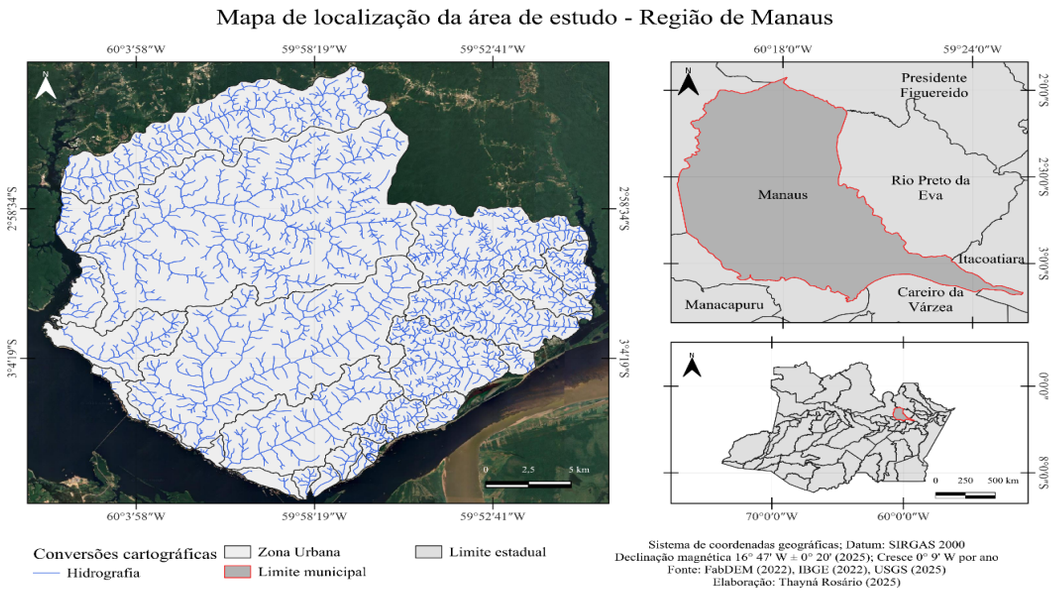


Figura 1 – Localização da área de estudo - Região de Manaus.

Quanto à densidade de drenagem, as bacias que possuem capacidade alta a muita alta estão concentradas na zona leste e sudeste da cidade de Manaus, sendo, portanto, as bacias, segundo esta variável, mais suscetíveis a inundações bruscas por possuírem muitos cursos d'água por unidade de área. A bacia com maior índice é a Siderama, com $Dd = 4{,}120$ km/km^2. Já as bacias com menores índices são as que margeiam o rio Negro na Zona Centro Sul da cidade, com $Dd < 1$. Isso evidencia o pobre desenvolvimento da rede de drenagem desta área.

Já os valores relacionados à densidade hidrográfica destacam-se que os valores indicados para índices baixos a muito baixos ocorrem na zona norte e centro sul da cidade, onde estão incluídas as maiores bacias. Isso indica que nessas bacias há poucos canais em relação à área total, com pouca suscetibilidade a inundações bruscas. Os demais valores ocorrem na Zona Leste e Sul da cidade, com destaque, novamente, para as subacias Siderama e Mauazinho.

Neste trabalho, foram estabelecidas faixas para identificar os valores mais próximos ao sinuoso e mais próximos ao retilíneo, resultando em apenas duas subacias hidrográficas em Manaus possuem drenagens classificadas como de padrão sinuoso, sendo o caso da Orla do Rio Negro e Mauzinho (*Is* = 1,14 e 1,60, respectivamente). As outras 25 bacias estão caracterizadas como de padrão retilíneo, sendo a Siderama de menor *Is,* ou seja, o canal principal possui poucas curvas e pouca deposição de sedimento quando o fluxo for relativamente baixo. Já quanto à textura das subacias, há o predomínio de áreas com textura grossas a muito grossas implicando em uma alta suscetibilidade da bacia para dessecamento do relevo. As texturas mais finas a muito finas ocorrem nas subacias que possuem grande área que margeiam o rio Negro, o que pode indicar maior deposição de sedimentos e menor declividade, justificando seu alto índice.

Estudo de caso: subacia do Mauazinho

A bacia do Mauazinho, de direção preferencial em NW-SE, é a menor bacia hidrográfica em área (2,93 km^2) pertencentes às áreas de risco visitadas em campo durante essa pesquisa. Está localizada na zona leste da cidade de Manaus, onde possui sua foz diretamente no rio Negro. Com destaque, possui uma extensa área de risco de aproximadamente 10000 m^2 caracterizada como R2 localizada na microbacia A, rodeada por áreas de risco por deslizamento, o que evidencia a necessidade de detalhamento desta bacia.

Assim, foram delimitadas novas 11 microbacias na região do Mauazinho, nomeadas de A a K, onde as microbacias A, B, D e E possuem áreas de risco por inundação mapeadas (Figura 2A). Destas microbacias, 42% possuem índices Muito Altos, 36% índices Altos, 26% índices moderados e somente 7% possuem índices Muito Baixo ou Baixo, assim, já com essa primeira análise, é possível indicar uma considerável suscetibilidade à inundação.

Em relação às áreas de riscos mapeadas pelo SGB em 2019, a bacia do Mauzinho, entre as 3 bacias citadas, é a que mais se destaca neste mapeamento, com mais da metade de suas áreas consideradas como de risco, inclusive nas nascentes de drenagens indicadas como propícias a deslizamento e com grau R4. Entretanto, é visto somente um setor com risco para inundação, classificado como R2 e localizado na rua do Areal - Parque Mauá. Na modelagem com o HEC-RAS, é visto que aproximadamente 0.104 km^2 estão suscetíveis a sofrerem com processos de inundação, podendo subir, em casos graves, até 2 metros desde o talvegue do igarapé (Figura 2B).

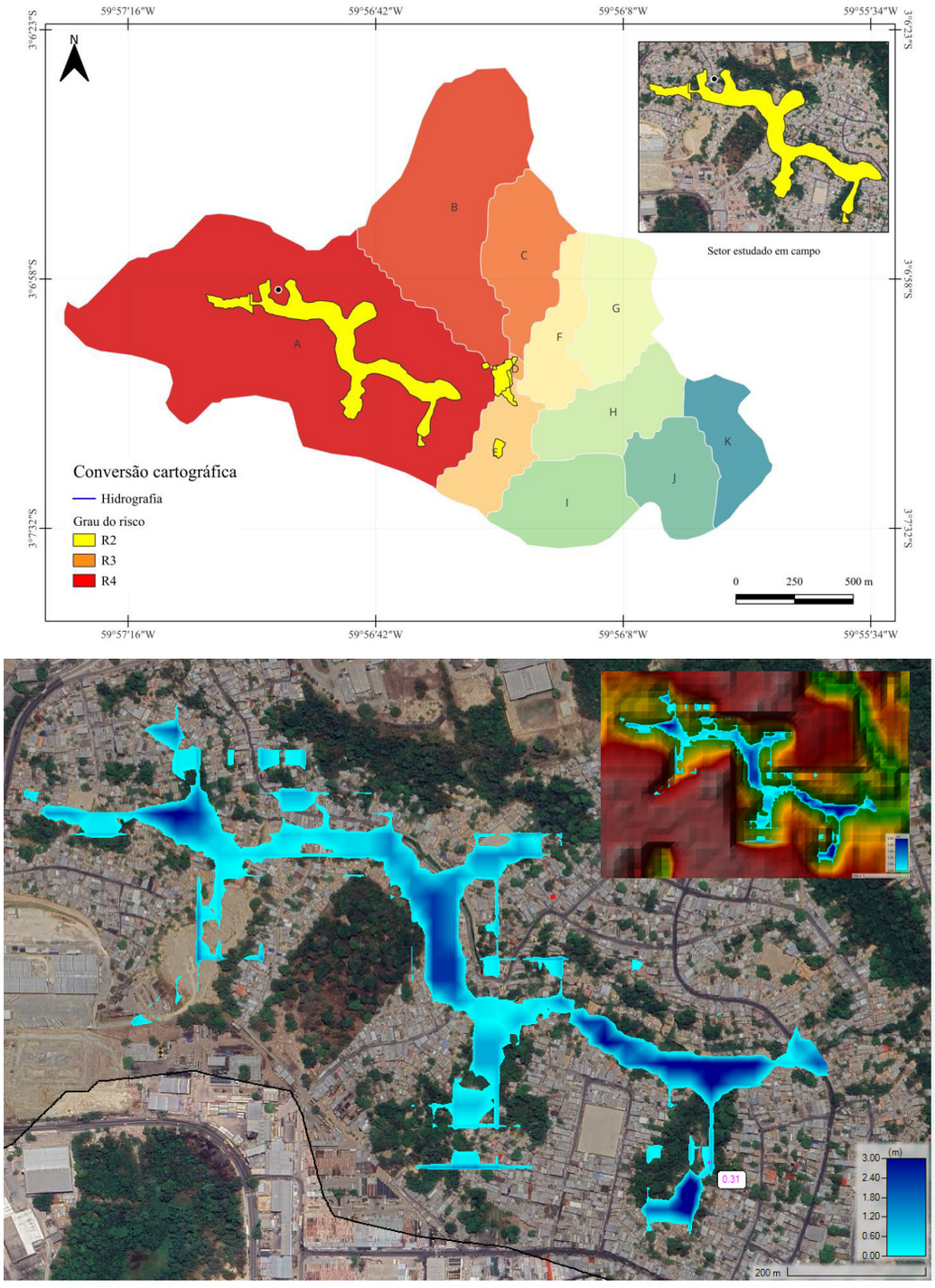


Figura 2 – Em a) Subacia do Mauazinho, com destaque para a área de risco R2 por inundação. Em b) Mancha de inundação gerada pelo HECRAS para a subacias do Mauazinho.

DISCUSSÕES

Foi possível observar, através das análises morfométricas, que as características das bacias hidrográficas presentes na cidade de Manaus possuem certa heterogeneidade, influenciando em distintas suscetibilidades à inundação extrema. As subacias da zona leste e sul, com predominância de formas circulares, densidade de drenagem alta e textura grossa, são particularmente propensas a inundações rápidas e intensas, corro-

borando com os mapeamentos anteriores da CPRM (2019) e da Defesa Civil (2023). As bacias da zona norte não estão isentas de sinistros de inundação, mesmo com seu formato mais alongado, devido a outros parâmetros como a densidade hidrográfica e a dissecação do relevo.

Já a modelagem realizada através do HEC-RAS e com dados de pluviometria reais, foi possível analisar mais detalhada e espacialmente como a subacia do Mauzinho é afetada com as chuvas intensas.

CONCLUSÕES

Manaus possui uma grande variedade de características morfométricas nas bacias hidrográficas estudadas. Esta variedade reflete características das propriedades do terreno, como infiltração, deflúvio das águas das chuvas e correlaciona-se com a litologia e estrutura geológica (Silva *et al.,* 2010).

As análises apontam quanto ao risco hidrológico, do ponto de vista natural, que grande parte das bacias mais vulneráveis se concentram na zona sul e leste de Manaus, coincidindo com as áreas indicadas nos mapas do SGB (2019) e relatório DCM (2024). Morfometricamente, merecem destaque as bacias Siderama e Mauazinho, que se posicionam como as de maior vulnerabilidade hidrológica natural face aos seus valores morfométricos em relação às demais.

A modelagem hidrodinâmica realizada no HEC-RAS complementou o estudo morfométrico realizado, evidenciando os setores mais impactados por processos de inundação a partir de precipitações extremas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Brasil. (2023). O Ministério das Cidades vai financiar 20 planos municipais de redução de riscos. Disponível em: https ://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202310/ministerio-das-cidades-vai-financiar-20-planos-municipais-de-reducao-de-riscos . Acesso em: 16 nov. 2024.

Companhia De Pesquisa De Recursos Minerais – CPRM (2010). Geodiversidade do estado do Amazonas. Manaus: CPRM.

Companhia De Pesquisa De Recursos Minerais – CPRM. (2019). Mapeamento das áreas de risco geológico (inundação e movimentos de massa) na área urbana de Manaus. Manaus: CPRM.

Defesa Civil Municipal. (2023). Relatório de áreas de risco processo nº0212998-79.2010.08.04.0001. Manaus.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2009). Manual Técnico de Geomorfologia. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE.

Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística – IBGE. (2024) Cidades e Estados: Manaus. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/am/manaus.html.> Acesso em: 16 nov. 2024.

Instituto Nacional De Meteorologia – INMET. Clima: Manaus. 2024. Disponível em: <https://clima.inmet.gov.br/GraficosClimatologicos/AM/82331>. Acesso em: 16 nov. 2024.

Hawker, L., e Neal, J. (2021). FABDEM V1-0. Disponível em: <https://data.bris.ac.uk/data/dataset/25wfy0f9ukoge2gs7a5mqpq2j7/>. Acesso em: 21 nov. 2024

Macena, L.S.L. (2016). Áreas de risco nas bacias hidrográficas urbanizadas de Manaus. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Amazonas.

Silva, J.R.C., e Scudeller, V.V. (2022). Os ciclos econômicos da borracha e a Zona Franca de Manaus: expansão urbana e degradação de microbacias. Research, Society and Development, v. 11, n. 6, e33611629103, (CC BY 4.0) | ISSN 2525-3409 | DOI: http://dx.doi.org/10.33448/rsd v11i6.2910

BREVE ANÁLISE DAS TENDÊNCIAS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA AMAZÔNIA

Alderlene Pimentel de Brito[1]; Sávio José Filgueiras Ferreira[1]; Ingo Daniel Wahnfried[2]; Jamile Dahaini[3], Márcio Luiz da Sila [1,]

[1]Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA;
[2]Universidade Federal do Amazonas - UFAM;
[3]Universidade do Estado do Amazonas - UEA

alderlenebrito@gmail.com; saviojfferreira@gmail.com; iwahnfried@gmail.com; jdehaini@uea.edu.br

RESUMO

As águas subterrâneas desempenham um papel fundamental no abastecimento público e privado no Brasil, sendo essenciais para a economia e saúde da população. Na região Norte, 70% dos municípios utilizam águas subterrâneas, demonstrando que a população da Bacia Amazônica, apesar da abundância de rios, tem forte dependência das águas subterrâneas. A crescente frequência de eventos climáticos extremos na Amazônia nos últimos anos afetará os componentes do ciclo hidrológico em vários aspectos. Este estudo visa identificar tendências o nas águas subterrâneas na Amazônia, com base em dados do RIMAS, do Serviço Geológico Brasileiro, associados a dados de precipitação utilizando o teste não paramétrico de Mann-Kendall. Poços localizados nas regiões da Amazônia Central e Sul tiveram comportamentos em termos de tendências bem definidos.

PALAVRAS-CHAVE: Águas subterrâneas; Mudanças climáticas; Tendências; Amazônia

INTRODUÇÃO

O clima tropical amazônico é caracterizado por uma alta sazonalidade do regime de chuvas, com a precipitação durante a estação chuvosa representando mais de 80% dos valores anuais acumulados (Marengo, 2009). Além disso, no contexto das mudanças climáticas, a literatura científica relata que eventos extremos na bacia amazônica estão atualmente aumentando em frequência e intensidade (Baichivich *et al*., 2018; Marengo *et al*., 2016). Consequentemente, essa alta variabilidade intra e interanual afeta fortemente todos os componentes do ciclo hidrológico (Tomasella *et al*., 2008a). Estudos em larga escala demonstraram que extremos climáticos interanuais afetam as águas subterrâneas em uma escala plurianual, com um efeito de memória (Broedel *et al*., 2017). Sabe-se que a variabilidade climática de alta frequência cria respostas hidrológicas de curto prazo. No entanto, mudanças nos níveis das águas subterrâneas e na recarga são dificilmente previsíveis, visto que são parcialmente controladas por interações complexas de anomalias meteorológicas de baixa frequência (interanuais a multidecadais) (Tremblay *et al*., 2011) e características hidrogeológicas. Os aquíferos livres na bacia Amazônica apresentam grande capacidade de renovação (Green *et al*., 2011). Os processos hidrológicos de superfície (precipitação, percolação, escoamento superficial, evapotranspiração, etc.) e seus efeitos nas taxas de recarga e outros processos hidrológicos subterrâneos que afetam a quantidade e a qualidade de GW ainda são pouco compreendidos (Kuss e Gurdak, 2014). Este trabalho visa integrar uma breve análise das tendências das águas subterrâneas na Amazônia em comparação a precipitação.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram utilizados 14 poços da RIMAS (Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas) do Serviço Geológico do Brasil. Esses poços foram os que apresentaram maiores series temporais para análise. A distribuição dos poços foi a seguinte: 5 no Amazonas 3 no Pará, 1 Acre, 2 Rondônia, 3 em Roraima. Em geral, o período das séries temporais variou entre 2010 e 2024.

Dados de precipitação observada foram obtidos da ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento), os modelados foram do CHIRPS.

Foram realizadas análises de tendências nas séries temporais de níveis de água subterrânea e precipitação. As tendências temporais foram avaliadas usando o teste não paramétrico de Mann-Kendall (Kendall, 1975) no RStudio. A hipótese nula corresponde à "ausência de tendência na série temporal". Utilizamos o valor de p para aceitar ($p>0,05$) ou rejeitar ($p\leq0,05$) a hipótese nula.

RESULTADOS

Amazonas

Dos cinco poços analisados no Amazonas, quatro em Manaus e um em Presidente Figueiredo, os quatro de Manaus mostraram tendência de aumento dos níveis das águas subterrâneas e precipitação.

No poço de Presidente Figueiredo o nível das águas subterrâneas não mostrou tendência, enquanto precipitação observada e a modelada mostraram tendência de aumento.

A figura 1 mostra a análise de três poços em Manaus, comparando os dados observados pelo RIMAS e os modelados pelo GLDAS. Ambos foram normalizados para visualização nos gráficos. Nas tabelas são apresentadas comparações com as precipitações (chuvas) modeladas e as tendências obtidas pelo teste de MK.

Pará

Para os três poços analisados no estado do Pará, não houve tendências, com exceção do poço COSANPA, que demonstrou uma tendência de redução no nível da água subterrânea.

Roraima

Para os três poços no estado de Roraima houve tendência de aumento no nível das águas subterrâneas e da precipitação observada.

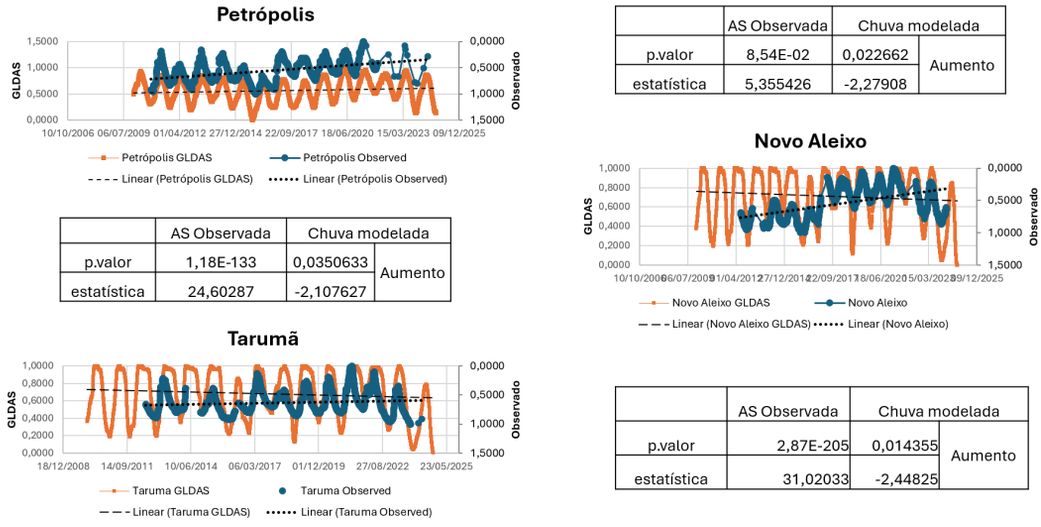
Acre

No estado do Acre, para o único poço avaliado, houve tendência de redução do nível das águas subterrâneas. Precipitação modelada não apresentou tendência, enquanto a precipitação observada mostrou tendência de crescimento para o período avaliado.

Rondônia

Nos dois poços avaliados em Rondônia as tendências foram de redução nos níveis das águas subterrâneas e precipitação modelada.

Na tabela 1 estão os resultados das tendências nas séries avaliadas para os poços nas diferentes regiões da Amazônia.



	AS Observada	Chuva modelada	
p.valor	1,18E-133	0,0350633	Aumento
estatística	24,60287	-2,107627	

	AS Observada	Chuva modelada	
p.valor	8,54E-02	0,022662	Aumento
estatística	5,355426	-2,27908	

	AS Observada	Chuva modelada	
p.valor	2,87E-205	0,014355	Aumento
estatística	31,02033	-2,44825	

Figura 1 – Relação entre os níveis da água subterrânea modela de observada e os resultados do teste não paramétrico de Mann Kendall para três poços em Manaus

Tabela 1 - Resultados das tendências pelo teste não paramétrico de Mann - Kendall para poços na Amazônia

Poço	Águas Subterrâneas	Chuva modelada	Chuva Observada
Petrópolis (AM)	1,18E-133	0,035063	-
Tarumã (AM)	8,54E-02	0,022662	-
Novo Aleixo (AM)	2,87E-205	0,014355	-
Gilberto Mestrinho (AM)	1,88E-09	0,012101	-
Fazenda Santos (AM)	6,49E-01	0,000556	-
Centro de Difusão (RR)	2,25E-73	0,075790	0,011482
Fazenda Bezerra (RR)	4,23E-82	0,110056	0,011482
Parque Exposição (RR)	2,57E-04	0,152190	0,011482
Canela Fina (AC)	1,94E-30	0,712354	0,002690
Cooperfrutos (RO)	7,78E-124	2,28E+01	-
AVV (RO)	0,00E+00	3,42E-04	-
Setor de Abastecimento (PA)	2,32E-01	7,23E-01	
COSANPA (PA)	1,82E-50	2,49E-01	0,595666
Praça 17 de Março (PA)	3,61E-26	4,99E-01	0,201677

1. DISCUSSÕES

Utilizando informações de satélite, Heerspink *et al*. (2020) também observaram um aumento no armazenamento de águas subterrâneas de cerca de 7 mm/ano no norte da Amazônia. Marengo *et al*. (2024) observaram mudanças variáveis na precipitação na bacia Amazônica. No norte da Amazônia, ela aumenta e no sul da Amazônia, diminui. Esse fenômeno foi relatado por Huang *et al*. (2013) em condições gerais para bacia. No entanto, os processos que impulsionam esse aumento ainda não são bem compreendidos. Tan *et al*. (2015) mostraram que mudanças na frequência de convecção profunda estão fortemente correlacionadas ao aumento da precipitação. Além disso, o aquecimento global aumentou a demanda atmosférica por vapor d'água e resultou em tendências positivas de ET desde a década de 1980 (Li *et al*., 2022).

CONCLUSÕES

A análise das séries temporais de níveis de águas subterrâneas nos 14 poços distribuídos na Amazônia, associadas à precipitação observada e modelada, evidencia que as tendências não são homogêneas em toda a bacia. Enquanto na região Central e em parte do Norte, como em Manaus e Roraima, prevalecem tendências positivas tanto para os níveis aquíferos quanto para a precipitação, em áreas do Sul, como Rondônia e Acre, predominam reduções nos níveis de águas subterrâneas, refletindo padrões diferenciados de recarga e disponibilidade hídrica.

Esses resultados estão em consonância com estudos recentes que apontam para um aumento da precipitação e armazenamento hídrico no norte da bacia e redução no sul, associados à intensificação de fenômenos climáticos globais e regionais. Assim, torna-se evidente a necessidade de ampliar o monitoramento hidrogeológico na Amazônia, bem como integrar dados observacionais e modelados em maior escala temporal e espacial. Essa abordagem é fundamental para compreender os impactos das mudanças climáticas sobre os aquíferos amazônicos e subsidiar estratégias de gestão sustentável dos recursos hídricos subterrâneos, garantindo sua disponibilidade futura frente às pressões climáticas e antrópicas crescentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Marengo, J.A. (2009). Long-term trends and cycles in the hydrometeorology of the Amazon basin since the late 1920s. *Hydrological Processes*, 23(22), 3236–3244. https://doi.org/10.1002/hyp.7396

Marengo, J.A., Williams, E.R., Alves, L.M., Soares, W.R., Rodriguez, D.A. (2016). Extreme seasonal climate variations in the Amazon Basin: droughts and floods. In: Nagy, L., Forsberg, B., Artaxo, P. (eds.). *Interactions Between Biosphere, Atmosphere and Human Land Use in the Amazon Basin*. Ecological Studies, vol. 227. Berlin, Heidelberg: Springer, pp. 55–76. https://doi.org/10.1007/978-3-662-49902-3_4

Barichivich, J., Gloor, E., Peylin, P., Brienen, R.J.W., Schöngart, J., Espinoza, J.C., Pattnayak, K.C. (2018). Recent intensification of Amazon flooding extremes driven by strengthened Walker circulation. *Science Advances*, 4(9), eaat8785. https://doi.org/10.1126/sciadv.aat8785

Tomasella, J., Hodnett, M.G., Cuartas, L.A., Nobre, A.D., Waterloo, M.J., Oliveira, S.M. (2008). The water balance of an Amazonian micro-catchment: the effect of interannual variability of rainfall on hydrological behaviour. *Hydrological Processes*, 22(13), 2133–2147. https://doi.org/10.1002/hyp.6813

Broedel, E., Tomasella, J., Cândido, L.A., von Randow, C. (2017). Deep soil water dynamics in an undisturbed primary forest in central Amazonia: differences between normal years and the 2005 drought. *Hydrological Processes*, 31(9), 1749–1760. https://doi.org/10.1002/hyp.11143

Tremblay, L., Larocque, M., Anctil, F., Rivard, C. (2011). Teleconnections and interannual variability in Canadian groundwater levels. *Journal of Hydrology*, 410, 178–188. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.09.013

Green, T.R., Taniguchi, M., Kooi, H., Gurdak, J.J., Allen, D.M., Hiscock, K.M., Treidel, H., Aureli, A. (2011). Beneath the surface of global change: impacts of climate change on groundwater. *Journal of Hydrology*, 405(3–4), 532–560. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.05.002

Kuss, A.J.M., Gurdak, J.J. (2014). Groundwater level response in U.S. principal aquifers to ENSO, NAO, PDO, and AMO. *Journal of Hydrology*, 519(PB), 1939–1952. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.09.069

Marengo, J.A., Cunha, A.P., Espinoza, J.C., Fu, R., Schöngart, J., Jimenez, J.C., Costa, M.C., Ribeiro, J.M., Wongchuig, S., Zhao, S. (2024). The drought of Amazonia in 2023–2024. *American Journal of Climate Change*, 13(3), 567–597. https://doi.org/10.4236/ajcc.2024.133026

Heerspink, B.P., Kendall, A.D., Coe, M.T., Hyndman, D.W. (2020). Trends in streamflow, evapotranspiration, and groundwater storage across the Amazon Basin linked to changing precipitation and land cover. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 32, 100755. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100755

Huang, P., Xie, S.P., Hu, K., Huang, G., Huang, R. (2013). Patterns of the seasonal response of tropical rainfall to global warming. *Nature Geoscience*, 6(5), 357–361. https://doi.org/10.1038/ngeo1792

Tan, J., Jakob, C., Rossow, W.B., *et al*. (2015). Increases in tropical rainfall driven by changes in frequency of organized deep convection. *Nature*, 519, 451–454. https://doi.org/10.1038/nature14339

Li, K., Pan, J., Xiong, W., Xie, W., Ali, T. (2022). The impact of 1.5 °C and 2.0 °C global warming on global maize production and trade. *Scientific Reports*, 12(1), 22228. https://doi.org/10.1038/s41598-022-22228-7

ST6: GEOFÍSICA E GEOTECNOLOGIAS

INTERPRETAÇÃO INTEGRADA ENTRE DADOS DE SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL E SPT EM AMBIENTE URBANO: ESTUDO DE CASO EM MANAUS/AM

Raphael, Di Carlo Silva dos Santos[1]; Carlos Filipe Nascimento da Silva Beleza[1]; Jamile Dehaini[2]; Isabelle de Menezes Cruz[1]; Cíntia de Lima Eleuterio Mendes[1]; Roney Azevedo Júnior[1]; Ila Morais de Brito-Rocha[3]

[1] Universidade Federal do Amazonas - UFAM;
[2]Universidade do Estado do Amazonas - UEA;
[3]Secretaria de Educação e Desporto Escolar do Amazonas - SEDUC

raphaelsantos@ufam.edu.br; carlos.beleza@ufam.edu.br; jamiledehaini@uea.edu.br

RESUMO

Obras de construção civil necessitam de informação de subsuperfície para que as fundações possam ser bem construídas. Atualmente as obras utilizam a sondagem a percussão (SPT) como método direto para identificar as litologias no subsolo, contudo estas sondagens ainda podem gerar dados incompletos sobre a compactação do solo. Para fundamentar uma interpretação litológica mais realista, os métodos geoelétricos se mostram como métodos bastante eficazes associados ao SPT. Este estudo visa correlacionar a interpretação de três sondagens elétricas verticais a boletins SPT na cidade de Manaus/AM para gerar uma interpretação mais acurada da litologia dos furos.

PALAVRAS-CHAVE: Sondagem a Percussão SPT; Nspt; Resistência Transversal; Eletrorresistividade;

INTRODUÇÃO

As obras da construção civil transmitem todo seu peso ao material existente na subsuperfície, logo é essencial o estudo e caracterização do subsolo para fundamentar qualquer obra. Na engenharia civil, a geotecnia possui como finalidade a análise da capacidade de suporte do maciço terroso para o correto dimensionamento das fundações, dessa forma a investigação da subsuperfície é procedimento obrigatório para o planejamento e o início de uma obra.

Na geotecnia, o ensaio de Sondagem a Percussão (Standard Penetration Test, SPT), normatizado, no Brasil, pela ABNT NBR 6484 (ABNT, 2020), é o método tradicionalmente utilizado pelos engenheiros para a investigação da subsuperfície. A quantidade de furos a serem sondados é definida por esta norma que estabelece, no mínimo, um furo de sondagem a cada 200 m² de área a ser construída em um terreno de até 1200 m² (Castro *et al*., 2016).

Dentre os métodos geofísicos complementares à geotecnia podemos utilizar os métodos baseados na reflexão de ondas eletromagnéticas, onda sísmicas ou corrente elétrica para o cálculo da resistividade (McDowell *et al*., 2002). As aplicações são variadas e englobam casos comuns em problemas da engenharia civil como a localização de canalizações e túneis; estudo do perfil estratigráfico local para a execução de fundações; localização de lençóis freáticos para captação de água; determinação da direção ou propagação de pluma de contaminação; avaliação da estabilidade de um terreno; grau de compactação de uma barragem, aterramento e encostas; e avaliação e execução de fundações e estruturas de concreto armado (Gueting *et al*., 2016; Lalague *et al*, 2016). Este estudo tem como objetivo realizar uma interpretação integrada entre três sondagens elétricas verticais e três furos SPT em pontos diferentes da cidade de Manaus/AM para correlacionar as características geoelétricas de um ambiente urbano predominantemente latossólico com as descrições litológicas dos boletins SPT.

MATERIAIS E MÉTODOS

Na geotecnia o método mais usual para a investigação da subsuperfície rasa é a Sondagem a Percussão (Standard Penetration Test, SPT), normatizado pela NBR 6484 (ABNT, 2021). O boletim de SPT apresenta o índice de resistência à penetração no solo, o qual é o valor do número de golpes para a cravação de 30 cm finais (Nspt) do amostrador padrão após a cravação dos 15cm iniciais. O parâmetro Nspt busca caracterizar a resistência do solo em questão para identificar a granulometria, plasticidade, cor e origem do solo em função do seu empilhamento estratigráfico (Aggour e Radding, 2001). Adicionalmente ao SPT, utilizamos também a Sondagem elétrica vertical (SEV) para complementar a caracterização do subsolo. A SEV é normatizada pela ABNT NBR 7117-1 (ABNT, 2021) e é uma técnica do método da eletrorresistividade que consiste na análise e interpretação da resistividade aparente obtida a partir de medidas efetuadas na superfície do terreno, investigando, de maneira pontual, sua variação em profundidade.

A técnica se baseia na Lei de Ohm que define uma relação empírica entre a corrente fluindo através de um condutor e a voltagem requerida para conduzir esta corrente. Esta Lei descreve que a corrente (I) que passa por um material é proporcional à voltagem (V). Num ambiente geológico, a heterogeneidade de litotipos em termos de alteração, fraturamento, saturação e mineralogia refletem mudança na resistividade elétrica. Para efetuar medições da resistividade em profundidade é necessária uma disposição de eletrodos que injetem corrente em subsuperfície (eletrodos de corrente AB) e outros que leiam a voltagem devido a esta corrente (eletrodos de potencial MN). Deste modo calculamos uma resistividade aparente ρa expressa por $\rho = K\ V/I$, onde K é o fator geométrico que depende da disposição dos eletrodos AB e MN na superfície (Fig. 1).

RESULTADOS

Realizamos três SEVs em locais distintos na cidade de Manaus/AM nas regiões do bairro São Francisco, Adrianópolis e Av. das Torres (Figura 2) onde existiam boletins SPT. Todos os resultados de inversão geoelétrica foram realizados no software IPI2WIN.

DISCUSSÕES

A SEV-01 está associada à sondagem a percussão do bairro São Francisco (Figura 3). A litologia do boletim mostram uma predominância de areia siltosa até 10,45m e detecção de lençol freático a 8m. A areia siltosa está pouco compactada até um limite entre 6,5m a 7,5m. A figura 4 mostra a inversão estimando 4 camadas geoelétricas, onde a primeira camada é condutiva com 0,5m de espessura, a segunda muito resistiva com 0,5m, a terceira medianamente resistiva com 1,9m e a última sendo condutiva. A alta resistividade da segunda camada pode ser explicada devido a resquício de materiais de concreto na superfície do perfil, pois o local já havia passado por adequação geotécnica para evitar desmoronamento (Figura 5). As outras camadas condutivas estão em consonância com a interpretação SPT pois elas se referem a uma litologia com alta porosidade e baixa compactação, contudo há uma discrepância na resistividade abaixo de 3m de profundidade indicando que a areia siltosa é mais porosa do que a que existe acima de 3m.

A SEV-02 está associada à sondagem a percussão no bairro Adrianópolis (Figura 6). O boletim mostra a predominância de areia fina a média pouco siltosa até 7,20m de profundidade e areia fina a grossa pouco siltosa até 9,79m. O nível freático é definido a 2,85m de profundidade. A SEV-02 estimou 4 camadas geoelétricas de resistividade crescente (Figura 7). Até 1m é estimada uma resistividade de 275Ωm e até 2,42m de profundidade a inversão estimou um valor de resistividade de 498Ωm. A partir de 2,42m existe um salto para 1491 Ωm até 6,5m. Em comparação com o boletim SPT, podemos estimar três camadas geoelétricas explicadas pela compactação e diminuição da porosidade. Apesar do nível de água estar a 2,85m, a alta compactação da areia elevou os valores de resistividade. Nos boletins temos uma única interface dividindo sedimentos entre areia fina e grossa e areia fina e grossa pouco siltosa, contudo a interpretação geoelétrica mostra que há um aumento de compactação desses sedimentos a partir de 2,42m. A partir de 6,5m há outro salto de resistividade para 4274Ωm indicando mais compactação associada à mudança de granulometria da areia fina e média para areia grossa pouco siltosa descrita no boletim.

A SEV-03 está associada à sondagem a percussão na Av. das Torres (Figura 9). Nesta SEV conseguimos estimar 3 camadas geoelétricas até 2,89m. Uma camada condutiva de 227Ωm até 1,45m, outra resistiva de 7594Ωm até 2,89m e o topo de uma condutiva de 64Ωm a partir de 2,89m (Figura 8). Até a profundidade de 5,6m, o boletim mostra uma interface que separa argila arenosa e argila pouco arenosa a 0,4m. A baixa resistividade das camadas geoelétricas é consonante com a interpretação litológica do boletim pois a argila é condutiva, contudo, o alto valor de 7594Ωm indica uma camada compactada de 1,44m de espessura não detectada no boletim. Podemos interpretar que nesta profundidade pode existir uma porção areno-argilosa muito compactada, não detectada pelo Nspt. O boletim só consegue detectar uma camada medianamente compactada de areia argilosoa a partir de 5,60m.

Apesar de adicionar informações sobre a compactação dos sedimentos nos boletins SPT, as inversões estimaram poucas camadas geoelétricas e de pouca espessura. Isto ocorre porque a injeção de corrente no subsolo possui trajetória reduzida devido ao alto número de utilidades subterrâneas que atenuam sua intensidade, impossibilitando que ela alcance profundidades maiores. Além do mais as aberturas AB são limitadas devido ao arboreamento, valas, asfalto e comprimento das ruas, dificultando a logística de realização de uma SEV num ambiente urbano.

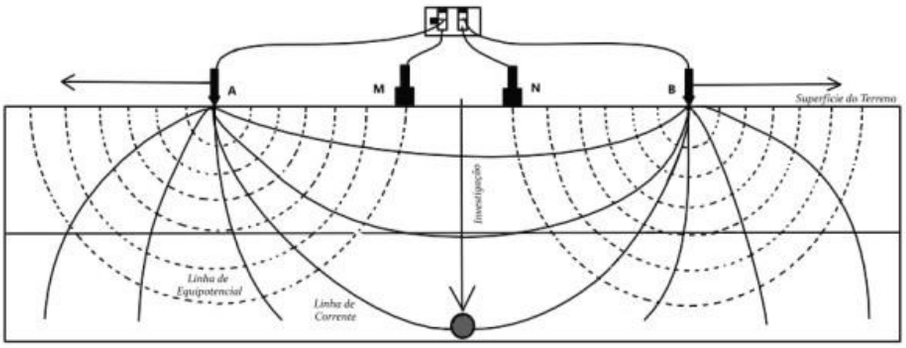


Figura 1 – Diagrama esquemático do arranjo Schlumberger para a SEV. Os eletrodos A e B aumentam de distância enquanto que os eletrodos M e N permanecem constante. Adaptado de Braga (2016).

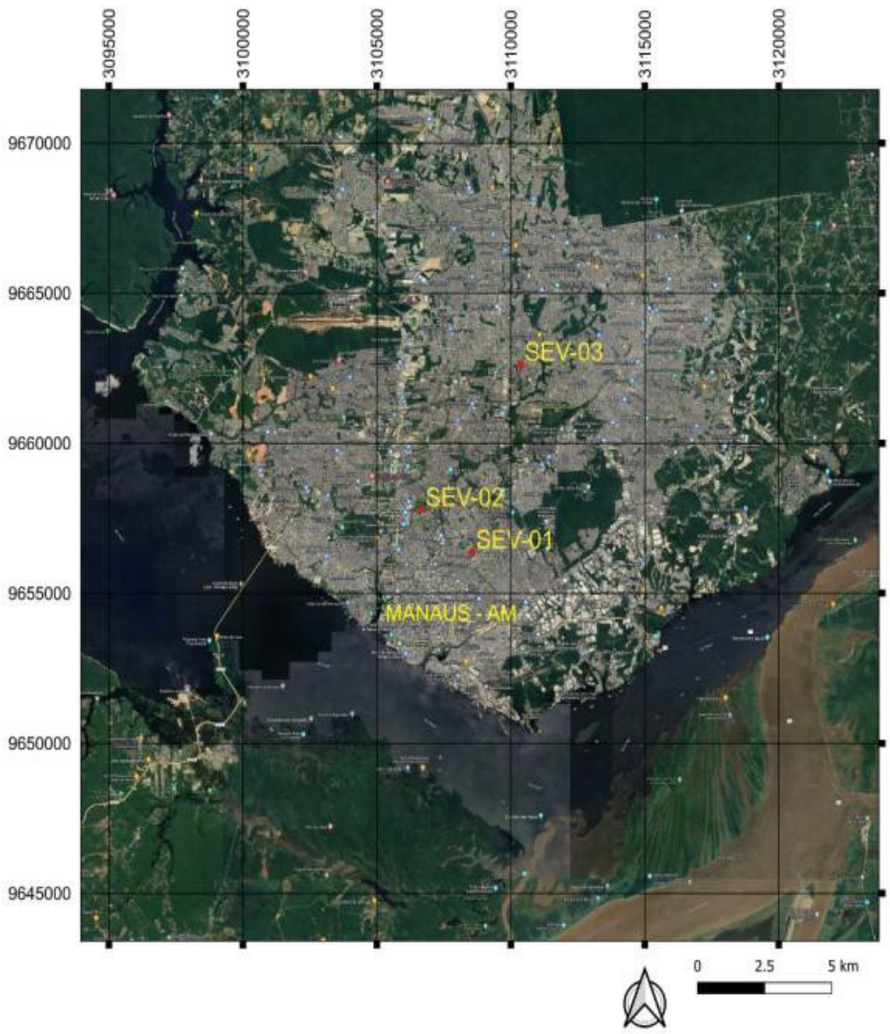


Figura 2 – Mapa de localização das SEVs.

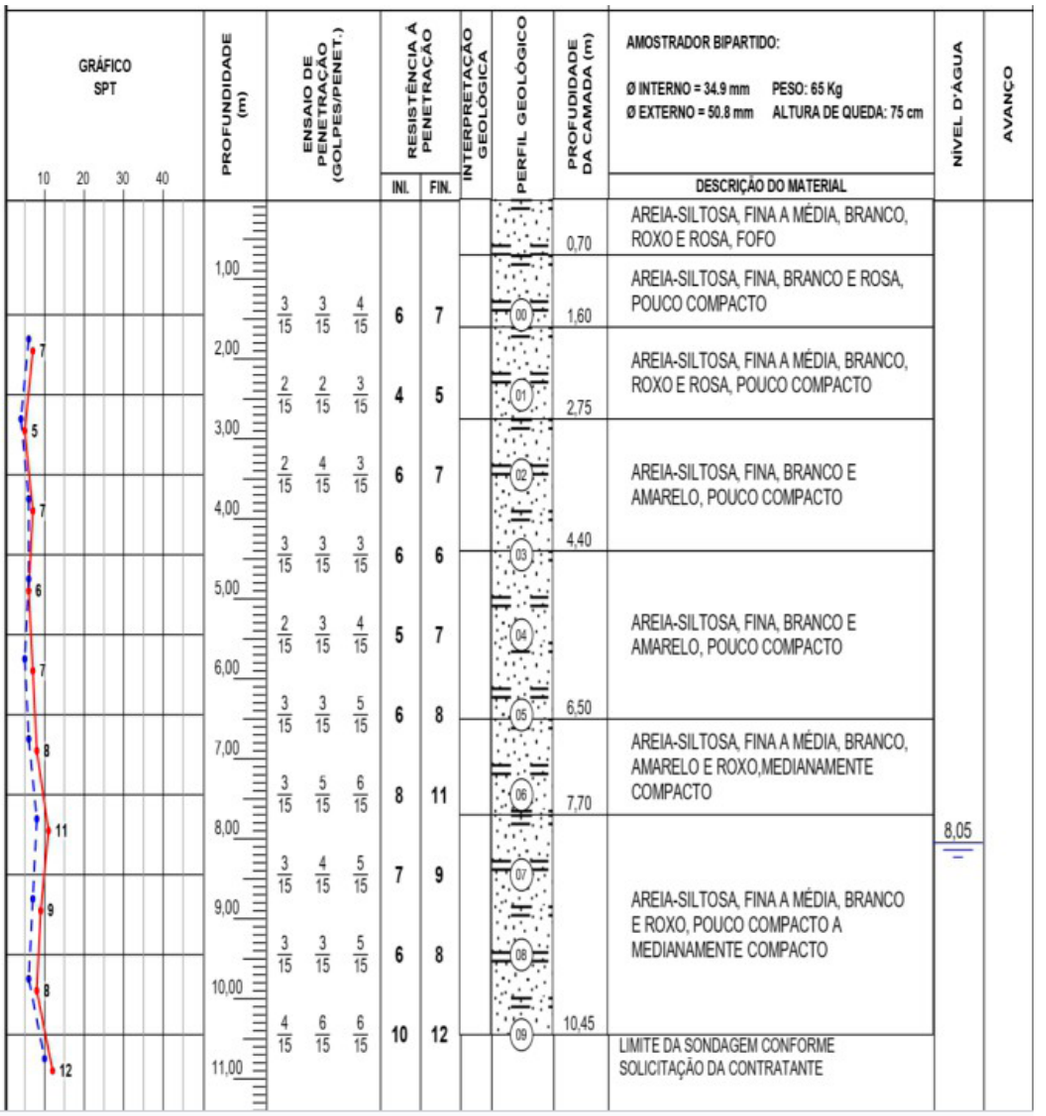


Figura 3 – Boletim SPT próximo a SEV-01 no bairro São Francisco. Linha contínua vermelha indica trado cavadeira e linha pontilhada azul indica aos 30cm iniciais e finais.

N	ρ	h	d	Alt
1	20.2	0.567	0.567	-0.5673
2	35562	0.501	1.07	-1.068
3	713	1.9	2.97	-2.973
4	42.6			

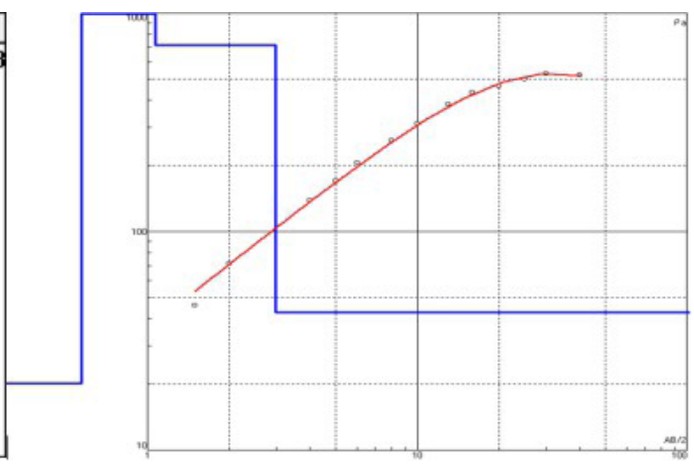


Figura 4 – Resultado da inversão da SEV-01. N indica número de camadas, ρ indica resistividade verdadeira estimada, h indica espessura da camada, d indica profundidade do topo da camada e Alt indica cota altimétrica levando em consideração a superfície como zero.

Figura 5 – Linha preta indicando a adequação geotécnica para impedir a estabilização de uma encosta no local da SEV-01.

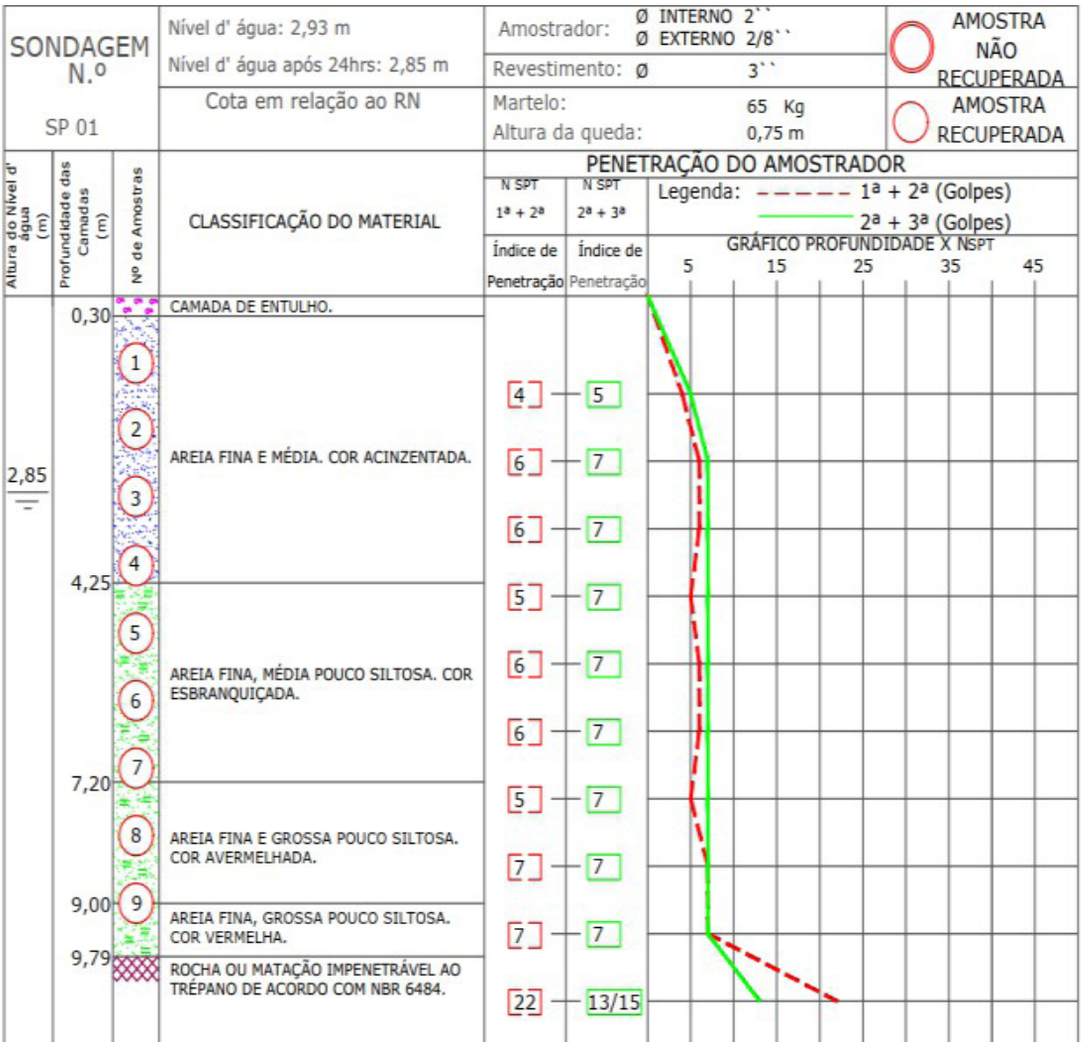


Figura 6 – Boletim SPT próximo a SEV-02 no bairro Adrianópolis.

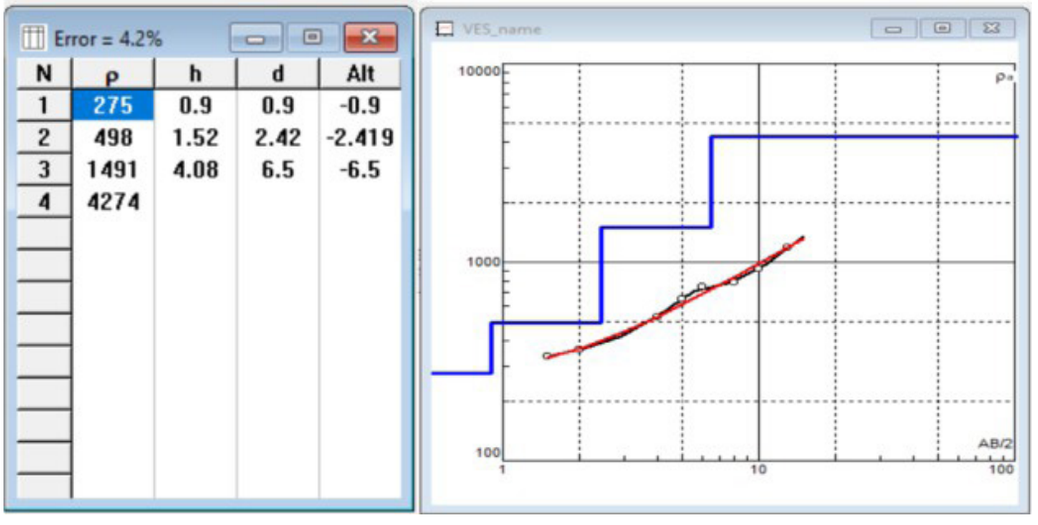


Figura 7 – Resultado da inversão da SEV-02. N indica número de camadas, ρ indica resistividade verdadeira estimada, h indica espessura da camada, d indica profundidade do topo da camada e Alt indica cota altimétrica levando em consideração a superfície como zero.

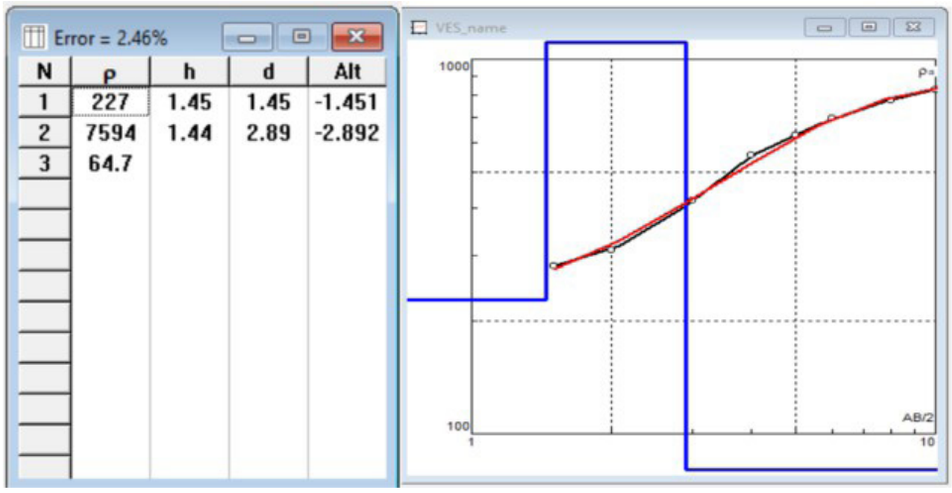


Figura 8 – Resultado da inversão da SEV-03. N indica número de camadas, ρ indica resistividade verdadeira estimada, h indica espessura da camada, d indica profundidade do topo da camada e Alt indica cota altimétrica levando em consideração a superfície como zero.

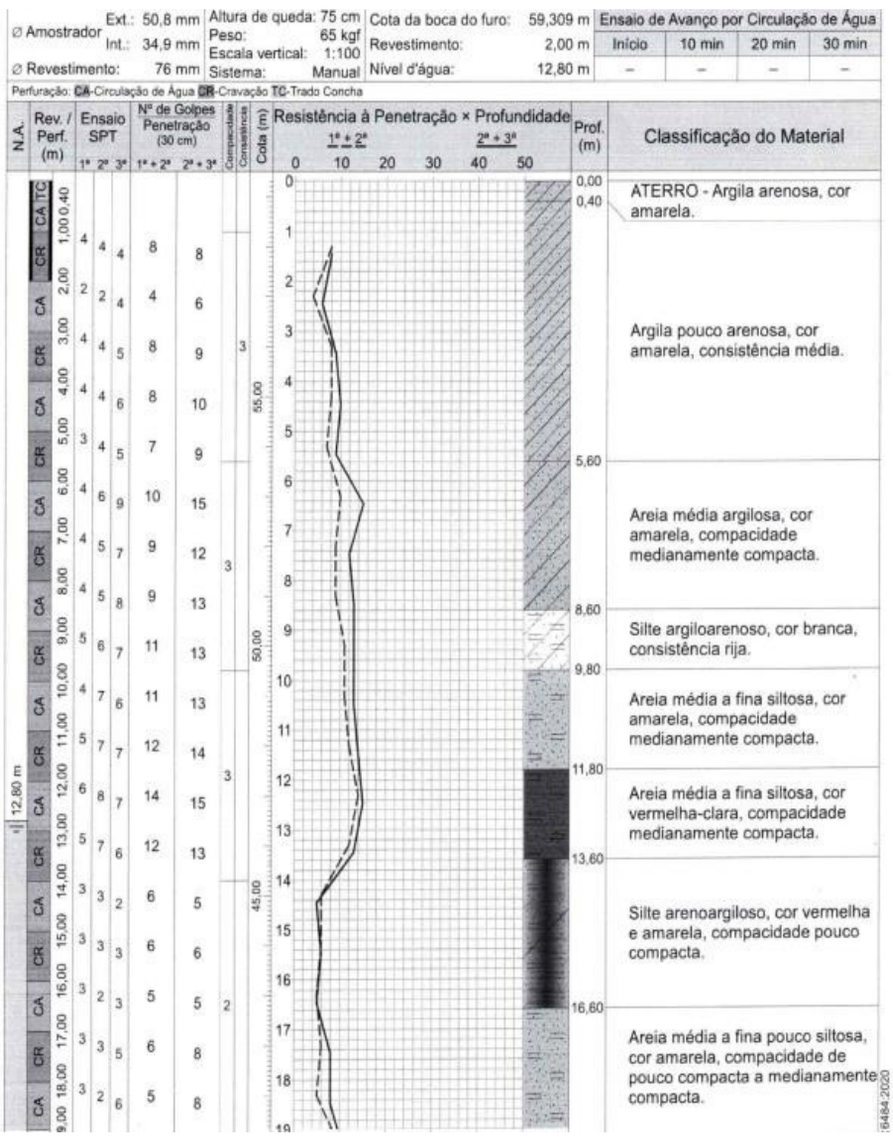


Figura 9 – Boletim SPT próximo a SEV-03 na Av. das Torres.

CONCLUSÕES

Realizamos três sondagens elétricas verticais em pontos distintos da cidade de Manaus/AM e comparamos com boletins SPT destes locais. As três sondagens mostraram informações extras da compactação dos sedimentos que não existiam nos boletins em consonância com a interpretação litológica estimando a resistividade em poucas camadas próximas a superfície e com pouca espessura devido à atenuação da corrente elétrica em subsolo urbano decorrente da existência de utilidades subterrâneas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa Concresonda Engenharia E Tecnologia Ltda. pela cessão de dados SPT, à Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES). C.F.N.S. Beleza agradece a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (bolsa 64302. UNI944.20700.13022023-88654).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aggour, M.S., Radding, W.R. (2001). *Standard Penetration Test (SPT) Correction*. Maryland Department of Transportation, State Highway Administration. Maryland, 2001, 92p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2020). *ABNT NBR 6484: Solo – Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT – Métodos de Ensaio*. São Paulo. 28p. Disponível em: < https://www.abntcatalogo.com.br/pnm.aspx?Q=QUpQNHFZWW1ibXpad1g4Q1VQOXFpUU9ORlJ3ZXRDM2tlM3IxT2dTaEJFQT0= >.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2021). *ABNT NBR 7117-1: Parâmetros do solo para projetos de aterramentos elétricos: Parte 1: Medição da resistividade e modelagem geoelétrica*. São Paulo. 22p. Disponível em:<https://www.abntcatalogo.com.br/pnm.aspx?Q=SVFtOEgxT3lVdG94OXZ1NEtpNnRvZ1JiQjZPUmR5VHBKU0hWMnNIWERucz0= >.

Braga, A.C.O. (2016). *Geofísica aplicada: métodos geoelétricos em hidrogeologia*. Oficina de Textos: São Paulo, 2016.

Castro, B.C.; Garcia, A.F..; Gondo, G.H.B.; Marques, S.F..; Sousa, M.V..; Queiroz, J.S.; Reinaldo, R.L. 2016. Perfis geotécnicos da cidade de Palmas – TO por meio de sondagens SPT e ensaios geofísicos. In: *Anais do Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – COBRASEGM, 18,* Belo Horizonte – Minas Gerais.

Gueting, N.; Vienken, T.; Klotzsche, A.; Kruk, J. V. D.; Vanderborght, J.; Caers, J.; Vereecken, H.; Englert, A. 2017. High resolution aquifer characterization using crosshole GPR full-waveform tomography: Comparison with direct-push and tracer test data. *Water Resources Research. 53*, 49 -72, Issue 1.

Lalague, A., Lebens, M.A., Hoff, I. *Et Al.* 2016. Detection Of Rockfall On A Tunnel Concrete Lining With ground- penetrating radar (GPR). *Rock Mech Rock Eng 49*, 2811– 2823.

McDowell, P.W.; Barker, R.D.; Butcher, A.P.; Culshaw, M.G.; Jackson, P.D.; MacCann, D.M.; Skipp, B.O.; Matthews, S.L.; Arthur, J.C.L. (2002). *Geophysics in engineering investigations*. CIRIA, London, UK, 2002.

AEROGEOFISICA COMO SUPORTE PARA O MAPEAMENTO GEOLÓGICO NO PROJETO FAIXA ROOSEVELT GUARIBA SUDESTE DO AMAZONAS

Miquéas Barroso da Silva[1]; Bruno Silva de Souza [1,2]; Túlio Amós de Araújo Mendes[1]; Antônio Charles Silva Oliveira[1]; Carlos Eduardo Santos Oliceira[1]; Paulo Roberto Santos Lopes[2].

[1] Serviço Geológico do Brasil – SGB; [2] Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ;

miqueas.silva@sgb.gov.br; brunossouza.geo@gmail.com; tulio.mendes@sgb.gov.br; charles.oliveira@sgb.gov.br; carlos.oliveira@sgb.gov.br; paulo.lopes@sgb.gov.br

RESUMO

A utilização de dados aerogeofísicos é essencial para o mapeamento geológico, pois sua amostragem homogênea e caráter multiescala permitem extrapolar informações geológicas pontuais para grandes áreas em superfície e subsuperfície. Este trabalho apresenta as contribuições geológicas e de recursos minerais do Projeto Faixa Roosevelt-Guariba (PFRG) através do mapeamento de uma área 12.000 km^2 na região sudeste do Amazonas. O mapeamento nessa região é muito dificultado pelo espeço horizonte de intemperismo, densa cobertura de floresta tropical e limitadas vias de acesso e infraestrutura logística, o que torna a atividade geológica cara e penosa, pelos escassos e descontínuos afloramentos, o que torna a utilização da geofísica, em especial aerolevantamentos, indispensáveis para o mapeamento e prospecção mineral. Foram utilizados nesse estudo imagens aerogeofísicas derivadas do Campo Magnético Anômalo (1ª Derivada Vertical e Gradiente Total) e da distribuição dos radioelementos K, Th e U, integrados à Composição Ternária RGB e ao SRTM. A área de mapeamento está localizada no município de Manicoré, entre os rios Marmelos e Aripuanã, e encontra-se inserida, geologicamente, no extremo norte-nordeste do Terreno Juruena, onde aflora o Batólito Vila Maravilha, parcialmente recoberto por rochas sedimentares da Bacia Intracontinental Beneficente. Essas unidades estão relacionadas à fase pós-orogênica, sendo agrupadas na Associação Geológica-Estrutural (AGE) Pós-Juruena (1,57–1,10 Ga). A leste, fazem contato tectônico com unidades sin-tectônicas da AGE Juruena (1,89–1,73 Ga) — os granitos Teodósia e Igarapé das Lontras, além do Complexo Nova Monte Verde — através da Faixa Deformacional Roosevelt-Guariba. Os produtos aerogeofísicos permitiram detalhar o arcabouço estrutural, identificar diques magnéticos não aflorantes e corpos intrusivos rondonianos, além de distinguir rochas piroclásticas (Beija-Flor) de subvulcânicas ácidas (Morcego). Também foram delimitadas zonas de alteração potássica associadas à mineralização aurífera (Garimpo Gavião).

PALAVRAS-CHAVE: Serviço Geológico do Brasil; Geofísica aplicada, mapeamento geológico na Amazônia.

INTRODUÇÃO

O estado do Amazonas, apesar da ampla diversidade geológica, ainda possui conhecimento incipiente sobre seu potencial mineral. Menos de 5% do território conta com dados geológicos pré-competitivos em escala adequada (1:100.000), o que explica a produção mineral modesta diante do potencial existente. Para ampliar esse conhecimento, o Serviço Geológico do Brasil (SGB) iniciou levantamentos sistemáticos nessa escala, priorizando áreas de maior interesse exploratório. Nesse contexto, o sudeste do Amazonas destaca-se como fronteira estratégica, com histórico garimpeiro ativo e ocorrências de ouro, manganês, estanho, cobre e fosfato, além de semelhanças crustais com as províncias minerais do Tapajós e Juruena–Teles Pires.

O Projeto Geologia e Potencial Mineral do Sudeste do Amazonas: Faixa Roosevelt–Guariba (PFRG) abrange cerca de 12.000 km² em quatro folhas cartográficas, incluindo áreas de Novo Aripuanã, Manicoré e Humaitá, bem como unidades de conservação (Figura 1). Geologicamente, insere-se na Associação Pós-Juruena (APJ), composta por litotipos gerados em eventos pós-orogênicos intracontinentais do Terreno Juruena (1,57–1,10 Ga), marcados por magmatismos félsico ferroan rapakivi e máfico toleiítico (suítes Serra da Providência e Matá-Mata), além de sucessões sedimentares terrígenas do Grupo Beneficente, que recobrem parcialmente as demais unidades.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados geológicos do acervo do Serviço Geológico do Brasil (SGB) foram revisados, destacando-se os projetos de mapeamento na escala 1:250.000 das folhas Roosevelt, Sumaúma e Mutum (Oliveira *et al*., 2019) e o projeto de integração geológica-geofísica em Áreas de Relevante Interesse Mineral do Sudeste do Amazonas – ARIM-SEAM (Meloni *et al*., 2021). Os dados geológicos do PFRG foram obtidos por meio de campanhas de campo para mapeamento terrestre, realizadas ao longo da malha viária disponível, e campanhas fluviais nos rios Roosevelt, Machadinho, Branco e Igarapé Taboca.

Os aerolevantamentos geofísicos Aripuanã (CPRM, 2010) e Branco–Machadinho (CPRM, 2015) forneceram dados segundo os métodos gamaespectrométrico e magnetométrico, adquiridos em linhas de voo com direção norte–sul, espaçadas a cada 500 m e sobrevoadas a 100 m de altura em relação à superfície do terreno (Figura 1).

Esses dados foram interpolados de acordo com as especificidades de cada método geofísico: o primeiro pelo método de interpolação da mínima curvatura e o segundo pelo método de interpolação bidirecional. Em ambos os casos, utilizou-se célula de 125 m, considerando a relação de ¼ do espaçamento lateral entre as linhas de voo para definição da malha de interpolação. Para auxiliar as interpretações geológicas e prospectivas, aplicaram-se filtros de realce de anomalias, cálculos de derivações, gradientes e combinações de dados, com a geração de subprodutos tais como: Campo Magnético Anômalo (CMA), 1ª Derivada Vertical, Gradiente Total, distribuição dos radioelementos potássio–tório–urânio e Composição Ternária RGB integrada ao SRTM.

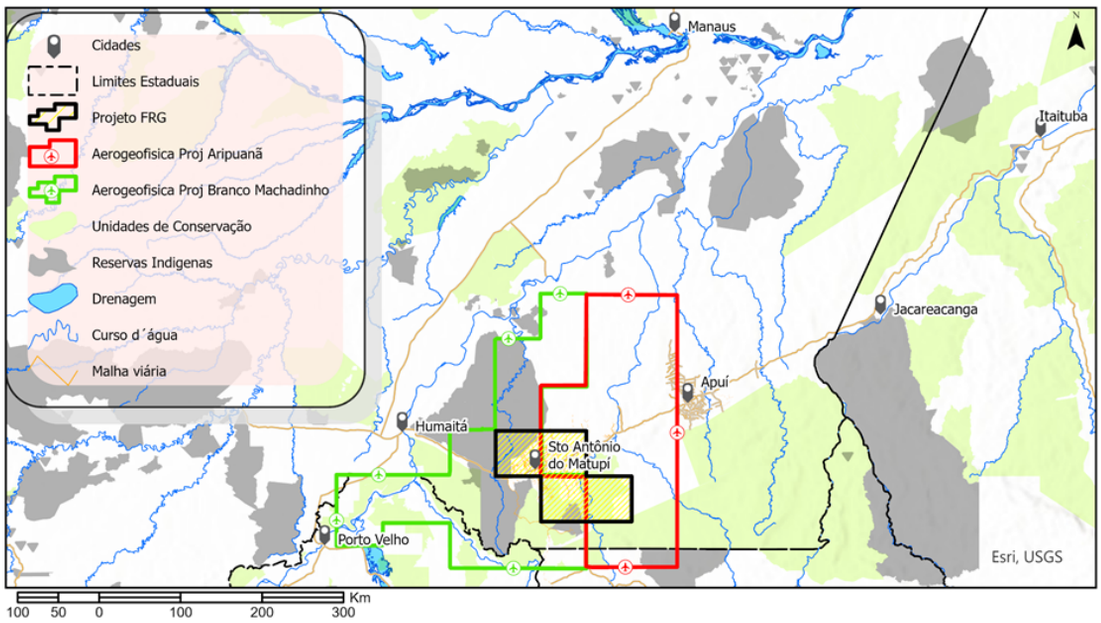


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo, incluindo aerolevantamentos, áreas restritivas, rodovias e drenagens.

RESULTADOS

Estrutura

A análise dos dados magnetométricos revelou o arcabouço tectônico-estrutural da região, evidenciando relações com os litotipos e feições de deformação. Lineamentos desmagnetizados NE–SW definem faixas estreitas e espaçadas, bem representadas na porção SE e no extremo NW da área, caracterizando zonas de falha e fraturas de caráter dextral, que deformam litotipos associados ao magmatismo Serra da Providência. Essas estruturas prolongam-se para leste, evidenciando relação de superposição à estruturação NW–SE da Faixa Deformacional Roosevelt–Guariba (D2), uma feição regional materializada nos dados geofísicos por um feixe de lineamentos sinuosos de direção geral NW–SE, interpretados como zonas de cisalhamento dúctil. Essas zonas de cisalhamento truncam e deslocam anomalias WNW–ESE (D1), com arrastos de caráter dextral. Estas últimas associam-se à trama regional do Terreno Juruena, representado na área pelo Complexo Nova Monte Verde (embasamento de alto grau metamórfico), cuja resposta magnética evidencia feições lenticulares dobradas em isoclinais e rompidas, em seus planos axiais, por zonas de cisalhamento NW–SE (D2). Outra feição de destaque nos dados magnetométricos são os domínios magnéticos atenuados, áreas com textura magnética "lisa e borrada" que coincidem com zonas de cobertura sedimentar. A intensidade da atenuação da resposta magnética é proporcional à espessura do pacote sedimentar, refletindo a profundidade relativa do embasamento, cujos limites são interpretados como falhas normais (D4).

Litologias

Na região oeste do rio Roosevelt, foram identificados: a) correlação da resposta da gamaespectrometria com as formações Manicoré e Palmeiral; b) diques magnéticos não aflorantes como corpos lineares intensamente magnéticos; c) granitos rondonianos

(900 Ma) intrusivos nos arenitos da Formação Palmeiral, se destacam como feições circulares com alto topografico e resposta gamaespectometrica com alta concentração em todos canais, manifestando-se como anomalias circulares realçadas e d) divisão do Grupo Serra do Gavião em formações piroclásticas (Beija-Flor) e subvulcânicas ácidas (Morcego).

No interflúvio dos rios Roosevelt e Guariba: e) o Complexo NMV apresenta forte assinatura magnética, delineando uma megadobra NW–SE, com enriquecimento em K e U nas imagens gamaespectrométricas, indicando feldspatos potássicos e fases neoformadas em migmatitos; f) os metagranitoides Teodósia e Igarapé das Lontras apresentam textura equigranular a porfirítica e assinatura magnética variável, com resposta gamaespectrométrica heterogênea refletindo intemperismo intenso e formação de regolito; g) intrusões graníticas bimodais Calimiano com bordas magneticamente intensas e h) diques máficos tardios lineares NNE–SSW, cortando transversalmente as unidades.

Recursos Minerais

Rochas vulcânicas hidrotermalizadas associadas à mineralização aurífera do Garimpo Gavião exibem anomalias potássicas elevadas, indicando alteração hidrotermal potássica em faixas deformadas, que também está associada a anomalia positiva da magnetometria, corelacionada a presença de magnetita na ganga mineral dessa mineralização polimetalica (Au-Cu-Zn-Pb).

Cobertura laterítica (regolito) desenvolvida sobre grande parte da área, com espessura superior a 10 m em setores de floresta densa e planícies fluviais, apresenta enriquecimento em tório, gerando tons esverdeados nas imagens gamaespectrométricas.

DISCUSSÕES

Os lineamentos magnetométricos e a orientação das faixas NW–SE e NE–SW permitem interpretar múltiplas fases deformacionais na região. Esses resultados corroboram interpretações anteriores de estruturas pós-Juruena, sugerindo que a evolução tectônica regional influenciou a organização das litologias e o controle estrutural de mineralizações auríferas.

As rochas vulcânicas hidrotermalizadas associadas ao garimpo Gavião exibem anomalias potássicas elevadas, evidenciando zonas de alteração hidrotermal potássica. Esses padrões gamaespectrométricos corroboram a interpretação de que sistemas hidrotermais controlaram a mineralização aurífera, alinhando-se com observações em regiões comparáveis das Províncias Minerais do Tapajós e Juruena–Teles Pires.

O regolito espesso presente em grande parte da área influencia a interpretação direta em campo e a associação entre enriquecimento em tório e cobertura laterítica evidencia processos de intemperismo profundo que devem ser considerados na avaliação de recursos minerais em especial com relação a deposito de ETR, em argilas ionizadas.

CONCLUSÕES

A integração de dados aerogeofísicos e geológicos permitiu a caracterização detalhada do arcabouço estrutural e das litologias do sudeste do Amazonas, destacando lineamentos NW–SE e NE–SW, megadobras do Complexo NMV e a distribuição de intrusões calimianas e rondonianas.

O magmatismo bimodal calimiano apresenta heterogeneidade composicional significativa, com intrusões félsicas, vulcânicas e diques máficos tardios, parcialmente controlados por estruturas tectônicas, reforçando o entendimento da evolução pós-Juruena na região. Havendo uma relação mutua entre magmatismo bimodal e evento deformacional intracontinental, que ao invés de representar um colapço orogenico, pode estar mais ligado a propagação de esforços pericontinentais das orogenias rondonia-san ignacio, cachoerinha e/ou içana (Oliveira e Almeida 2021).

Em regiões de difícil acesso e restrições legais, a geofísica se apresenta como suporte essencial para o mapeamento geológico. No entanto, a impossibilidade de amostragem direta limita a distinção de algumas unidades, como as formações Manicoré e Palmeiral, que apresentam respostas semelhantes na composição ternária RGB, apesar de diferenças litológicas sutis. A separação das unidades vulcânicas do Grupo Serra do Gavião também depende de variações de potássio detectadas na gamaespectrometria.

A combinação de dados geológicos e aerogeofísicos contribui de forma satisfatória para a delimitação de unidades e compreensão estrutural da área. Ainda assim, embora a geofísica seja fundamental, o mapeamento geológico sistemático continua indispensável como meio de confirmar ou refutar interpretações. O estudo reforça o potencial mineral do sudeste do Amazonas, oferecendo subsídios para futuras pesquisas, planejamento mineral estratégico e exploração responsável da região. A contribuição deste estudo é reunida no mapa geológico integrado. (Figura 2)

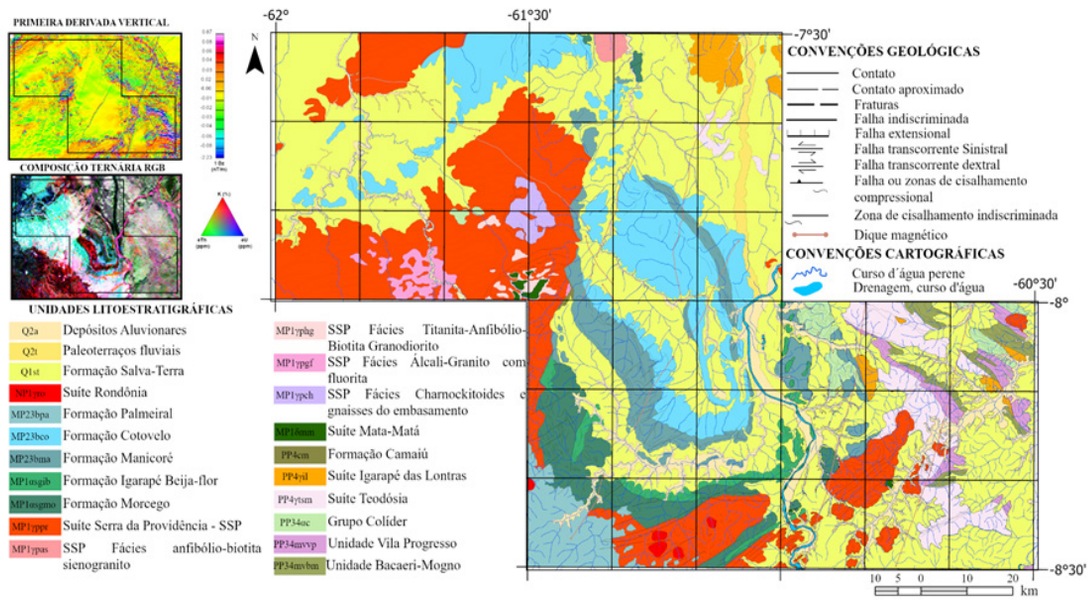


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo, incluindo aerolevantamentos, áreas restritivas, rodovias e drenagens.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Projeto aerogeofísico Aripuanã: relatório final de levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. Rio de Janeiro: Prospectors Aerolevantamentos e Sistemas, 2010. Volume 1.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Projeto aerogeofísico Branco-Machadinho: relatório final de levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. Rio de Janeiro: Lasa Prospecções S.A, 2015. Volume 1.

Goulart, L.E.A. e Silva, A.R. C. (org), 2019. Metalogenia das Provínicas Minerais doBrasil: área Eldorado do Juma, estado do Amazonas, Série Províncias Minerais do Brasil. CPRM, Manaus, 99 pp.

Meloni, R.E.; Simões, M.S.; Benevides Filho, P.R.R.; Lisboa, T. de M.; Ramos, M.N.; Oliveira, A. C. S.; Silva, A.R. da C.; Queiroz, L.C. Mapa Geológico-Geofísico: ARIM Sudeste do Amazonas. Manaus: CPRM, 2021. 1 MAPA COLOR. Escala 1:500.000, Programa de Gestão Estratégica da Geologia, Mineração e Transformação Mineral: Ação Áreas de Relevante Interesse Mineral (ARIM).

Oliveira, A. C. da S., & Almeida, M. E. (2021). The role of intracratonic crustal reworking in the tectonic compartmentalization of the Juruena Terrane, SW Amazonas Craton: the Roosevelt-Guariba Transpressive Belt. Journal of the Geological Survey of Brazil, 4(August), 123–145. https://doi.org/https://doi.org/10.29396/jgsb.2021.v4.n2.3

Oliveira, A.C. da S., Lira, R.R.C. (org), 2019. Geologia e Recursos Minerais da Folha Rio Roosevelt, Escala 1:250.000, Programa Geologia do Brasil. CPRM, Manaus, 59 pp.

Reis et al. 2013. Supergrupo Sumaúma. Livro Contribuições a Geologia da Amazônia. In press.

Scandolara et al., 2017. Paleo-Mesoproterozoic arc-accretion along the southwestern margin of the Amazonian craton: The Juruena accretionary orogen and possible implications for Columbia supercontinent. Journ. of South Amer. Earth Sciences 73 (2017) 223e247

GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AO MAPEAMENTO GEOLÓGICO NA ILHA DE COTIJUBA (BELÉM/PA)

Samia Lima Carmo [1]; Aline Maria Meiguins de Lima[2]

[1] Universidade Federal do Pará - UFPA; [2] Universidade Federal do Pará - UFPA

samialimaa10@gmail.com; ameiguins@ufpa.br

RESUMO

Metodologias aplicadas em diferentes fases do trabalho de campo auxiliam e garantem agilidade para o mapeamento geológico, trazendo vantagens na aquisição de dados e no refinamento de resultados. Este estudo compara duas metodologias de classificação de imagens digitais: a tradicional pixel a pixel e a orientada a objetos, usando algoritmos de decisão e treinamento de máquina. Nesse contexto, imagens de alta resolução do satélite CBERS-4A foram utilizadas para mapear uma porção da Ilha de Cotijuba, localizada em área insular do município de Belém (PA). Os resultados obtidos demonstram a aplicação de metodologias de processamento digital de imagens oferecem vantagens e resultados mais precisos, trazendo potencialidades para o mapeamento geológico de formações rochosas lateríticas em áreas estuarinas, além de considerar aplicações e resultados equivalentes em outros contextos geológicos.

PALAVRAS-CHAVE: Sensoriamento remoto; Classificação orientada à objetos; Formações rochosas lateríticas.

INTRODUÇÃO

Inovações tecnológicas nas áreas de informação e comunicação, têm permitido a adoção de novas abordagens para a coleta, análise e processamento de dados do espaço geográfico. Isso torna mais fácil a avaliação dos componentes da paisagem e amplia as possibilidades de uma cartografia voltada ao processamento digital de imagens (PDI) e ao aprendizado de máquinas, resultando em mapas mais precisos e alinhados com a realidade (Blaschke, 2010).

Pesquisas acerca do sensoriamento remoto, geologia e mineração, especialmente na identificação de corpos rochosos aflorantes, estão focadas na classificação automática ou visual de dados obtidos por sensores ópticos, utilizando índices de vegetação (NDVI), treinamento de máquinas e a geoestatística, para a criação de mapas e a formação de bancos de dados (Vieira *et al*., 2012; Mohammadizad e Arfania, 2017; Gizdavec *et al*., 2022).

Estudos sobre a evolução geológica dos ambientes possuem grande relevância a Geologia Regional, pois fornecem um modelo significativo para entender os processos geológicos e climáticos. Nesse sentido, este trabalho teve por objetivo comparar duas metodologias de classificação de imagens digitais - a tradicional pixel a pixel e a orientada a objetos, usando algoritmos de decisão e treinamento de máquina.

Dessa maneira, visa contribuir tanto para o melhor desenvolvimento dos trabalhos de campo na geologia, quanto aos voltados para questões ambientais, tais como condições de risco geológico, com técnicas que aplicam metodologias complementares por meio de sensores remotos.

MATERIAIS E MÉTODOS

O contexto geológico-geomorfológico ao qual a Ilha de Cotijuba pertence é relativo ao Neógeno (Mioceno a Plioceno) e Quaternário (Pleistoceno ao Holoceno) vinculado as Formações Barreiras e Pós-Barreiras.

Este reflete processos de sedimentação costeira e fluvial, indicando ambientes de deltas, estuários e planícies de inundação. A transição entre as duas unidades não é contínua, representando uma lacuna erosiva significativa (Rossetti *et al*. 2001). A Ilha de Cotijuba está localizada em um ambiente de transição entre rio e mar (estuário), ou seja, está sujeita ao fluxo de marés e sedimentos mistos, transportados pelos rios e pela corrente marítima. Esses ambientes são dinâmicos e estão constantemente sofrendo alterações devido aos processos de erosão e deposição de sedimentos.

Silva (2021) com base em levantamentos de campo e caracterização em Sistema de Informações Geográficas (SIG), delimitou três unidades geológicas presentes na Ilha de Cotijuba. Essa classificação teve o intuito de definir unidades geoambientais e considerou a compartimentação geológica de fundamental importância, bem como fator determinante para o entendimento do meio.

Para a área de estudo, adquiriu-se a imagem do satélite CBERS 4A, sensor WPM (Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura), coleção: CBERS4A_WPM_L4_DN, com data de passagem em 10/08/2023 às 13h58min, contendo as bandas dos espectros azul, verde e vermelho (RGB), além da banda pancromática (PAN) e do infravermelho próximo (NIR), com resolução espacial na faixa de 2 a 8 metros.

As ferramentas utilizadas para o PDI no QGIS, são os complementos *Semi-Automatic Classification Plugi*n (SCP) versão 7.10.11 Matera, desenvolvido por Congedo (2021), e o complemento Orfeo ToolBox (OTB) versão 8.1 *Centre National D'études Spatiales* (CNES 2019). Ambos são softwares *Open Source*, assim como o QGIS. Isso significa que são disponibilizados gratuitamente para qualquer usuário acessar, copiar, modificar e redistribuir.

As duas ferramentas foram utilizadas nos processos de PDI de forma semelhante no que diz respeito as etapas de segmentação, coleta de amostras, treinamento de algoritmo e classificação.

Para o empilhamento das bandas de 8 m de resolução espacial, empregou-se as funções nativas do software QGIS, correspondentes às ferramentas de agregação de imagem (*Raster>>Miscelânia>>Mosaico*); após foi aplicada a ferramenta de fusionamento com a banda de 2 metros para melhor definição dos alvos (*função "pansharpening", do GDAL que faz parte do módulo de ferramentas nativas do QGIS*).

Para gerar uma imagem de falsa cor, utilizou-se a funcionalidade de estilização de bandas para opção Multibanda Colorida (R:4, G:3, B:2), afim de possibilitar uma melhor distinção de cores e realce das feições na área de estudo.

Utilizando a composição de bandas cor verdadeira, empregando a ferramenta do SCP, foram definidas classes de assinaturas para discriminação dos elementos em amostras de treinamento (*ROI e Signature list*, função "*Training Input*"). As categorias definidas foram: 1 - Rocha; 2 - Areia; 3 - Vegetação; 4 - Água; 5 - Solo Exposto; e 6 - Construções.

A seguir, foram indicadas as micro classes (*id_class*), na função de processamento de bandas, utilizou-se a classificação supervisionada com o algoritmo "*Maximum Likelihood*", que executa a classificação multiespectral pixel a pixel.

Com a caixa de ferramenta do OTB, a metodologia inicia com a divisão da imagem em objetos significativos baseados em regiões delimitadas ou objetos visualmente homogêneos.

Com a mesma imagem utilizada anteriormente, na composição de bandas cor verdadeira é aplicada a função de seleção de amostras. Foram consideradas as informações dos pixels vizinhos, uma vez que estes permitem adaptar a sensibilidade do algoritmo em relação a dinâmica e a resolução espectral da imagem (função "*Spatial radius*" e "*Range radius*").

Estes foram definidos respectivamente em 5 e 20, para menor raio espacial da vizinhança e maior suavização de ruído nas bordas. O arquivo de saída foi definido para o modo vetor e o tipo "*int16*" para seguir padrão da camada de entrada (comp. bandas), para então gerar o arquivo de seleção de amostras. Em seguida, foram calculados os valores de média e desvio padrão para cada uma das bandas (B1, B2, B3, B4).

Os polígonos que correspondem as classes de amostras (389 no total), foram selecionados manualmente com base em suas características visuais da imagem e atribuídos valores inteiros na tabela de atributos para cada classe que deverá ser classificada posteriormente. Em seguida, realizou-se o treinamento do algoritmo (função "*TrainVectorClassifier*").

A camada de entrada utilizada foi a de amostras definida anteriormente, com as respectivas classes e suas estatísticas zonais. O algoritmo escolhido para treinar o classificador foi *Random Forest* (*rf*).

A validação dos dados deu-se por meio da matriz de confusão (Vieira *et al*., 2012). Para gerar o conjunto de amostras de classe 1 (rocha) e classifica-las em cada método, inicialmente baseou-se em 7 amostras independentes (Pontos piloto – Pp) por meio da interpretação visual das imagens CBERS 4A, como aquisição primária para a validação.

RESULTADOS

As rochas localizadas entre a Praia do Vai-quem-quer e a Praia Funda foram evidenciados como exposições das unidades geológicas das Formações Barreiras/Pós Barreias.

As coberturas lateríticas são definidas por sedimentos semi-consolidados com concreções em diversas fases de retrabalhamento erosivo.

Foram observados sedimentos argilo-arenoso marrom avermelhado, com aspecto mosqueado, altamente intemperizados, dispersos localmente nos horizontes arenosos das praias e concentrados em algumas porções as margens dos taludes. Estes aspectos relacionam-se com o descrito anteriormente por França (2003) e João (2013).

Considerando os resultados obtidos pela validação da acurácia, análises visuais de fotointerpretação e registros de campo, a classificação fundamentada no algoritmo *Random Forest* baseada em objetos, obteve o melhor resultado, com melhor distinção entre as classes e delimitações preliminares próximas à classificação pixel a pixel (Figura 1).

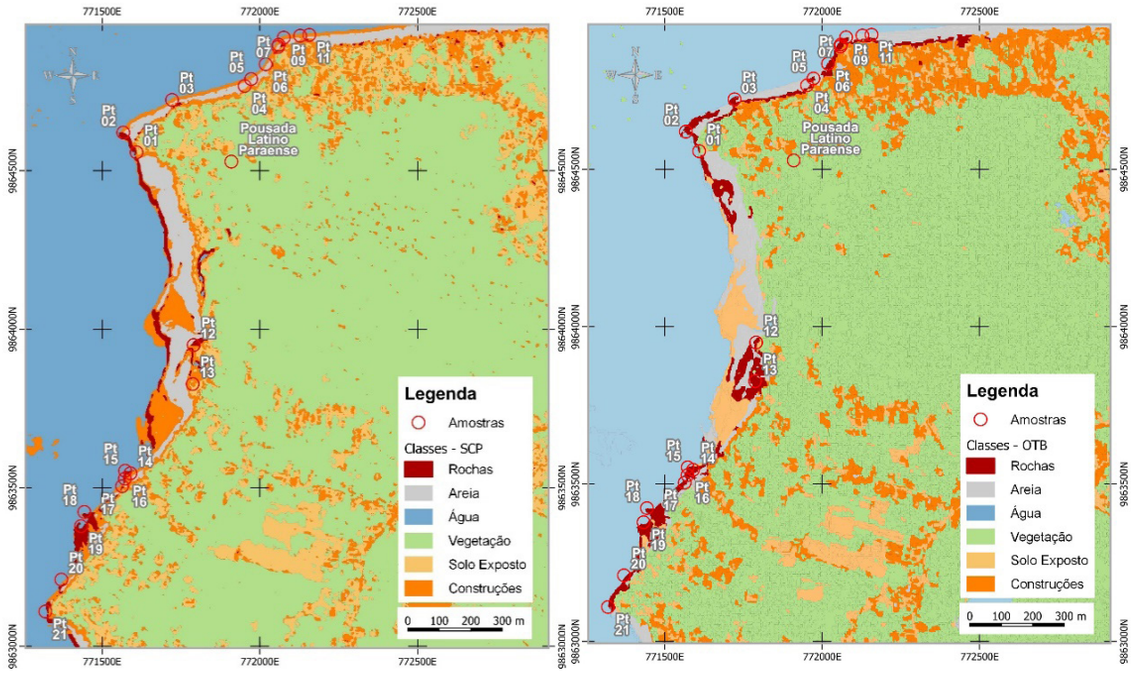
Na classificação supervisionada pelo algoritmo MAXVER resultou em aproximadamente 66% de exatidão global. Para a Classe 1 (Rocha) foi obtido 88% de confiabilidade em acurácia do usuário (AU) e 79% em conformidade segundo a acurácia do produtor (AP).

Na classificação realizada com o algoritmo "*Randon Forest*" foi obtido 77,37% de exatidão global. E para a Classe 1, 92% de confiabilidade em acurácia do usuário (AU) e 85% de conformidade do produtor (AP) (Tabela 1).

DISCUSSÕES

As metodologias utilizadas dispõem de potencialidades para adquirir dados de ocorrências de rochas e que sejam mapeáveis através do sensoriamento remoto e imagens de alta resolução disponíveis gratuitamente.

A análise comparativa indica que a classificação baseada em objetos apresenta melhores resultados, pois considera informações espectrais, espaciais, texturais e contextuais para cada classe, e não apenas grupos de pixels (Ouchra *et al*., 2022).



(a) (b)

Figura 1 - a) Resultado comparativo: metodologias (a) pixel a pixel e (b) orientada a objetos.

Tabela 1 - Matriz gerada para a classificação Randon Forest.

		Validação						Total de amostras	Acurácia do Usuário
	Classes	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**		
R. Forest (OTB)	1 - Rocha	**71**	2	3	0	0	2	**78**	0.920
	2 - Areia	7	**54**	9	5	2	0	**77**	0.816
	3 - Água	2	8	**41**	11	0	0	**62**	0.774
	4 - Vegetação	8	2	11	**48**	0	0	**69**	0.698
	5 - Solo Exposto	0	11	0	0	**25**	0	**36**	0.815
	6 - Construções	0	0	0	4	1	**62**	**67**	0.908
	Total	88	77	64	68	28	64	**389**	
	Acurácia do Produtor	0.855	0.801	0.763	0.689	0.872	0.962		
	Exatidão global	77.37							

Esse método demonstrou eficiência e precisão para mapeamentos geológicos e de exploração mineral em abordagens aplicadas por Mohamed (2016) em modelagem estrutural em larga escala e controle estrutural de veios mineralizados.

Ressalta-se que na região amazônica o espesso manto intempérico dificulta o mapeamento do material rochoso aflorante, em geral este está sob uma camada de solo residual com cobertura vegetal associada. Porém, tais fatores não são impeditivos de um melhor aproveitamento do sensoriamento remoto no mapeamento geológico, havendo necessidade apenas de aprimoramento da técnica em função dos alvos escolhidos.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que o mapa da área de estudo gerado através da classificação orientada a objetos, utilizando as ferramentas do OTB aplicadas na imagem CBERS 4A/WPM, apresentou valores de acurácia melhores que a classificação pixel a pixel. Independentemente dos valores considerados nas outras classes, a classe 1 "Rocha" atingiu o resultado concordante com a amostragem/validação de campo.

O mapeamento geológico com o suporte de técnicas de sensoriamento remoto auxilia no alcance de uma resposta mais descritiva da área avaliada. A conjugação de métodos de mapeamento que potencializem o tempo das atividades de campo e permitam contemplar maiores áreas fornecem resultados de maior aplicação, como na Ilha de Cotijuba. Com potencial de serem adotados como subsídio ao planejamento do uso e ocupação da faixa de praial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Blaschke, T. (2010). Análise de imagem baseada em objetos para sensoriamento remoto. *Jornal ISPRS de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto*, 65, 2-16.

Congedo, L. (2021). Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. *Journal of Open-Source Software,* 6, 64, 3172.

França, C. F. (2003). *Morfologia e mudanças costeiras da margem leste da Ilha de Marajó - (PA)*. 144 f. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Pará, Belém.

Gizdavec, N.; Gasparov, M.; Miko, S.; Luzar, B. (2022). Discrimination of Rock Units in Karst Terrains Using Sentinel-2A Imagery. *Remote Sensing*, 14, 20, 5169.

João, X. S. J. (2013). *Geodiversidade do Estado do Pará*. Belém: Serviço Geológico do Brasil - SGB. Apêndice I, 221-260.

Mohamed, M. V. (2016). Object-Oriented Image Classification Method of Automatic Lineaments Extraction Contribution to Geological Fractures of Anti-Atlas, Morocco. *European Journal of Scientific Research*, 142, 87-104.

Mohammadizad, R.; Arfania, R. (2017). Advanced Investigation of Remote Sensing to Geological Mapping of Zefreh Region in Central Iran. *Open Journal of Geology*, 7, 1509-1529.

Ouchra, H.; Belangour, A.; Erraissi, A. (2022). A Comparative Study on Pixel-based Classification and Object-Oriented Classification of Satellite Image. *International Journal of Engineering Trends and Technology*. 70, 8, 206-215.

Rossetti, D. F.; Góes, A. M.; Souza, L. S. B. (2001). Estratigrafia da sucessão sedimentar Pós-Barreiras (Zona Bragantina, Pará) com base em radar de penetração no solo. *Revista Brasileira de Geofísica*, 19, 2, 113-130.

Silva, E. K. L. R. (2021). *Análises das paisagens da ilha de Cotijuba*: através do mapeamento das unidades geoambientais. 79 f.. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Pará, Belém.

Vieira, M. A.; Formaggio, A. R.; Rennó, C. D.; Atzberger, C.; Aguiar, D. A.; Mello, M. P. (2012). Object Based Image Analysis and Data Mining applied to a remotely sensed Landsat time-series to map sugarcane over large areas. *Remote Sensing of Environment*, 123, 553-562.

TOMOGRAFIA GEOELÉTRICA (ERT) APLICADA AO MONITORAMENTO DE RECARGA ARTIFICAL DO AQUÍFERO ALTER DO CHÃO NA ÁREA DA RESERVA FLORESTAL ADOLPHO DUCKE, NORTE DE MANAUS – AM

Jamile Dehaini[1]; Josué da Silva Costa[2]; Márcio Luiz da Silva[3]; Alderlene Pimentel Brito[3]; Adriana Castro Conceição[3]

[1]Universidade do Estado do Amazonas - UEA; [2] DSEI Médio Rio Solimões e Afluentes – DSEI-MRSA - UEA; [3] Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA

josue.peg@gmail.com; *jdehaini@uea.edu.br*;marciols44@gmail.com; alderlenebrito@gmail.com; dricaoran@gmail.com

RESUMO

Esse trabalho apresenta dados de levantamento geofísico por meio da metodologia da Tomografia Geoelétrica (ERT) aplicado ao monitoramento de injeção de água em subsuperfície do aquífero Alter do Chão, que se encontra inserido na Bacia do Amazonas. O objetivo foi analisar o método para o processo de injeção de água em subsuperfície durante experimento de recarga artificial do aquífero através das mudanças de resistividade elétrica obtidos por perfil de ERT nas proximidades dos três poços de injeção (PI-2m, PI-3m e PI-6m) instalados na área do experimento. O monitoramento foi realizado ao longo do mesmo perfil ERT monitorado, executando medições no período anterior, durante e posterior aos experimentos de injeção de água. No poço PI-2m (2 metros de profundidade), as imagens resultantes dos perfis antes e depois da injeção, mostraram contrastes significativos no experimento com injeção de água, enquanto nos poços de injeção com PI-3m e PI-6m (3 e 6 metros de profundidade respectivamente) os contrastes não foram significativos, provavelmente em função da homogeneidade litológica da unidade, predominantemente argilosa, fator que confere uma característica de semi-impermeabilidade.

PALAVRAS-CHAVE: Geofísica, Eletrorresistividade, Águas Subterrâneas, Monitoramento, Recarga Artificial.

INTRODUÇÃO

A cidade de Manaus está inserida geograficamente na Bacia Hidrográfica Amazônica, considerada o maior potencial hidrológico do planeta. A cidade representa o principal aglomerado urbano da Amazônia Central-Ocidental e é abastecida predominantemente por água captada diretamente do rio Negro, a qual é submetida a processos de

tratamento antes de ser liberada para consumo. Entretanto, para atender às demandas excessivas de abastecimento hídrico (público ou particular), recorre-se há décadas à explotação de água subterrânea, por meio de captação de poços rasos e profundos (30 a 220m de profundidade), da Formação Alter do Chão, na qual está inserido o aquífero homônimo. Esse aquífero, do tipo livre, ocupa uma área de aproximadamente 290.500 km^2 e abrange partes dos estados do Pará, Amapá e Amazonas, sendo fundamental para o abastecimento das grandes cidades dos estados do Pará (Santarém) e Amazonas (Manaus) (ANA, 2015).

Em Manaus, o aquífero Alter do Chão apresenta uma espessura média de aproximadamente 160 metros (Aguiar & Mourão 2012) e estima-se que cerca de 40% do total de água subterrânea explotada na cidade é devida à captação particular (condomínios, órgãos públicos e indústrias). O estudo de Aguiar *et al.* (2002) já fazia um alerta para o excesso de extração de água com agravante processo de impermeabilização da superfície o que contribui para o rebaixamento do topo do aquífero.

Atualmente se discute processos de recarga artificial de aquíferos com águas tratadas para compensar as perdas por explotação. Em geral, as águas subterrâneas apresentam concentrações de sais dissolvidos, o que proporciona contrastes de valores de resistividade elétrica e, assim, permite diferenciá-las de porções rochosas desprovidas de águas intersticiais. Portanto o método da eletrorresistividade torna-se o mais indicado no estudo das propriedades hidrogeofísicas das águas. Esse trabalho apresenta resultados de experimento de recarga artificial monitorado por meio da tomografia geoelétrica, pelo qual procura-se verificar as mudanças de valores de resistividade elétrica em subsuperfície durante processo de injeção de água tratada para o Aquífero Alter do Chão em uma área da Reserva Florestal Adolpho Ducke, Manaus, AM.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se na Reserva Florestal Adolpho Ducke (Figura 1), na qual foi construída uma infraestrutura com três poços de injeção de água para o aquífero com objetivo de simular a condição de recarga artificial em área da Formação Alter do Chão.

Os poços de injeção foram instalados em PVC rígido e possuem dois metros (PI-2m), três metros (PI-3m) e seis metros de profundidade (PI-6m), cada, com quarenta centímetros de diâmetro interno. Os poços têm a extremidade inferior aberta com o objetivo de propiciar a infiltração da água injetada no aquífero local.

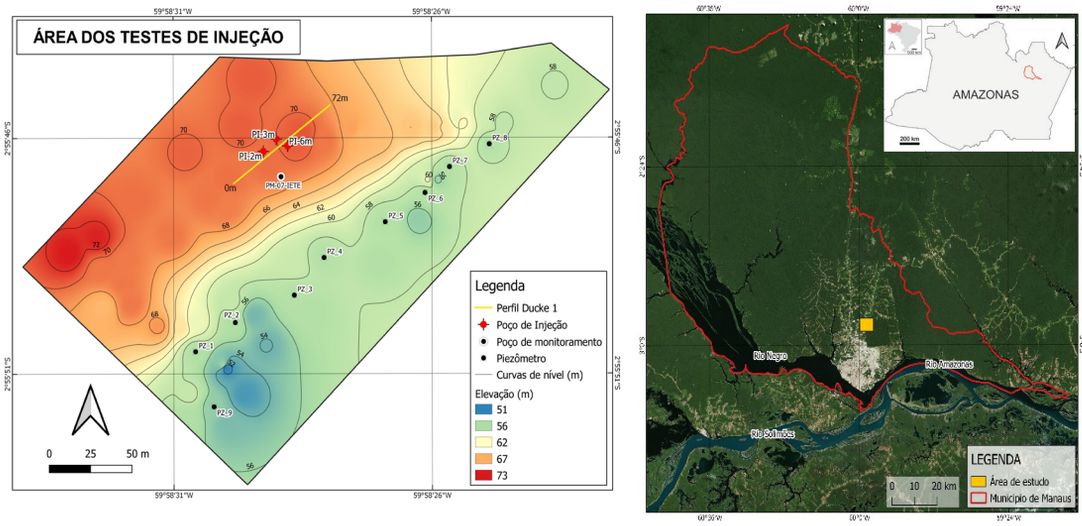


Figura 1 - Mapa com a localização da área de estudo na Reserva Florestal Adolpho Ducke e perfil Ducke 1.

Método da Eletrorresistividade

A eletrorresistividade é um método geofísico que estuda a propriedade física denominada resistividade elétrica correspondente aos diferentes materiais geológicos em subsuperfície, através de medidas por equipamentos dispostos na superfície. A presença de água em subsuperfície proporciona valores de resistividade elétrica menores caso contrário, ausência de água no meio físico correspondem a valores de resistividade elétrica maiores. Conforme os objetivos do estudo existem três diferentes técnicas de medidas as quais variam entre a sondagem elétrica vertical (SEV) e caminhamento elétrico (CE) sendo esse último quando incorporado de tecnologia denominado por Tomografia Geoelétrica (ERT).

A técnica da tomografia geoelétrica é uma adaptação do caminhamento elétrico, desenvolvida em função de equipamentos mais sofisticados. Nesse caso obtém-se uma densidade elevada de medidas de resistividade elétrica da subsuperfície e, portanto, um aumento na resolução dos dados. A operacionalidade em relação ao aumento de leituras se deve à evolução e precisão dos equipamentos com tecnologias que fazem a comutação automática dos eletrodos de emissão de corrente (**AB**), assim como multiplexam os pares de eletrodos de medidas de potencial (**MN**) (Figura 2). Os dados são armazenados em arquivos com formato compatível com os principais softwares de inversão de dados (GANDOLFO, 2007).

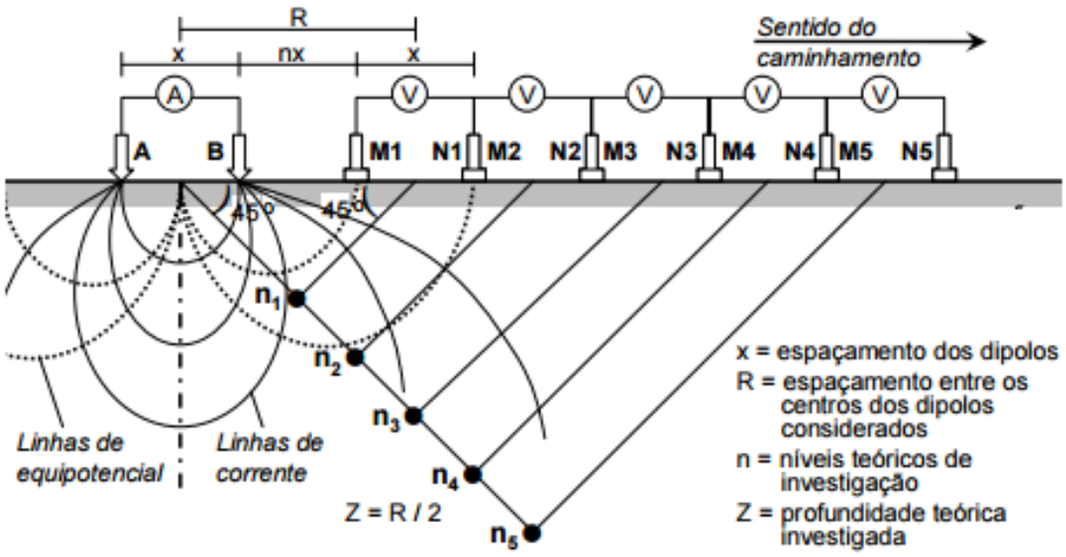


Figura 2 - Disposição dos eletrodos no campo para CE com arranjo dipolo-dipolo exemplificando investigação de cinco níveis de profundidades (BRAGA 2006).

A execução em campo do levantamento pela tomografia geoelétrica é efetuada ao longo de perfis (Figura 2). A apresentação dos resultados é produzida através de pseudo-seções com várias profundidades de investigação obtidas conforme a quantidade de níveis determinados pelos eletrodos **MN**. A interpretação dos dados processados resulta da visualização das pseudo-seções que proporcionam informações qualitativas sobre a posição espacial dos corpos em subsuperfície.

O equipamento de tomografia geoelétrica utilizado foi o SYSCAL KID SWITCH-24 (IRIS Instruments).

RESULTADOS

Foi executado o perfil ERT antes da injeção, outro durante e, por último, após a finalização de injeção de água para o aquífero através do poço de injeção PI-2m, com profundidade de dois metros.

A Figura 3 apresenta as imagens de tomografia geoelétrica nas quais o ponto de injeção corresponde ao poço de injeção de água de 2 metros de profundidade. Foram injetados 90 litros de água no poço de infiltração, que demorou 90 minutos para infiltrar completamente toda a água em seu interior. A mudança nas imagens do dia 19/08/2022 são evidentes durante e após a injeção de água e correspondem à infiltração e presença de água no meio físico em subsuperfície.

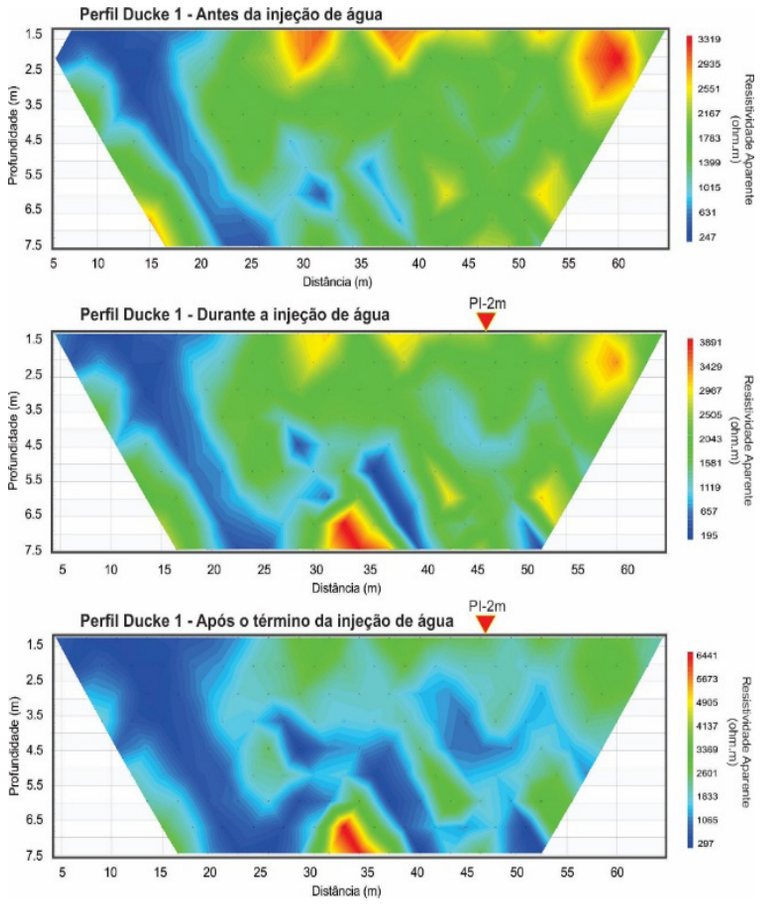


Figura 3 - Imagens do monitoramento temporal a partir da tomografia geoelétrica executada ao longo do Perfil Ducke 1: a) antes; b) durante e; c) após a injeção de água no **PI-2m de injeção** (2 metros de profundidade) para o aquífero no dia **19/08/2022**.

A infiltração da água em subsuperfície durante e após o processo de injeção é claramente visualizada pela mudança de cor para predomínio azulado na imagem, correspondente a valores menores de resistividade elétrica. Nesse caso, a injeção de água proporcionou o resultado apresentado na figura 3, pelo qual observa-se o comportamento esperado, ou seja, a diminuição da resistividade elétrica durante e após o processo de infiltração da água.

A Figura 4 apresenta as imagens de ERT correspondentes à bateria do experimento a partir do poço de injeção de três metros de profundidade no dia 30/09/2022.

Nesse caso a mudança também é evidente no perfil **Perfil Ducke 1C** após injeção do **PI-3m**, com base nas cores, onde a cor azulada representa os valores menores de resistividade corresponde à presença de água. Nessa bateria foram injetados 21 litros de água, que demoraram 120 minutos para a completa infiltração no PI-3m. Observa-se que o perfil após injeção de toda água no poço há uma mudança na distribuição dos valores de resistividade.

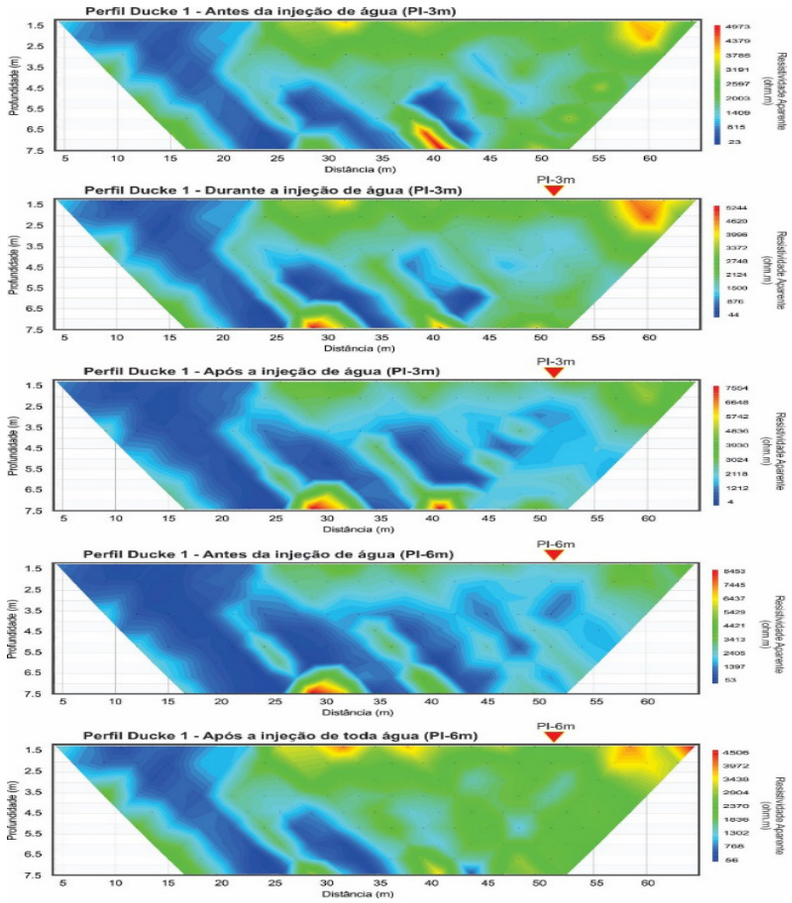


Figura 4 - Monitoramento temporal através de tomografia geoelétrica ao longo da mesma linha antes, durante e após a injeção de água no **PI-3m** (3 metros de profundidade) para o aquífero no dia **30/09/2022**.

A Figura 5 apresenta as imagens de ERT correspondentes à bateria do experimento no poço de injeção de 6 metros de profundidade no dia 07/10/2022.

Visualmente (Figura 5) pelas cores e pela distribuição de valores de resistividade nos gráficos não foram observadas mudanças durante e após a injeção de água no PI--6m, isso significa que o contraste entre a água de injeção e o meio não foi suficiente para uma visualização a partir do perfil geoelétrico.

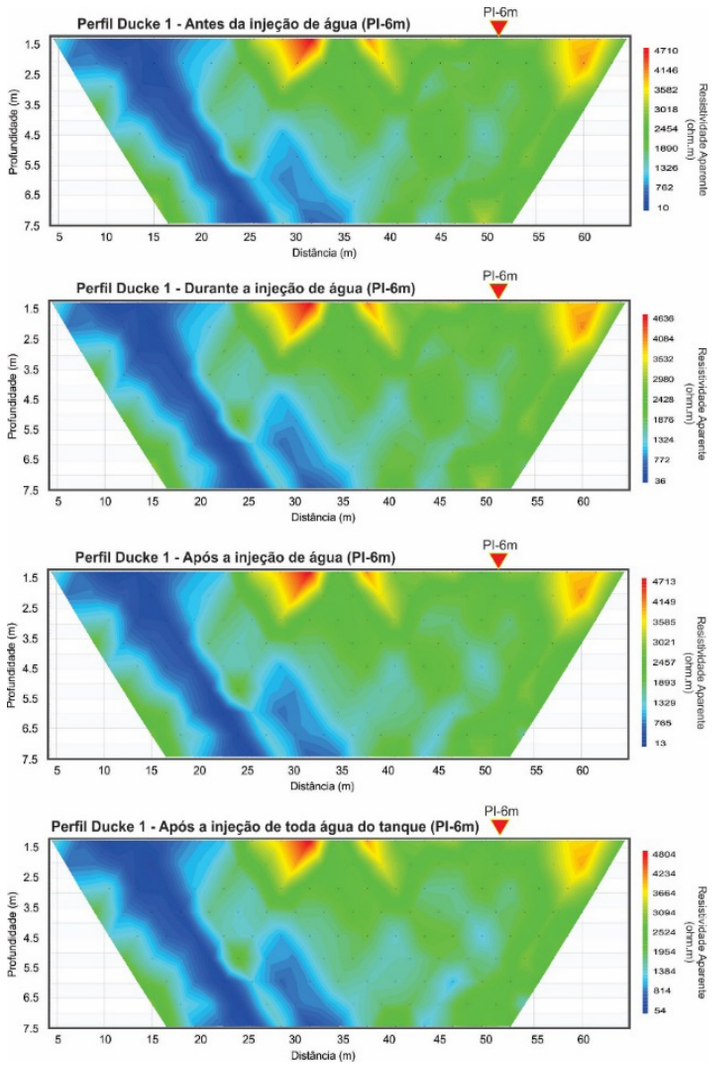


Figura 5 - Monitoramento temporal através de tomografia geoelétrica ao longo da mesma linha antes, durante e após a injeção de água no **PI-6m de injeção** para o aquífero no dia **07/10/2022**.

DISCUSSÕES

As análises dos perfis foram qualitativas e baseadas em contrastes de cores e distribuição dos valores de resistividade elétrica nos gráficos. Foi possível observar, na maior parte das imagens obtidas, mudança nos valores de resistividade elétrica devido à presença de água em subsuperfície, representada pelo aumento da predominância de cor azul. Em todos os perfis obtidos durante e após a injeção no poço de 2 e 3 metros de profundidade a mudança nos valores de resistividade elétrica foram evidentes. Nos experimentos correspondentes ao poço de injeção de seis metros de profundidade as imagens não apresentaram evidentes mudanças como aumento de valores menores nos gráficos.

A Formação Alter do Chão por suas características de heterogeneidade com possibilidade de ocorrências de lentes argilosas pode conferir um comportamento físico ao meio em subsuperfície semi-impermeável e, portanto, com maior dificuldade de infiltração da água. Nesse caso quando os experimentos correspondiam à injeção do poço de seis metros de profundidade provavelmente nessa profundidade ocorre maior predominância argilosa.

CONCLUSÕES

O método da eletrorresistividade tem sido aplicado a partir de tomografia geoelétrica na área do experimento de recarga artificial na Reserva Florestal Adolpho Ducke, com o objetivo de monitoramento de mudanças físicas, especificamente, mudanças de valores da resistividade elétrica a partir do início do experimento de injeção de água tratada.

A partir execução do mesmo perfil de Tomografia Geoelétrica antes, durante e após os experimentos de injeção de água no aquífero através dos poços foram geradas imagens de distribuição de valores de resistividade elétrica as quais claramente apresentaram mudanças nos valores de resistividade elétrica principalmente nos experimentos realizados nos poços de dois e de três metros. No entanto no poço de injeção de 6 metros de profundidade as mudanças não foram visualizadas. Provavelmente essas diferenças estão relacionadas às características litológicas do meio em subsuperfície.

Essas diferenças detectadas da execução da tomografia geoelétrica em área da Formação Alter do Chão possibilitam entender de forma significativa o comportamento hidrogeológico na área além do que uma sondagem mecânica ou um poço de monitoramento proporcionam, já que esses são pontuais. Enfim a varredura da área com tomografia geoelétrica proporciona um entendimento complementar aos levantamentos pontuais de caracterização direta.

Com o aumento desordenado da utilização do recurso hídrico subterrâneo podem proporcionar prejuízos irreversíveis para o aquífero. Diante deste fato faz-se necessário a utilização de ferramentas que auxiliem aos órgãos gestores na aplicação de instrumentos que monitorem e garantam um nível aceitável de exploração visando à preservação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Águas – ANA. (2015). Avaliação dos Aquíferos das Bacias

Sedimentares da Província Hidrogeológica Amazonas no Brasil (escala 1:1.000.000) e Cidades Pilotos (escala 1:50.000). Volume III – Hidrogeologia e Modelo Numérico de Fluxo da PHA no Brasil. Brasília: ANA, SIP.

Aguiar, C. J. B.; Horbe, M. A.; R Filho, S. F.; Lopes, E. S.; Moura, U. F.; Andrade, N. M.; Diógenes, H. S. *Carta hidrogeológica da cidade de Manaus*. Manaus, Serviço Geológico do Brasil, 2002. p. 1-4.

Aguiar, C. J. B. Mourão, A. (2012). Relatório diagnóstico Aquífero Alter do Chão no Estado do Amazonas, Bacia Sedimentar do Amazonas. In: C. J. B. Aguiar, M. A. A. Mourão (Eds.), *Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas.* Belo Horizonte: CPRM – Serviço Geológico do Brasil. (Coleção de Relatórios-Diagnóstico dos Aquíferos Sedimentares do Brasil).

Braga, A. C. O. *Métodos Geoelétricos Aplicados nos estudos de Captação e Contaminação das Águas Subterrâneas.* Instituto de Geociências e Ciências Exatas – IGCE, Departamento de Geologia Aplicada – DGA. UNESP. Rio Claro, p.79. 2007.

Gandolfo, O.C.B. (2007). Um Estudo do Imageamento Geoelétrico na Investigação Rasa. *Tese de doutorado*. Programa de Pós-graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia. IGC/USP.

ASSINATURA GEOFÍSICA DAS ROCHAS BASÁLTICAS DA FORMAÇÃO APOTERI, BACIA DO TACUTU – RORAIMA

Guiecke dos Santos Nascimento[1]; Lorena Malta Feitoza[1]; Caio Rodrigues Bezerra[1]; Carlos Eduardo Lucas Vieira[1]; Vladimir de Souza[1]

[1]Universidade Federal de Roraima - UFRR

guieckee@gmail.com; lorena.malta@ufrr.br; *caio.rodrigues@ufrr.br*; *carlos.vieira@ufrr.br*; *vladimir.souza@ufrr.br*

RESUMO

A Bacia do Tacutu está localizada na região fronteiriça entre Brasil e Guiana, apresentando uma largura média de 30 a 50 km, com extensão para NE-SW por aproximadamente 280 km, compreendendo os municípios de Boa Vista, Bonfim e Normandia (Roraima), prolongando-se em território Guianense até o Rio Essequibo. O arcabouço compreende rochas sedimentares e vulcano-sedimentares admitindo sete principais unidades litoestratigráficas que compreendem desde o Mesozoico (Formações Apoteri, Manari, Pirara, Tacutu e Serra do Tucano) até ao Cenozoico (Formações Boa Vista e Areias Brancas). A unidade mais antiga da bacia é a Formação Apoteri que ocorre, na porção brasileira, na serra Nova Olinda, no morro Pau Rainha no morro do Redondo e nos leitos dos rios Arraia e Tacutu. As informações disponíveis sobre a Formação Apoteri ainda são bastante limitadas, principalmente no que diz respeito a dados geofísicos. Grande parte dos trabalhos realizados nesta Formação tem ênfase no mapeamento geológico, compreendendo a caracterização e datação destas rochas, poucos foram aqueles que utilizaram parâmetros geofísicos para identificar e avaliar as rochas vulcânicas, determinando as assinaturas gamaespectrométricas e magnetométricas. Os produtos aerogeofísicos apresentam anomalias positivas associadas as rochas basálticas da Formação Apoteri. Estudos petrográfico indicam uma matriz composta predominantemente por ripas de plagioclásio. Neste contexto, o uso de dados aerogeofísicos integrados a dados geológicos é uma alternativa que pode propiciar maior riqueza de detalhes aos dados já existentes, fornecendo subsídios para futuras interpretações e discussões sobre o arcabouço tectônico e a evolução geodinâmica da Bacia do Tacutu.

PALAVRAS-CHAVE: Embasamento; Bacia do Tacutu; Roraima.

INTRODUÇÃO

A Formação Apoteri é uma unidade vulcânica da Bacia do Tacutu, localizada na fronteira entre Roraima (Brasil) e o distrito de Rupununi (Guiana) (Figura 1). É composta por basaltos toleíticos cinza-escuros a esverdeados, afaníticos e frequentemente amigdaloidais, com amígdalas preenchidas por clorita e calcita conforme Eiras 1994. Segundo o mesmo autor os derrames ocorrem em sucessão, com intercalações sedimentares, e feições como *pillow lavas* indicam extrusões subaquáticas.

No ano de 1981 a Petrobras efetuou furos exploratórios na Bacia do Tacutu e no poço denominado 1-TU-1-RR de 385 metros profundidade, foram registrados 18 pulsos magmáticos. Estudos geocronológicos utilizando o método Ar-Ar por LA-ICP-MS indicam idades de 149.5 ± 0.3 Ma (Jurássico), associadas ao magmatismo da abertura do Atlântico Central de acordo com Eiras 1994.

Estratigraficamente, representa a fase pré-rifte da bacia, marcada por espessura vulcânica homogênea e ausência de compartimentação estrutural expressiva. A subsidência gerada pelo empilhamento basáltico permitiu a deposição da Formação Manari. Eventos transcorrentes no Mioceno/Plioceno deformaram a seção mesozoica e podem estar relacionados à fraturação de basaltos.

Os basaltos Apoteri afloram ao longo das bordas leste e sul do gráben, entre o rio Essequibo (Guiana) e a cidade de Boa Vista (RR). O perfil-tipo em subsuperfície corresponde ao intervalo entre 2.044 e 2.428 metros no poço 1-TU-1-RR. A inexistência de estudos que correlacionam os dados geológicos e geofísicos nas rochas vulcânicas da Formação Apoteri representam uma lacuna significativa no conhecimento geocientífico da Bacia do Tacutu, especialmente no que se refere à caracterização e diferenciação dos distintos eventos vulcânicos registrados na unidade.

Nesse contexto, a assinatura geofísica a partir dos dados gamaespectrométricos e magnetométricos, configura-se como um parâmetro essencial à caracterização geológica da Formação Apoteri, uma vez que permite a identificação de contrastes litológicos, variações composicionais e zonas de alteração associadas.

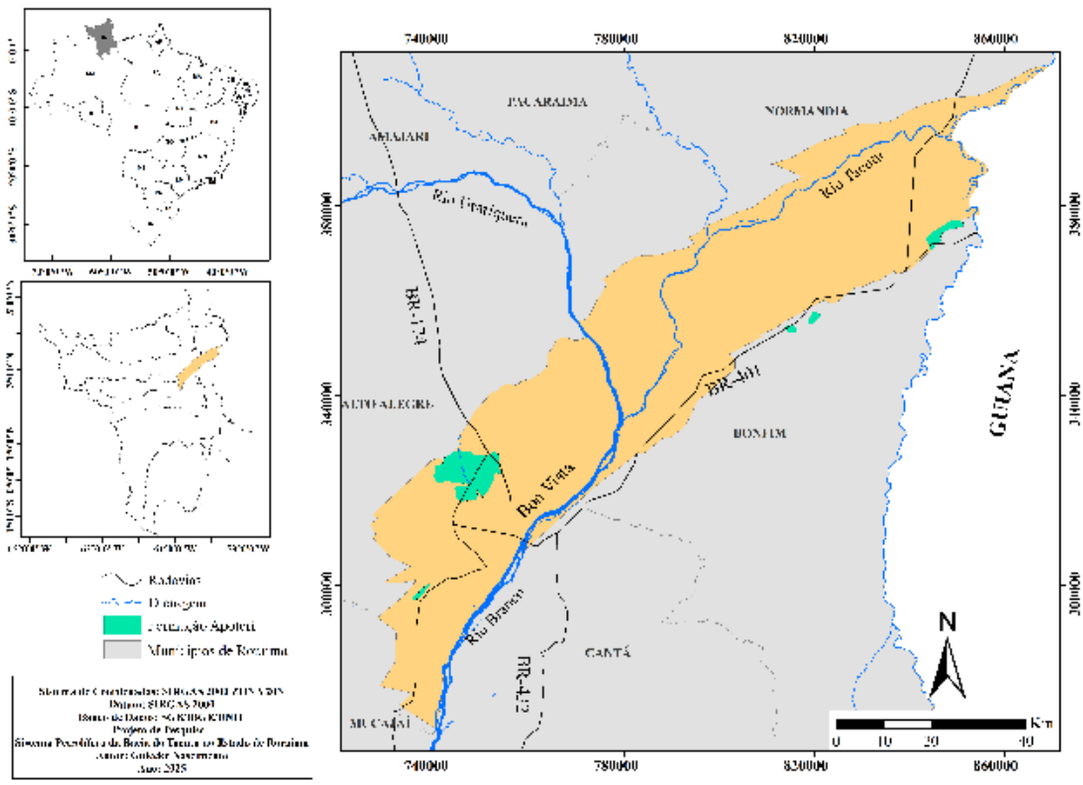


Figura 1 Mapa de localização da área de estudo, com destaque nos corpos aflorantes da Formação Apoteri.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados altimétricos da área de estudo foram obtidos a partir de imagens do sensor radar de abertura sintética (SAR) do satélite Sentinel-1, com resolução espacial de 30 metros. As imagens multiespectrais foram provenientes do sensor MSI (Multispectral Instrument) do satélite Sentinel-2. As cenas foram obtidas por meio de download na plataforma Copernicus Open Access Hub, mantida pela União Europeia, e processadas utilizando o software ArcMap, versão 10.6.2 (ESRI®, 2014), disponível no Laboratório de Ensino de Geociências (LABENGEO) da Universidade Federal de Roraima (UFRR).

Os dados aerogeofísicos correspondem ao banco de dados do Projeto Aerogeofísico Centro-Leste de Roraima (CPRM, 2011) e foram processados utilizando o software Oasis Montaj – v. 8.3 (Geosoft®, 2015), disponível no LABENGEO. O processamento dos dados teve início com a definição da célula de interpolação definida por Vasconcelos *et al*. (1990), sendo adotado um valor de 125 metros para as células das malhas, o que equivale a ¼ do espaçamento entre as linhas de voo.

O método de interpolação adotado para os dados gamaespectrométricos foi o de curvatura mínima, transformando os dados numa malha regular. A partir da interpolação dos dados, foi possível obter os seguintes produtos de espectrométricos: imagens dos canais do potássio (K - %), do tório (eTh - ppm) e do urânio (eU - ppm); imagem do canal de contagem total (CT) e imagem compostas em falsa cor RGB (*red-green-blue*). A fim de remover erros residuais, como altas frequências e possíveis ruídos, que não estão associados à informação geofísica/geológica, aplicou-se o filtro *Hanning* 3x3 nos produtos. Nos dados magnetométricos, o método de interpolação foi o bi-direcional, um algoritmo eficiente que explora a correlação linha a linha dos dados, aplicando interpolação com splines cúbicos perpendiculares a direção das linhas de voo. Os dados foram interpolados ao longo das linhas de voo, em um intervalo igual ao espaçamento da célula definido para os dados, e foi aplicado um filtro passa-baixa para remover picos e prevenir o falseamento. Com o objetivo de reduzir os erros e melhorar a qualidade do nivelamento aplicou-se então a técnica de micronivelamento proposta por Minty (1991). Para a realização do micronivelamento, utilizou-se a rotina desenvolvida por Blum (1999) microlevel.gs, realizada da seguinte maneira: aplica-se um filtro passa-baixa na malha A (original) na direção das linhas de voo e o resultado é guardado na malha B (comprimento de onda é no mínimo duas vezes a distância das linhas de voo). Em seguida, utilizou-se um filtro passa-alta sobre a malha B na direção perpendicular as linhas de voo, guardando o resultado na malha C (comprimento de onda é no mínimo a distância das linhas de controle). E por fim, a malha C foi subtraída com a malha A, pois a malha C contém erros residuais que devem ser retirados. Após a subtração, obtêm-se a malha final D com os valores corrigidos. Em seguida, foi gerado o primeiro produto, o campo magnético anômalo (CMA) e a partir desse produto foi gerado a redução ao equador e ao polo magnético e as derivadas de primeira ordem nas três direções: Dx, Dy (horizontais) e Dz (vertical). Foi calculado o módulo do vetor intensidade do campo magnético residual, gerando o produto da Amplitude do Sinal Analítico (ASA). Utilizando apenas as derivadas horizontais, foi possível gerar a Amplitude do Gradiente

Horizontal Total (AGHT), representando a taxa de variação lateral das fontes magnéticas, o que por fim, possibilitou a obtenção do produto da Inclinação do Sinal Analítico (ISA). Após a geração dos produtos magnetométricos, os produtos foram filtrados com o filtro *Hanning* 3x3, com o objetivo de reduzir os sinais de alta frequência.

A etapa de trabalho de campo foi efetuada em dez pontos ao longo de dois corpos aflorantes representativos da Formação Apoteri. Nesse mesmo contexto, efetuou-se a coleta sistemática de amostras litológicas, posteriormente utilizadas na confecção de oito lâminas petrográficas no Laboratório de Laminação (LABLAM) da UFRR. As lâminas produzidas foram analisadas e descritas no Laboratório de Petrografia (LABPETRO) da UFRR.

RESULTADOS

Os produtos gamaespectrométricos indicaram que os corpos aflorantes da Formação Apoteri apresentam, em geral, anomalias positivas nos teores de K(%), as quais demonstram notável concordância com os limites litológicos previamente mapeados para essas unidades (Figura 2).

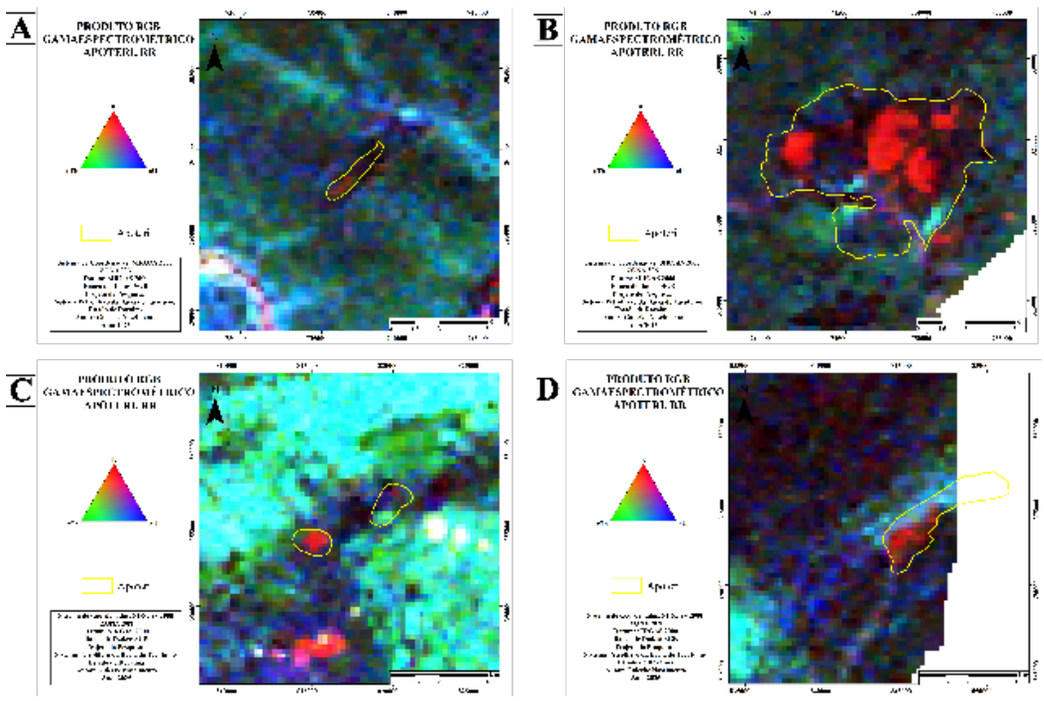


Figura 2. Imagem ternária RGB com destaque nos principais corpos aflorantes da Formação Apoteri. A) Pau Rainha. B) Nova Olinda. C) Morro do Redondo. D) Arraia

No produto magnetométrico Amplitude do Sinal Analítico (ASA), os corpos atribuídos à Formação Apoteri apresentaram predominância de anomalias positivas ao longo de praticamente toda a área previamente delimitada. Adicionalmente, foram identificadas ocorrências pontuais com assinaturas magnéticas intermediária, possivelmente relacionadas a variações composicionais ou estruturais locais (Figura 3).

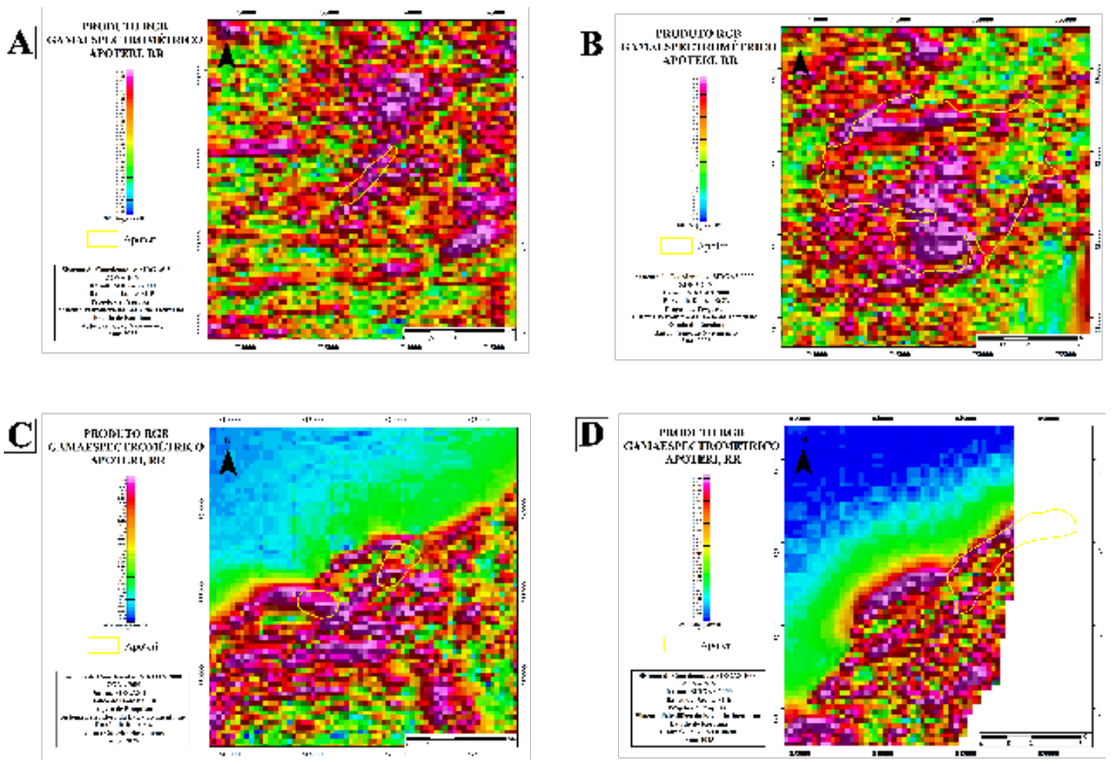


Figura 3. Produto ASA com destaque nos principais corpos aflorantes da Formação Apoteri. A) Pau Rainha. B) Nova Olinda. C) Morro do Redondo. D) Arraia.

Na análise petrográfica observou-se uma matriz composta predominantemente por ripas de plagioclásio com maclas do tipo Carlsbad, variações dimensionais de 0,1 mm a 1,5 mm. Os cristais de piroxênio ocorrem de forma dispersa ao longo das lâminas, geralmente com morfologia subédrica. É possível identificar cristais pontuais de titanita com hábito anédrico. A presença de minerais opacos é marcante, sendo que alguns exibem formas cúbicas bem definidas, embora a maioria se apresente com hábito anédrico (Figura 4).

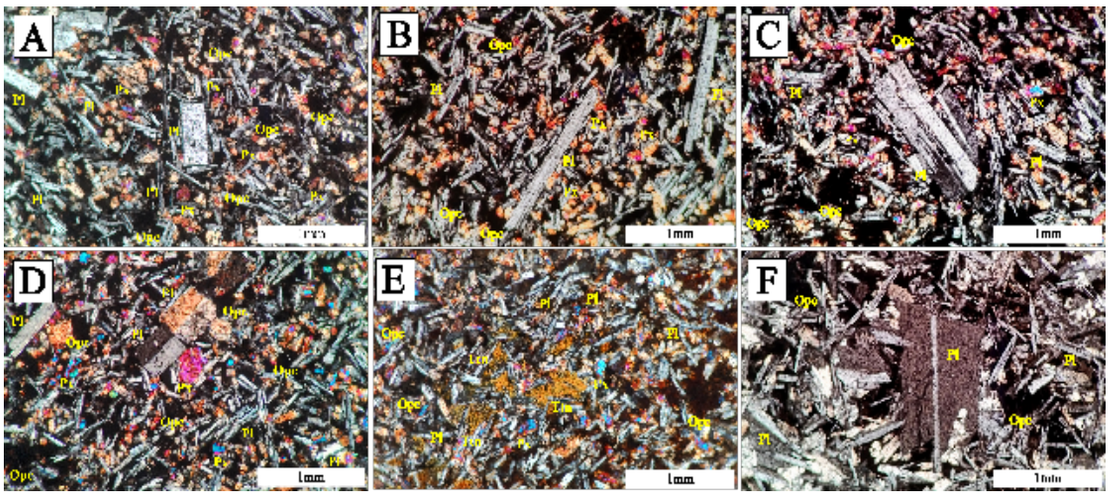


Figura 4. Petrografia das amostras de basaltos coletadas da Formação Apoteri, destacando os principais minerais encontrados.

DISCUSSÃO

A análise integrada dos dados petrográfico e aerogeofísicos da Formação Apoteri indica que as anomalias positivas de K observadas na imagem ternária RGB estão relacionadas com as rochas basálticas.

Já as anomalias positivas no produto magnetométrico são atribuídas à presença significativa de minerais ferromagnéticos presentes nas rochas basálticas.

De Acordo com Oliveira (2023) os basaltos da Formação Apoteri mostram enriquecimento em elementos como Rb, Ba, K e elementos terras raras leves (LREE) em relação aos elementos terras raras pesados (HREE). Sugere-se que as anomalias positivas interpretadas na imagem ternária RGB estão relacionadas a esse enriquecimento. A variação textural e composicional entre os pulsos magmáticos Ap1 e Ap2 pode influenciar nas assinaturas geofísicas, destacando o papel da diferenciação magmática e de processos pós-magmáticos na geração das anomalias. Esses resultados demonstram a eficácia da abordagem integrada para a caracterização geofísica geológica da Formação Apoteri.

CONCLUSÕES

A técnica de integração de dados aerogeofísicos e petrográfico foi eficaz na caracterização da Formação Apoteri. Essa integração permitiu identificar assinaturas geofísicas compatíveis com os litotipos máficos da formação, correlacionando anomalias positivas — como elevados teores de potássio (K) e variações no produto ASA — com a ocorrência de basaltos toleíticos, frequentemente oxidados e com textura afanítica.

Estudos aprofundados serão necessários para uma melhor caracterização e diferencial dos corpos e seus respectivos pulsos magmáticos para entender a evolução tectônica da área. Compreender essas particularidades é fundamental para reconstruir, a evolução tectono-magmática da área de estudo e seu papel no contexto geodinâmico da Bacia do Tacutu e do rifte mesozoico que a originou.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal de Roraima, ao Laboratório de Ensino de Geociências, Laboratório de Petrografia, Laboratório de Laminação e ao Programa de Iniciação Científica da UFRR.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Blum, M. L. B. (1999). Processamento e interpretação de dados de geofísica aérea no Brasil Central e sua aplicação à geologia regional e à prospecção mineral. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 229p.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. (2011). Projeto Aerogeofísico Centro-leste de Roraima. Relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. Brasília, 226.

Eiras, J. F., Kinoshita, E. M., e Feijó, F. J. (1994). Bacia do Tacutu. *Boletim de Geociências da Petrobrás, 8*, 83-89.

Minty, B. R. S. (1991). Simple Micro-Levelling for Aeromagnetic Data. *Expl. Geoph.*, 22, 591 – 592.

Oliveira, S.L.S., Souza, V.S. (2023). Contribuição à petrogênese do magmatismo basáltico Apoteri, rifte Tacutu (RR). (Dissertação de Mestrado). Brasília. 24-59.

Pinto, V. M., Santos, J. O. S., Ronchi, L. H., Hartmann, L. A., Bicudo, C. A., e Souza, V. (2017). Field and geochemical constraints on the relationship between the Apoteri basalts (northern Brazil, southwestern Guyana) and the Central Atlantic Magmatic Province. *Journal of South American Earth Sciences*, 79, 384–393.

Vasconcelos, R. M.; Metelo, M. S.; Mota, A. C.; Gomes, R. D. (1990). Geofísica em levantamentos geológicos. Relatório DIGEOF/CPRM, Rio de Janeiro.

GEOFÍSICA AMBIENTAL EM ANTIGA ÁREA DE DISPOSIÇÃO MUNICIPAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE BOA VISTA, RORAIMA, BRASIL

Karolina Thalita Ramires Rocha[1]; Lena Simone Barata Souza[1]

[1]Universidade Federal de Roraima-UFRR

karolinaramiresr@gmail.com; lenabarata@yahoo.com.br

RESUMO

Na cidade de Boa Vista, capital de Roraima, até meado do ano 2000 descartava seus Resíduos Sólidos Urbanos-RSU em área irregular, conhecida como lixão. A decomposição dos RSU gera o chorume que polui o solo e as águas subterrâneas e superficiais. Os fatores clima, litologia, topografia e nível do lençol freático influenciam na dispersão do contaminante no meio, trazendo transtornos à população. Além de que, o acumulo do lixo urbano com o passar dos anos transforma-se em depósitos tecnogênicos. Com o crescimento urbano de Boa Vista, a área anteriormente ocupada por um lixão foi transformada, em 2005, no bairro residencial São Bento, onde também se encontram uma estação de tratamento de esgoto (ETE) e uma usina de asfalto desativada, ambas com potencial de contaminação. O bairro é delimitado pelos igarapés Grande e Paca, afluentes do rio Branco, e apresenta geologia composta pela Formação Boa Vista e Depósitos Aluvionares. Para investigar a pluma de contaminação do bairro, foi utilizado o método geofísico da eletrorresistividade, uma técnica não invasiva e de baixo custo para investigação em subsuperfície, através da Sondagem Elétrica Vertical (SEV), com arranjo *Schlumberger*. No total foram realizadas 11 SEVs, visando identificar assinaturas geoelétricas de contaminação. Os resultados encontrados indicaram que valores de resistividade inferiores a 500 Ωm, foram associados aos contaminantes, chorume e hidrocarbonetos, sendo registrados nas porções N, NE e E da área, ao longo de 55 metros de profundidade, próximo aos depósitos tecnogênicos e à usina de asfalto. Nas demais áreas, os valores refletiram apenas a variação litológica.

PALAVRAS-CHAVE: Contaminação; Eletrorresistividade; Depósitos Tecnogênicos; Roraima.

INTRODUÇÃO

O descarte adequado dos resíduos sólidos urbanos (RSU) tem sido cada vez incansavelmente discutido em todo mundo, e no Brasil não é diferente. Normalmente, os resíduos sólidos são despejados em terrenos irregulares/baldios, chamados lixões, ondem ficam a céu aberto, sem impermeabilização do solo ou controle dos materiais depositados. E quando estes são decompostos dão origem a um líquido escuro, de forte

odor e rico em metais pesados, chamado lixiviado ou chorume. Sua produção e dispersão são influenciadas pelas chuvas, geologia, topografia e lençóis freáticos, podendo contaminar o solo, as águas superficiais e subterrâneas. Por isso, áreas de disposição de resíduos são estudadas para avaliar o nível de poluição e mitigar seus impactos (Elis; Zuquette, 2002). O uso da geofísica no âmbito ambiental vem sendo muito utilizada no contexto de áreas de alocação e destinação de RSU (ativos ou desativados). Segundo Gallas *et al*. (2005), a condução elétrica por íons é favorecida em ambientes enriquecidos com eletrólitos, como o chorume, indicando maior condutividade elétrica e possíveis indícios de contaminação.

A opção por investigações geofísicas por meio do uso de métodos elétricos em terrenos utilizados para disposição de RSU tem-se mostrado extremamente eficazes no Estado de Roraima (Guimarães; Souza, 2022; Souza; Andrade, 2018). Desta forma, fez-se uso da eletrorressistividade com o intuito de mapear as assinaturas elétricas relacionadas a pluma de contaminação vigente na antiga área de alocação de lixo do bairro residencial São Bento, zona oeste, da cidade de Boa Vista/RR.

METODOLOGIA

Área de estudo

A área de estudo está inserida no município de Boa Vista, capital do estado de Roraima, cuja porção investigada perfez a região urbana, bairro São Bento, zona oeste da cidade, margem direita da BR-174, sentido Boa Vista/RR-Manaus/AM, sendo que em trecho urbano recebe o nome de Av. Brasil (Figura 1).

Geologicamente, o local está posicionado sobre as unidades do Cenozoico, destacando-se a Formação Boa Vista caracterizada rochas arenosas, argilíticas e conglomeráticas, sendo comum a presença de concreções lateríticas. Além dos Depósitos Aluvionares que se distribuem nos leitos e terraços das principais drenagens da região, são areias, cascalhos e em menor frequência, argilas (Vaz *et al*., 2007; Reis *et al*., 2003).

Uma parte do bairro já correspondeu ao antigo lixão de Boa Vista, em operação até o ano de 2002, quando foi desativado com a inauguração do atual aterro municipal. Após o encerramento, o local ainda recebeu, por determinado período, resíduos específicos que demandavam tratamento prévio antes de sua disposição final no aterro (Chaves, *et al*. 2020).

Entre os anos de 2002 até 2005, a região passou por várias sequencias de invasões, até se tornar oficialmente um bairro. É importante frisar que a área mesmo tendo se tornado um bairro, é totalmente irregular, pois além de ter sido usada como lixão da capital roraimense, possuía também uma Estação de Tratamento de Esgoto-ETE e Usina de Asfalto, além de fazer divisa com Área de Proteção Permanente-APP e ser circundada pelos igarapés Paca e o Grande, que desaguam no principal corpo hídrico de Roraima, o rio Branco.

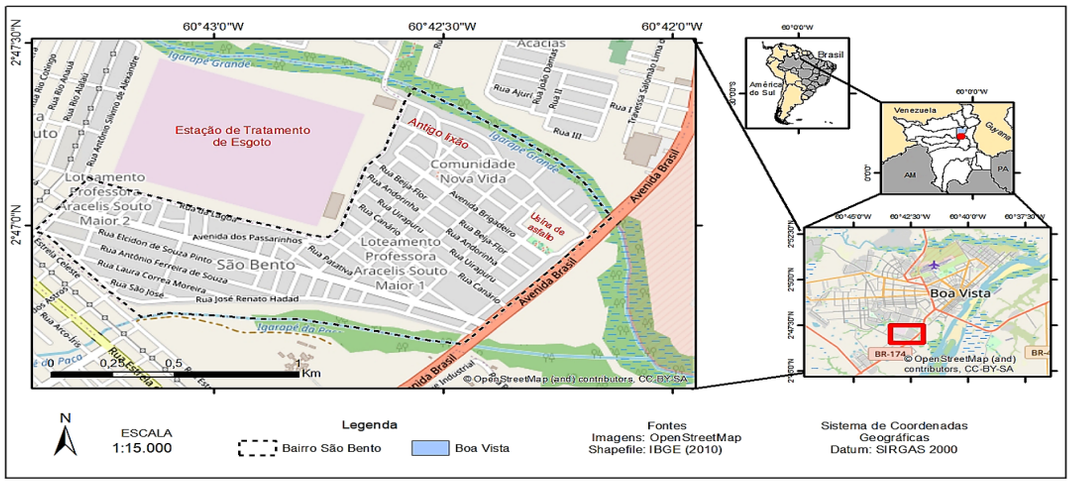


Figura 1 – Localização da área de estudo (bairro São Bento, zona oeste, município de Boa Vista/RR).

2.2 Materiais e métodos

Os levantamentos geofísicos foram realizados através da técnica da Sondagem Elétrica Vertical-SEV com arranjo *Schlumberger*, utilizando o equipamento Resistivímetro GeoTest RD-1000A. O ensaio geofísico resultou na coleta de 11 SEVs distribuídas ao longo do bairro São Bento.

A técnica aplicada consistiu no uso de 4 eletrodos fincados na superfície do terreno, sendo que os 2 eletrodos "externos" (A e B) é introduzida a corrente elétrica (I) e outros 2 eletrodos "internos" (M e N) é medido a diferença de potencial resultante (ΔV), permitindo assim determinação da resistividade elétrica aparente (ρ_a), uma vez que o subsolo é heterogêneo.

Os valores medidos foram empregados no cálculo da resistividade elétrica aparente, considerando também o coeficiente geométrico (k), conforme expresso na equação 1:

$$\rho a = k\frac{\Delta V}{i} \quad \text{(equação 1)}$$

Posteriormente, os dados foram processados nos *softwares IPI2Win*, utilizado para estimar as espessuras das camadas geológicas em profundidade, e *Surfer 13*, empregado na modelagem 3D do comportamento do fluido contaminante em subsuperfície. Além, do *ArcScene* aplicado

para sobrepor as imagens geradas e criar o mosaico de isópaca geoéletrico.

RESULTADOS

Ao todo foram realizadas 11 SEVs no bairro São Bento. Estas agrupadas em 4 Grupos Geoelétricos-GG (Figura 2), de acordo com a sua proximidade aos focos de contaminação da área, a geologia e geometria da curva de resistividade.

O grupo GG1 formado pelas SEVs 1, 2, 3 e 5. Estas foram efetuadas nas porções norte e nordeste da área de estudo, região do antigo lixão. As leituras realizadas alcançaram profundidade máxima de 55 m, com ρa entre 86-6.000 Ωm.

Já o grupo GG2 englobou apenas uma sondagem, a SEV 4. Esta realizada na porção leste área. A profundidade máxima alcançada de investigação foi de 42m e ρa, variando de 12-418 Ωm.

O GG3 fora constituído também por uma sondagem, a SEV 8, sendo localizada na zona sul da área mapeada. A sondagem alcançou os 24 m de profundidade, com ρ_a de 5.000 a 9.800 Ωm.

E o GG4, composto pelas SEVs 6, 7, 9, 10 e 11, prospectadas na região oeste da área. Os níveis de profundidades foram de até 24 metros e ρ_a oscilando de 640 Ωm a 11.200 Ωm.

DISCUSSÕES

A configuração geoelétrica proposta para a área mostrou que o GG1, prospectado sobre e/ou próximo aos depósitos tecnogênico, com resistividade de $86<\rho_a<6.000$ Ωm, a profundidade de até 55 m. Tal situação fora relacionada a presença do chorume, mesmo com a desativação do lixão. Segundo Gallas *et al*. (2005), quando os valores de ρ_a são dez vezes menores que o natural do meio geológico, estes podem ser associados a contaminação por chorume, pois houve uma maior concentração de íons metálicos aumentando a condutividade do meio.

O GG2 pontuado paralelo a Usina de Asfalto desativada da cidade de Boa Vista. Nesta porção foram encontrados os menores valores de resistividade do bairro, em uma profundidade máxima de leitura de 42 m, variando entre 12-418 Ωm. Assim, a baixa resistividade pode estar relacionada aos hidrocarbonetos, pois Braga e Cardinali (2005) afirmaram que valores assim foram encontrados em áreas contaminadas por derivados de hidrocarboneto.

O GG3 fora prospectado na porção do bairro sem focos de contaminação (distando em torno de 800m), cujos valores de resistividade puderam ser relacionados ao contexto geológico da área, em virtude também a relação à descrição de um poço disponibilizado pelo Sistema de Informações de Águas Subterrâneas- SIAGAS. A coleta geofísica alcançou 24m, num intervalo de $5.000<\rho_a<9.800\Omega m$. Valores que sugerem variação granulometria condizente com as rochas da Formação Boa Vista, conforme verificado por Souza e Andrade (2018).

E GG4, último grupo, evidencia o terceiro possível foco de contaminação do bairro São Bento (i. e., Estação de Tratamento de Esgoto-ETE). Contudo, todas as sondagens descritas para o GG4 apresentaram relativamente elevados valores de resistividade elétrica, 641 a 10.382 Ωm, em profundidades máximas de 24 metros, contrapondo de imediato a uma possível associação a contaminação do efluente da ETE. Assim, tais valores podem ser contextualizados dentre a Formação Boa Vista.

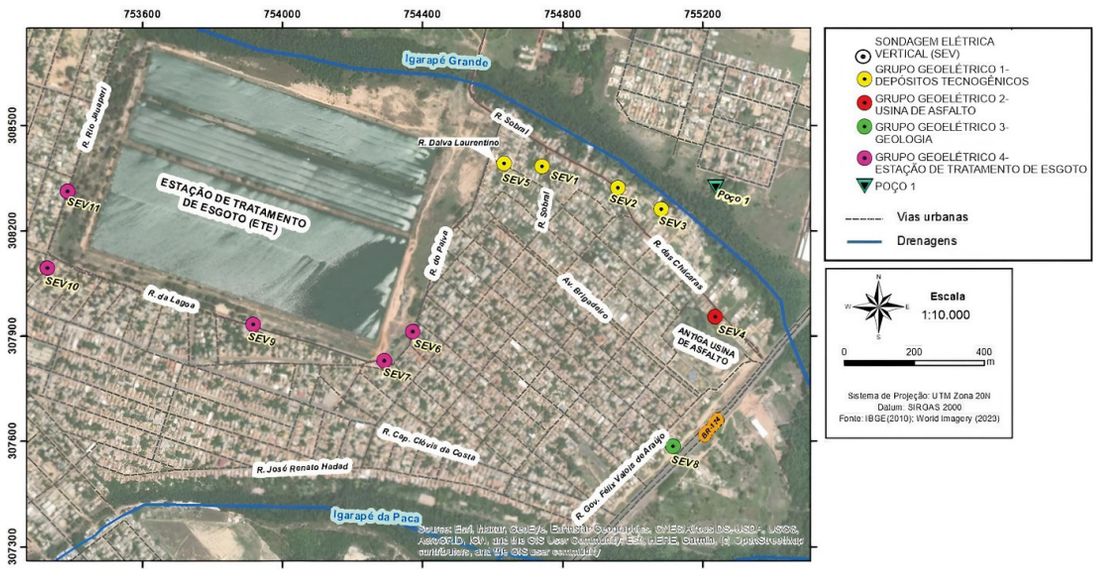


Figura 2 – Mapa das Sondagens Elétricas Verticais no bairro São Bento e seus respectivos Grupos Geoelétricos.

Em suma, a interpolação dos dados geoelétricos permitiu a criação de um modelo 3D que mapeia a pluma de contaminação do bairro (Figura 3). Observou-se que a concentração dos baixos valores de resistividade (com um máximo de 500 Ωm em todas as profundidades) localiza-se nas proximidades das SEVs 1, 2, 3 e 4, que correspondem a Depósitos Tecnogênicos e à Usina de Asfalto. A correlação espacial entre essa anomalia de baixa resistividade e as fontes potenciais de poluição sugere, de forma consistente, uma associação com a pluma de contaminação.

Já nas demais SEVs a relação das resistividades se deu quanto ao conteúdo geológico pertinente a área, ou seja, 500-1.000 Ωm (material argiloso), 1.000-5.000 Ωm (material areno-argiloso), 5.000-10.000 Ωm (material argilo-arenoso) e superior a 10.000 Ωm (material arenoso). A contaminação, portanto, ficou restrita aos Depósitos Tecnogênicos e a Usina de Asfalto.

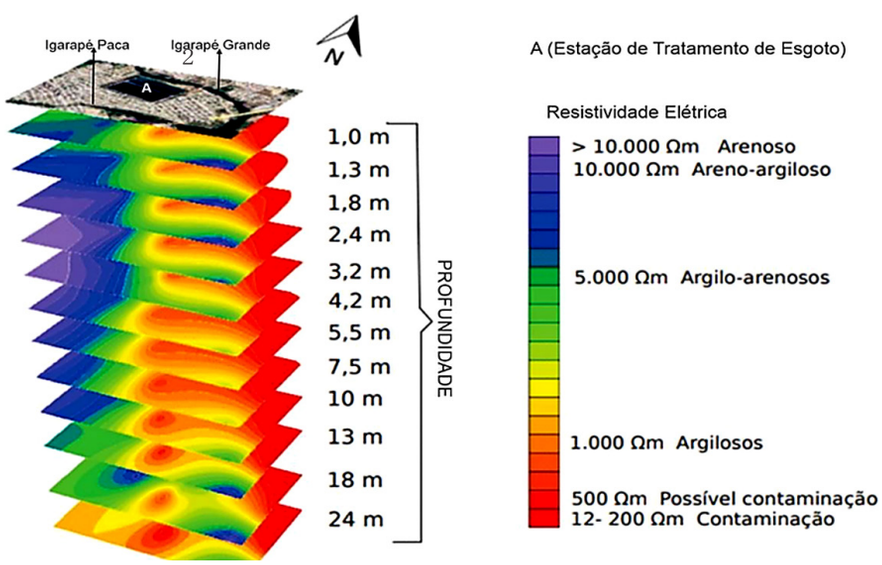


Figura 3 – Mapa de isovalores da resistividade do Bairro São Bento, zona oeste, município de Boa Vista/RR

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A sondagem elétrica vertical mostrou-se eficiente na identificação de focos de contaminação no bairro São Bento, com resistividades inferiores a 500 Ωm associadas ao chorume e hidrocarbonetos próximos aos Depósitos Tecnogênicos e à Usina de Asfalto desativada. Nas demais áreas, os valores refletiram variações litológicas da Formação Boa Vista, reforçando a necessidade de monitoramento contínuo e de medidas de gestão ambiental para mitigar riscos ao solo, às águas e à população local.

AGRADECIMENTOS

Ao apoio financeiro recebido pelo PIBIC/UFRR e Grupo de Pesquisa em Geociências Caimbé.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Braga, A.C.O., & Cardinali, M.T. (2005). Aplicação da resistividade e cargabilidade em estudos de contaminação de sedimentos por derivados de hidrocarbonetos. 2005. *Revista Brasileira de Geofísica*, 23(2), 181–190. https://doi.org/10.1590/S0102-261X2005000200007.

Chaves, G.B., Feitoza, F.M., Farias., Dos Santos, C.I.C., & Rocha, S.F. (2020). Caracterização física e aplicação da Espectroscopia de Emissão Óptica com Plasma Induzido por Laser (LIBS) para a determinação de contaminantes provenientes do depósito tecnogênico do bairro São Bento, Boa Vista – RR. *Revista ACTA Geográfica*, (14)34, 182-200. https://doi.org/10.18227/2177-4307.acta.v14i34.6067.

Elis, V.R., & Zuquette, L. V. (2002). Caracterização geofísica de áreas utilizadas para disposição de resíduos sólidos urbanos. *Revista Brasileira de Geociências*, (32)1, 119-134.

Gallas, J. D. F., Taioli, F., Da Silva, S.M.C.P, Coelho, O.G.W., & Paim, P.S.G. (2005). Contaminação por chorume e sua detecção por resistividade. *Revista Brasileira de Geofísica*., (23)1, 51-59. https://doi.org/10.1590/S0102-261X2005000100005.

Guimarães, E.N., & Souza, L. S. B. (2022). Arquitetura geoelétrica do Sistema Aquífero Boa Vista, Boa Vista/RR (porção urbana-zona oeste). *Geociências,* (41) 1, 151-168. https://doi.org/10.5016/geociencias.v41i1.16274.

Reis, N. J., Fraga, L. M., Faria, M. S. G., & Almeida, M. E. (2003). Geologia do Estado De Roraima, Brasil. *Géologie de La France*, 2-3-4, 121-134.

Souza, L. S. B., & Andrade, G. G. (2018). Resistividade no entorno do aterro sanitário municipal de Boa Vista, Roraima, Brasil: implicações ambientais. *Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi Ciências Naturais*, (13)3, 435-452. https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v13i3.346;

Vaz, P. T., Wanderley Filho, J.R., & Bueno, G.V. (2007). Bacia do Tacutu. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 15(2), 289-297. https://bgp.petrobras.com.br/bgp/article/view/312.

FOTOINTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA NO MAPEAMENTO GEOTECTÔNICO: UMA ABORDAGEM INTEGRADA DE MORFOESTRUTURAS DE RELEVO E TECTÔNICA NO CINTURÃO INTRUSIVO OROCAIMA, RORAIMA

Sicagbo Donald Akenou[1]; Stelio Tavares Soares Junior[1]; Luiza Câmara Beserra[1]

[1]Universidade Federal de Roraima - UFRR

akenoudonald@gmail.com; stelio.tavares@ufrr.br; luiza.camara@ufrr.br

RESUMO

A evolução geotectônica do Escudo das Guianas, na porção norte do Cráton Amazônico, é marcada por diversos ciclos orogenéticos que moldaram sua atual configuração, com cinturões magmáticos e metamórficos. Esta pesquisa analisou a uma associação tectono-estratigráficas do Cinturão Intrusivo Orocaima (CIO), a partir da interpretação integrada de dados de fotointerpretação com uso do radar de abertura sintética interferométrico (InSAR), visando compreender sua arquitetura geológica. A metodologia empregou uma abordagem integrada, combinando a análise de lineamentos estruturais e morfoestruturas de relevo, realizada por fotointerpretação geológica em um Modelo Digital de Elevação (MDE), elaborado a partir de interferometria SAR (InSAR) e dados de campo**,** utilizados para complementar a análise remota. O mapa resultante, que destaca a distribuição das litologias do CIO, revelou que os limites dessas unidades geológicas estão em consonância com as feições de relevo de grande escala, as quais integram uma unidade geomorfológica regional. Essa correspondência reflete a influência da história tectono-estrutural da área. Os resultados obtidos contribuirão para a compreensão da arquitetura geotectônica do domínio setentrional do cráton amazônico. Essa elucidação é relevante para a prospecção de recursos minerais e energéticos, bem como para o planejamento do desenvolvimento sustentável da região.

PALAVRAS-CHAVE: Geotectônica; Interferometria SAR; Cráton Amazônico; Norte de Roraima

INTRODUÇÃO

A compreensão da evolução geotectônica do Cráton Amazônico, um dos mais complexos escudos pré-cambrianos da Terra, tem sido tema central na geologia sul-americana. Este cráton preserva um registro geológico que abrange desde o Arqueano até o Neoproterozoico, sendo crucial para a história da formação e evolução crustal do supercontinente Gondwana Ocidental. A porção norte do Cráton Amazônico, em particular, apresenta uma intrincada justaposição de terrenos e cinturões orogênicos que refletem processos complexos de acreção, colisão e retrabalhamento crustal.

Historicamente, a interpretação da arquitetura geotectônica do cráton Amazônico tem evoluído significativamente. Os modelos pioneiros, baseados principalmente em dados geocronológicos e compartimentação regional, foram fundamentais para estabelecer as primeiras estruturas de seu arcabouço. Cordani *et al*. (1979) propuseram uma divisão inicial em províncias geocronológicas, delineando as principais unidades crustais com base em idades isotópicas. Essa abordagem seminal forneceu a base para compreensões subsequentes, embora a natureza e as fronteiras desses domínios ainda fossem objeto de debate.

Com o avanço das técnicas analíticas e o acúmulo de dados geológicos e geocronológicos mais robustos, modelos mais detalhados começaram a surgir. Tassinari e Macambira (2004) refinaram a compartimentação geocronológica do cratón, incorporando novas informações propondo uma evolução geotectônica mais abrangente, que reconhecia a heterogeneidade e a complexidade dos processos orogênicos. Posteriormente, Santos *et al.* (2006) consolidaram essas ideias, apresentando uma síntese regional que integrou dados geofísicos e estruturais, contribuindo para uma visão mais coesa da evolução do Cráton Amazônico e de suas províncias.

No entanto, a compreensão dos cinturões orogênicos e suas relações com os blocos cratônicos adjacentes passaram a integrar uma variedade de dados que incluem a cinemática e a temporalidade dos eventos orogênicos. Neste contexto, o estudo de Fraga *et al*. (2024) representa um avanço significativo na compreensão da porção norte do Cráton Amazônico. Este modelo não apenas revisita as interpretações existentes, mas também introduz e caracteriza formalmente os cinturões Orocaima, Cauarani-Coeroeni e Rio Urubu, provendo evidências robustas para sua formação e evolução no contexto da acreção crustal. A proposição desses novos cinturões, baseada em dados geocronológicos, isotópicos, petrográficos e estruturais, permite uma reinterpretação da arquitetura geotectônica regional e oferece novas perspectivas sobre os processos de colisão e acreção que moldaram essa porção do cráton.

Em Roraima, a porção norte do cráton amazônico apresenta uma complexa estruturação geológica, onde as grandes formas de relevo, caracterizadas por Beserra Neta e Tavares Júnior (2022), estão estruturalmente associadas às litologias que compõem o **Cinturão Ígneo Orocaima (CIO).** Deste modo, este estudo teve como objetivo analisar essa associação a partir da interpretação integrada de dados de fotointerpretação da imagem do relevo sombreado do Modelo Digital de Elevação (MDE), obtido por interferometria SAR (Radar de Abertura Sintética) do satélite Sentinel-1, em conjunto com dados de campo. O InSAR forneceu uma base geomorfológica precisa que, quando integrada a dados geológicos e estruturais, contribui para compreensão da evolução geotectônica da área, permitindo visualizar como o relevo reflete a história tectônica e a arquitetura do Cráton Amazônico.

MATERIAIS E MÉTODOS

A análise da relação entre as morfoestruturas de relevo e as litologias do Cinturão Ígneo Orocaima (CIO) na porção norte do estado de Roraima foi conduzida por meio de uma abordagem metodológica integrada, que combinou técnicas fotointerpretativas de sensoriamento remoto com dados de campo.

A área de estudo compreende a porção norte do estado de Roraima, estendendo-se entre as latitudes de 3° N e 4° 42’ N (figura 1). Esta região foi selecionada pela ocorrência das principais litologias do Cinturão Ígneo Orocaima (CIO), que incluem predominantemente os sieno a monzogranitos e granodioritos da Suíte Pedra Pintada, andesitos, dacitos e riolitos da Formação Surumu, ignibritos da Formação Cachoeira da Ilha, sienogranitos a monzogranitos da Suíte Saracura e sienogranitos a álcali-feldspatos-granitos do Corpo Aricamã (SGB/CPRM, 2023). Essas unidades litológicas estruturam formas de relevo variadas, desde as serras do Planalto do Interflúvio Amazonas-Orenoco até os terrenos colinosos que formam os patamares Dissecados (Beserra Neta e Tavares Júnior, 2022).

Dados de campo foram coletados nas disciplinas de estágios de campo I e III respectivamente dos anos de 2024 e 2025 do curso de Bacharelado em Geologia da Universidade Federal de Roraima (UFRR). Esses dados forneceram informações, in situ, sobre características litológicas, estruturais e geomorfológicas das áreas de estudo.

Imagens SAR constituídas por pares de cenas no formato Single Look Complex (SLC) do satélite Sentinel 1, com resolução espacial de 10x10 metros, foram utilizadas para a geração do MDE via interferometria SAR (INSAR). O processamento dessas imagens foi realizado no aplicativo SNAP (Sentinel Application Platform), versão 11.1, seguindo as etapas operacionais de Aquisição do Orbit, corregistro, geração do interferograma, desdobramento da Fase (Phase Unwrapping) e individualização da fase de elevação. As operações de tratamento da imagem do MDE, no software ArcGIS Pro, versão 3.2, visaram a geração da imagem de relevo sombreado. Todos os processamentos foram desenvolvidos no Laboratório de Geotecnologias do Instituto de Geociências da UFRR.

A análise geológica e geomorfológica foi conduzida por meio da fotointerpretação geológica na imagem do relevo sombreado, uma técnica adaptada do trabalho de Santos et al. (2000). Esta abordagem metodológica permitiu identificar e mapear as feições lineares de relevo e estabelecer a correlação entre sua orientação e as estruturas geológicas subjacentes.

Para garantir a acurácia dos resultados, os dados obtidos pela fotointerpretação foram integrados com informações provenientes de estudos prévios. Foram utilizadas referências bibliográficas chaves, incluindo dados geológicos e geomorfológicos de Fraga et al. (2024), Beserra Neta e Tavares Júnior (2022) e a base de dados do Serviço Geológico do Brasil - SGB/CPRM (SGB/CPRM, 2023). A validação e o refinamento final da interpretação foram realizados a partir de observações diretas de campo, que permitiram a relação entre as feições do relevo e as estruturas geológicas.

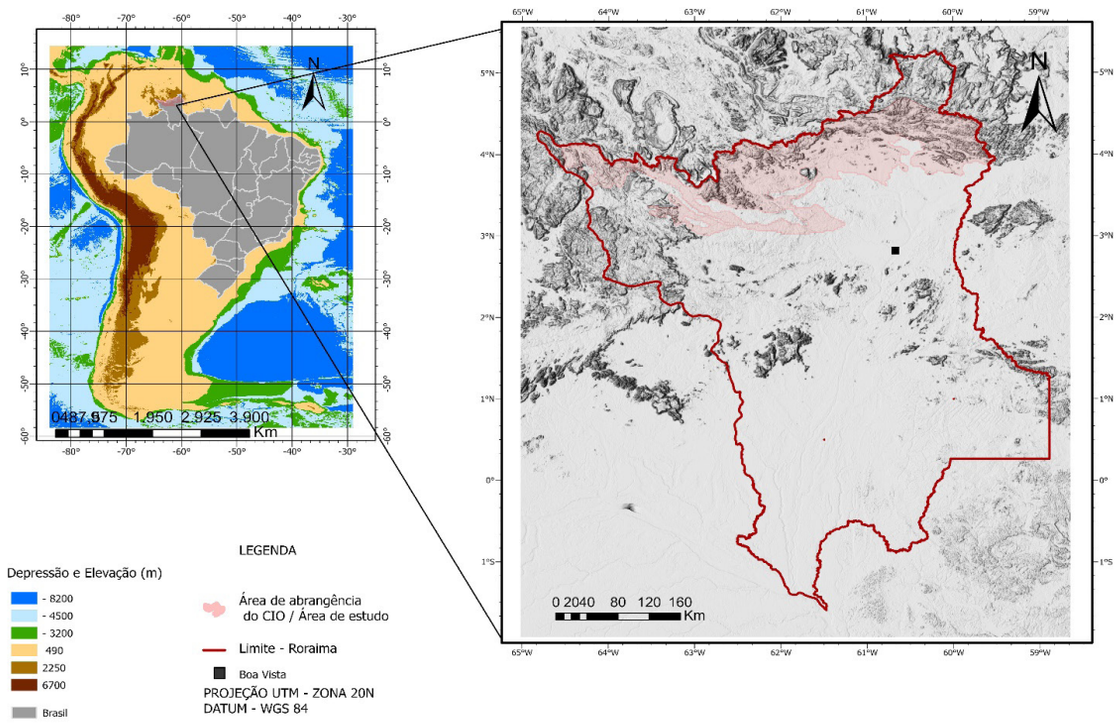


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo A) hipsometria da América do Sul, B) Área de estudo

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise geomorfológica da área de estudo, com base em dados de campo e fotointerpretação de imagens de sensoriamento remoto, revelou uma clara correlação entre as unidades litológicas do Cinturão Intrusivo Orocaima (CIO) e as feições de relevo. A fidelidade do modelo de elevação digital (MDE) obtido por interferometria SAR (Sentinel-1), com resolução espacial de 10x10 metros, permitiu um detalhamento preciso das formas topográficas, validando as observações em campo e a interpretação de dados da literatura.

Principais Feições de Relevo e seu Condicionamento Estrutural

Foram identificadas duas feições geomorfológicas principais, condicionadas pelo arranjo tectono-estrutural das rochas:

a. Serras com vertentes retilíneas a convexas e cristas de topo:

- **Caracterização:** Este relevo é marcado por uma morfologia acentuada e forte exposição rochosa, com pouca ou nenhuma cobertura vegetal.
- **Litologias:** As serras são formadas pelas rochas graníticas da Suíte Saracura e pelas rochas vulcânicas ácidas da Formação Surumu. A resistência à erosão dessas litologias e o controle estrutural exercido por deformações tectônicas justificam a sua proeminência no relevo.
- **Feições estruturais:** Observou-se uma orientação estrutural predominante nas direções E-W e NNE-SSW, que controlam a disposição e o alongamento dessas cristas e vertentes.

b. Relevo dissecado e superfícies suavemente planas:

- **Caracterização:** Contrastando com as serras, esta feição apresenta menor rugosidade e superfícies mais aplainadas.
- **Litologias:** O relevo é estruturado em rochas graníticas da Suíte Pedra Pintada e em rochas vulcânicas de composição intermediária da Formação Surumu.
- **Condicionamento:** A menor resistência à erosão ou uma menor intensidade de deformação tectônica, em comparação com as áreas de serras, resultou em um relevo mais dissecado e menos proeminente.

A fotointerpretação da imagem SAR permitiu o mapeamento de lineamentos estruturais (falhas e fraturas), contatos litológicos e padrões de drenagem, que evidenciam o arcabouço geológico e a estruturação das formas de relevo.

A correlação dos dados de campo e sensoriamento remoto com a literatura (Fraga *et al*., 2024; SGB/CPRM, 2023; Beserra Neta e Tavares Júnior, 2022) confirmou a relação direta entre as anomalias topográficas e as características petrográficas e estruturais das unidades do CIO. Essa abordagem integrada validou que o arranjo tectono-estrutural e as orientações das estruturas, como as falhas nas direções E-W e NNE-SSW, exercem um controle determinante sobre a configuração geomorfológica da porção norte de Roraima.

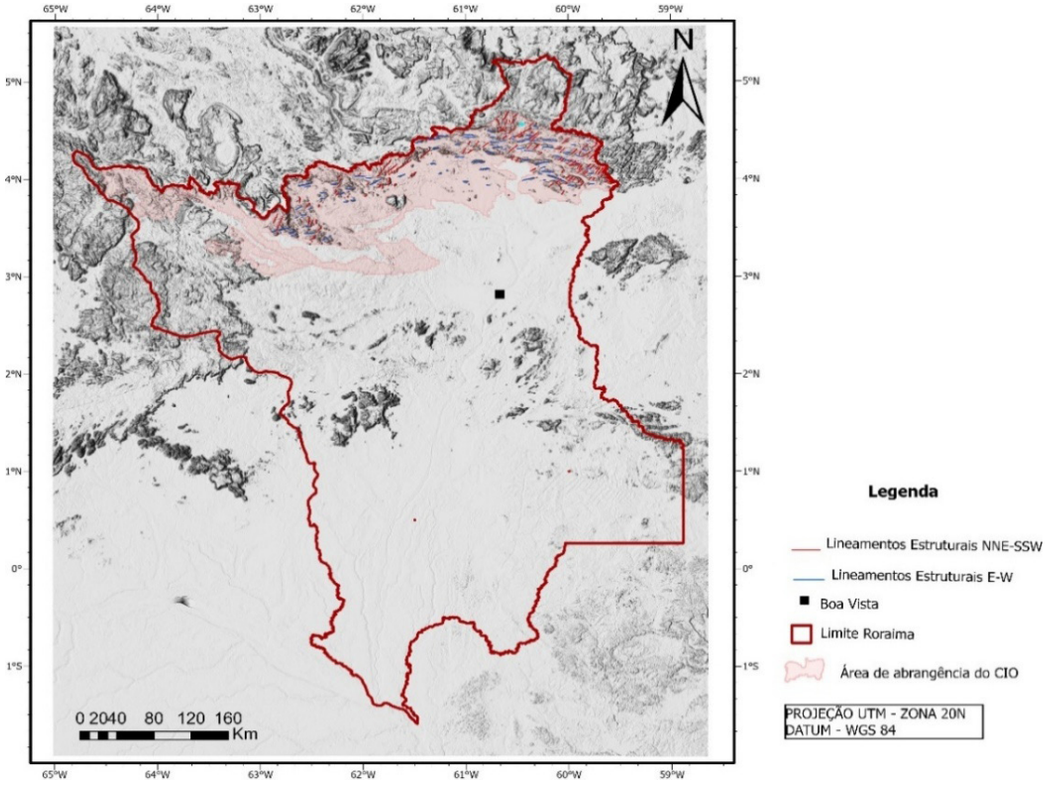


Figura 2 - A imagem mostra um Modelo de Elevação Digital (MDE) com sombreamento multidirecional, que realça as feições do relevo na área do Cinturão Intrusivo Orocaima (CIO) em Roraima. Nela, são destacados lineamentos estruturais que representam a influência da geologia nas formas de relevo. As linhas azuis, orientadas na direção E-W, e as linhas vermelhas, na direção NNE-SSW, indicam alinhamentos de serras. Essas feições estão diretamente relacionadas à disposição dos corpos rochosos do CIO e ajudam a delimitar essas unidades tectono-estratigráficas

CONCLUSÕES

As conclusões deste estudo evidenciam uma relação intrínseca entre as morfoestruturas do Cinturão Ígneo Orocaima (CIO) e seu arranjo tectono-estrutural. A abordagem metodológica integrada, que combinou o sensoriamento remoto de alta resolução com dados de campo, permitiu uma compreensão aprofundada da forma como a geologia molda a paisagem. O uso de dados SAR do Sentinel-1, que gerou um Modelo de Elevação Digital (MDE) detalhado, possibilitou a identificação e o mapeamento de feições lineares de relevo, que se correlacionam diretamente com a orientação de falhas e fraturas pré-existentes. As observações in situ, realizadas em campanhas de campo, validaram essa interpretação, confirmando o controle tectônico sobre as feições geomorfológicas.

Os resultados demonstram que a diferenciação do relevo é uma resposta direta à resistência das unidades litológicas e ao controle exercido pelas estruturas tectônicas. As serras alinhadas, de topografia acentuada, são formadas por rochas mais resistentes, como a Suíte Saracura e a Formação Surumu, e seguem as orientações de falhas E-W e NNE-SSW. Em contrapartida, o relevo dissecado, com superfícies mais planas, se desenvolveu em litologias menos resistentes da Suíte Pedra Pintada. Em suma, o estudo reforça a importância de uma abordagem integrada para a compreensão das associações tectono-estratigráficas, comprovando que o arcabouço geológico e as características petrográficas são os fatores primários que definem a configuração geomorfológica da porção norte de Roraima.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Beserra Neta, L.C. & Tavares Júnior, S.S. (2022). Geomorfologia. In: Rivas, A.A.F. *et al*. Diagnóstico dos Recursos Naturais - Zoneamento Ecológico-Econômico de Roraima, 2, Instituto PIATAM, Governo do Estado de Roraima, 75-113 Cordani, U.G., Tassinari, C.G.C., Teixeira, W., Basei, M.A.S., Kawashita, K., (1979). Evolução tectônica da Amazônia com base nos dados geocronológicos. Congresso Geológico Chileno 2, 137–138.

CPRM (2023) Mapa geológico do estado de Roraima. Manaus: SGB/CPRM, 1 mapa color. Escala 1:1.000.000.

Fraga L.M, Cordani U, Dreher AM, Sato K, Reis NJ, Nadeau S, de Roever E, Kroonenberg S, Maurer VC (2024) Early Orosirian belts of the central Guiana Shield, northern Amazonian Craton: U-Pb geochronology and tectonic implications. Precambr Res 407:107362. https://doi.org/10.1016/j. precamres.2024.107362.

Tassinari, C.C.G., Macambira M.J.B., 2004. A evolução tectônica do Cráton Amazônico. In: Mantesso-Neto, V. *et al*. (Ed). Geologia do Continente Sul-americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida, pp. 471-485.

Santos J.O.S., Hartmann L.A., Faria M.S., RikerS.R., Souza M.M., Almeida M.E., McNaugthon N.J.2006. A compartimentação do cráton amazonas em províncias: avanços ocorridos no período 2000-2006. In: 9º. Simpósio de Geologia da Amazônia. Belém,Pará, Sociedade Brasileira de Geologia – Núcleo Norte,Anais, p. 156-159.

AMBIENTAÇÃO HIDROGEOLÉTRICA DA FAIXA URBANA DO SISTEMA AQUÍFERO BOA VISTA: MUNICÍPIO DE BOA VISTA/RR

Lena Simone Barata Souza[1]; Victor Brunno Monteiro Allem[1]

[1]Universidade Federal de Roraima-UFRR

lenabarata@yahoo.com.br; victorbrunnoalem@gmail.com

RESUMO

A cidade de Boa Vista, capital do estado de Roraima, tem o Sistema Aquífero Boa Vista (SABV) como principal fonte de recursos hídricos. Apesar de sua importância, existem poucas informações disponíveis a seu respeito, o que inviabiliza um planejamento e manejo desse recurso fundamental a vida. Investigações indiretas (geofísica) são de vital importância para entender esses tipos de recursos. Assim, o método eletrorresistivo tem se destacado, pois podem mapear camadas com favorabilidade aquífera (zonas permoporosas). Desse modo, o presente trabalho fez uso de doze Sondagem Elétrica Vertical-SEV, distribuídas nas zonas sul e oeste, bairros 13 de Setembro e Dr. Airton Rocha, respectivamente. As sondagens foram agrupadas em quatro grupos hidrogeoelétricos-GHE para melhor discernimento de zonas permoporosas. O GHE-3 fora o mais propenso como região de favorabilidade aquífera, isto é, ideais para explotação de água subterrânea, pois mostraram valores de resistividade de 3.416 a 9.959 Ωm associados a pacotes sedimentares arenosos a argilo-arenosos. Desta maneira, o padrão de localização das zonas permoposoras dentre o SABV, perfez as porções leste e sudeste dos bairros investigados, regiões essas, mais próximas do Rio Branco, sugerindo afinidade entre esse importante afluente com o Aquífero.

PALAVRAS-CHAVE: Aquífero; Eletrorresistividade; Zonas Permoporosas; Roraima.

INTRODUÇÃO

Aquíferos são formações geológicas com potencialidade aquífera, dentro desse contexto os tipos livres/freáticos são caracterizados por estarem próximos à superfície da crosta terrestre, sendo que sua formação ocorre quando a zona saturada coincide com o lençol freático (FITTS, 2012). Tal característica é observada para o Sistema Aquífero Boa Vista (SABV), visto que este é classificado como livre a semi-confinado (WANKLER; EVANGELISTA; SANDER, 2012), sendo este Sistema vigente no estado de Roraima.

Roraima, está situada no extremo norte do Brasil, tendo como capital, Boa Vista, foco da área de estudo do presente trabalho, agregando quase 380 mil habitantes, correspondendo a 75% da população do Estado (IBGE, 2018). A cidade, é influenciada hidrogeologicamente pelo SABV, que desempenha um papel crucial em seu abasteci-

mento hídrico, pois atende às suas necessidades de água, tanto para consumo quanto para a realização de diversas atividades domésticas. De fato, aproximadamente 70% do suprimento total de água utilizado na área metropolitana provém desse sistema hídrico (WANKLER; EVANGELISTA; SANDER, 2012).

Dada a sua importância e o impacto substancial que exerce no dia a dia das pessoas, é essencial compreender as particularidades físicas e químicas deste Aquífero.

Tal compreensão é crucial para fomentar um uso sustentável, assegurando que as gerações futuras possam igualmente usufruir deste recurso de forma equilibrada e consciente. Apesar da sua relevância, existem poucas informações disponíveis sobre o SABV, especialmente no que se refere às características geofísicas, exceto pelos estudos conduzidos por Souza e Carvalho (2017) e Guimarães e Souza (2022). Todas essas informações são de suma importância para garantir um uso responsável e criterioso do SABV, em conformidade com os princípios da sustentabilidade, visto que as investigações geofísicas são extremamente eficazes e amplamente utilizadas na exploração de aquíferos.

Para esse contexto, o objetivo do trabalho em apreço é aumentar o conhecimento acerca do Aquífero e contribuir para a promoção do desenvolvimento humano sustentável. Tal meta é atingida por meio da compreensão da geometria e distribuição das camadas permoporosas mais proeminentes do SABV, buscando identificar os locais mais apropriados para a extração de água. Assim, a área de estudo dentre o município de Boa Vista/RR, incluiu as zonas sul e oeste, bairros 13 de Setembro e Dr. Airton Rocha, respectivamente (Figura 1A). Nestes bairros foram coletados 12 Sondagens Elétricas Verticais-SEV pelo grupo de pesquisa Caimbé-Geociências de Roraima, sendo estas utilizadas na presente pesquisa. Para o reprocessamento das SEV fora utilizado o *software IP2Win*, cujo agrupamento destas resultou em dois modelos hidrogeoelétricos (mapa de isovalores) confeccionados a partir do programa *Surfer* (Figura 1B).

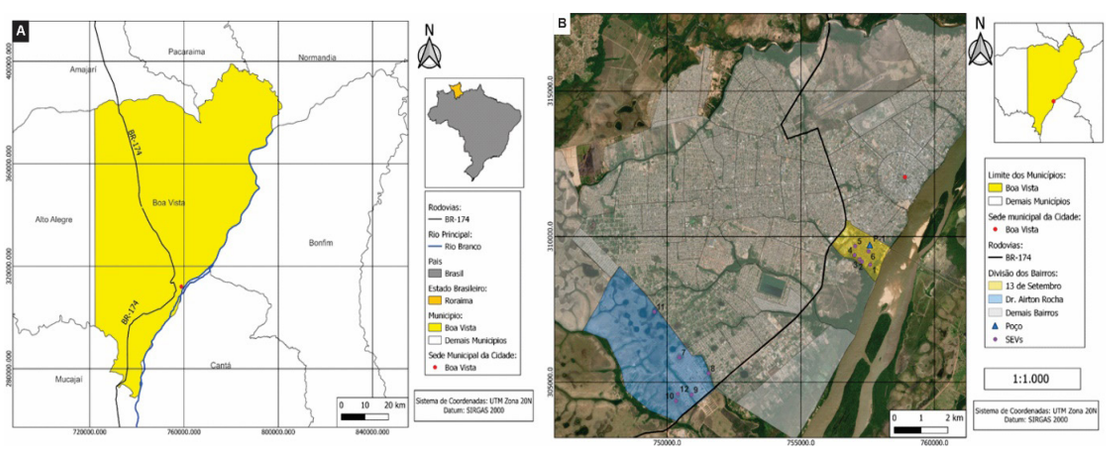


Figura 1 - Exemplificação da área de estudo. (A) Contorno do município de Boa Vista/RR. (B) Posicionamento das Sondagens Elétricas Verticais-SEV nos bairros estudados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Modelo hidrogeoelétrico do Sistema Aquífero Boa Vista-zona sul (bairro 13 de Setembro)

O presente modelo englobou três grupos hidrogeoelétricos (GHE-1, 3 e 4) dispostos na faixa oeste-leste dentre o bairro do 13 de Setembro. É importante evidenciar que o bairro é limitado a norte pela BR-401, a leste pelo Rio Branco, a sul pelo Igarapé Pricumã e oeste pela BR-174. Assim, o bairro tem dois possíveis potenciais alimentadores para as zonas permoporosas do SABV, visto que, o Rio Branco é o principal abastecedor do Aquífero. Este corta o Estado de Roraima de nordeste-sudoeste, é bastante denso, com 45.530 km^2, formado pela união dos rios Uraricoera e Tacutu.

Outro fator importante, é que o Rio Branco é o fornecedor de quase 70% da água consumida pelos lares, comércios, centro educacionais, repartições públicas e privadas, indústrias, entre outros, da capital do Estado (Boa Vista) (WANKLER; EVANGELISTA; SANDER, 2012), portanto vital para o desenvolvimento social, cultural e administrativo da população boavistense.

A maneira encontrada para exemplificar o modelo hidrogeoelétrico no bairro 13 de Setembro fora por meio de mapa de isovalores (Figura 2). Este com alcance de 13 metros de profundidade, ocorrendo sistemática gradação nos valores de resistividade da faixa oeste para a leste (< 5.000 Ωm), sugerindo dominância do caráter condutivo sob o resistivo nesse sentido. Para Mendes e Verma (2002) e Souza e Verma (2005) é frequente ocorrer unidades geoelétricas com baixas resistividades lado a lado a unidades com resistividades médias a elevadas. Isso implica dizer que os estratos têm sua continuação lateral interrompida, o que induz a inferir interdigitação ou gradação lateral.

A faixa oeste sob o olhar do GHE-1, representado pelas SEVs 4 e 5 (Figura 1B), com valores baixos de resistividade (2.000 Ωm $\geq \rho_a \leq$ 200 Ωm) é inferida ser é composta por pacotes sedimentares ricos em argilas e com poucas frações arenosas.

A faixa central do bairro 13 de Setembro engloba o GHE-4, composto pelas SEVs 3 e 6 (Figura 1B), cujos valores de resistividade são duas vezes mais elevados (4.000 Ωm > ρa ≤ 200 Ωm), quando comparados as da sondagens do grupo mencionado no parágrafo anterior (i. e., GHE-1). Assim, esta faixa do bairro parece ser constituída por material geológico relacionado a rochas areníticas.

O GHE-3, posicionado na faixa leste do bairro, representado pelas SEVs 1 e 2 (Figura 1B), mostrou que para esta faixa os valores de resistividade estão num intervalo de variação relativamente amplo, 6 Ωm a 5.500 Ωm, ou seja, extremamente condutivo a resistivo. Segundo Braga (2016), esse amplo intervalo indica mudança na litologia, culminando em curvas de sondagens bastante heterogêneas. Desse modo, o conteúdo litológico associado a essa faixa do bairro, é de camadas compostas por rochas areníticas a cascalhosas, que contêm pouco ou nenhum conteúdo de argila intergranular.

A porção sul, zona urbana, do município de Boa Vista, bairro 13 de Setembro, tem, portanto como zonas permoporosas com maior favorabilidade a explotação de água

subterrânea, a faixa leste do bairro (Figura 2). Estas zonas mostram espraiamento lateral das suas fácies elétricas (possivelmente areníticas) ao longo dos 13 metros de profundidade, cujas primeiras metragens (< 2 m) esse material arenítico pode ter matriz argilosa/siltosa dominante, conotando valores resistivos extremamente baixo (p. e., inferiores a 10 Ωm). À medida que avança a profundidade (< 8 m) essa alta condutividade se afunila, indicando possivelmente uma diminuição da carga argilosa às zonas permoporosas, inferindo funcionar como camadas/lentes trapeadoras. E, a profundidades superiores a 10 metros, as zonas retornam ao espraiamento inicial, sugerindo dominância material arenoso no sistema (resistividades em torno de 6.000 Ωm).

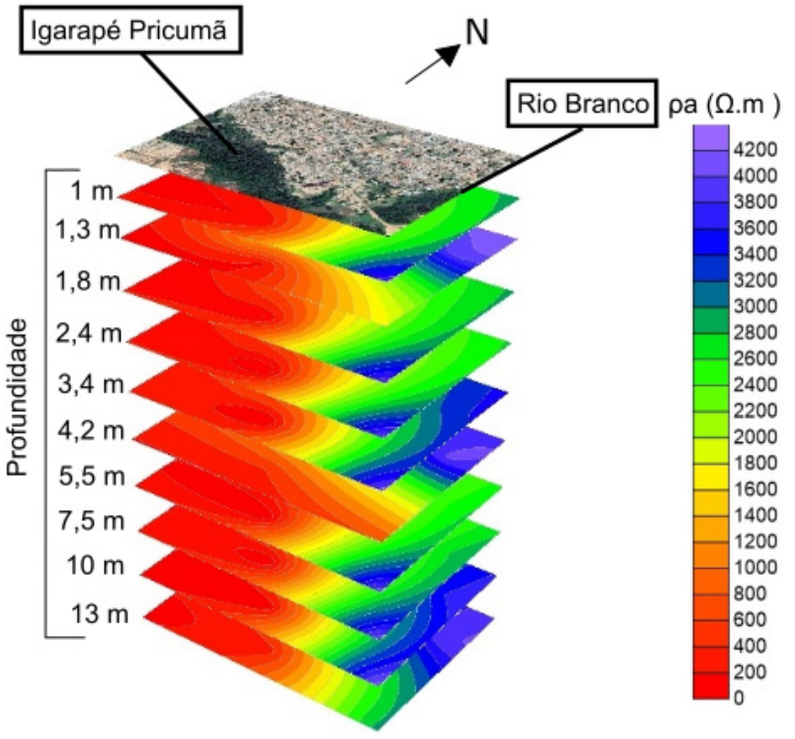


Figura 2 - Modelo hidrogeoelétrico (isovalores) do bairro 13 de Setembro.

Modelo hidrogeoelétrico do Sistema Aquífero Boa Vista-zona oeste (bairro Dr. Airton Rocha)

O modelo em apreço é composto por dois grupos hidrogeoelétricos (GHE-2 e 3) distribuídos de noroeste para sudeste no bairro Dr. Airton Rocha. O bairro conta como limites fronteiriços a sudeste o igarapé Waizinho e a sudoeste e noroeste o igarapé Auaí Grande, tendo a sua principal via de acesso a BR-174. Estes dois corpos hídricos são plausíveis alimentadores de zonas pormoporosas do SABV dentre o bairro, visto que ambos são afluentes do rio Branco, sendo este a principal fonte de abastecimento utilizada pela Companhia de Águas e Esgotos de Roraima-CAER (WANKLER; EVANGELISTA; SANDER, 2012).

O modelo hidrogeoelétrico no bairro Dr. Airton Rocha teve sua representação gráfica representada por mapa de isovalores (Figura 3). Este abarcando 24 metros de profundidade, cujo comportamento elétrico mostrou resistividade gradando crescentemente de NW-SE (< 4.000 Ωm). Essa gradação, dentro do contexto hidrogeoelétri-

co aqui exibido, pode ser relacionada, de certo modo, a rochas de mesma natureza, que podem apresentar resistividades influenciadas pelas condições locais (tamanho dos grãos, porosidade, efeitos tectônicos, entre outros), fazendo com que um mesmo tipo litológico possa apresentar uma ampla gama de variação nos valores de resistividade (BRAGA, 2006). Assim, o conteúdo litoelétrico geral na zona oeste do SABV pode ser relacionado a rochas areníticas.

Na faixa noroeste do bairro, o grupo hidrogeoelétrico presente é o GHE-2, este composto pelas SEVs 7, 8 e 11 (Figura 1B). Dentre o modelo hidrogeoelétrico (isovalores) (Figura 3), os baixos valores de resistividades (< 20 Ωm) ficaram restritos as primeiras metragens de investigação (< 4 metros). De tal modo, é presumível inferir que o conteúdo litológico associado, neste momento, sejam rochas argilosas e com pouca presença de areias. Ao passo que a leitura geofísica avança em profundidade, os valores resistivos aumentam para até quase 5.000 Ωm, sugerindo material geológico com caráter mais arenoso, portanto uma boa zona permoporosa do SABV. É importante ressaltar, que essa porção da faixa dista aproximadamente 1 km da área do Lixão do Município de Boa Vista, assim pode vir a sofrer ou já está sofrendo, influência a nordeste de possível contaminação (por chorume) advinda do lixão, pois de acordo com Souza e Andrade (2018) os contaminantes tendem migrar a NE, através do igarapé Auaí Grande, sendo este o corpo hídrico presente no local

Em relação a faixa mais a sudeste do bairro Dr. Airton Rocha, próximo do Rio Branco, temos o GHE-3, composto pelas SEVs 9, 10 e 12 (Figura 1B), representado majoritariamente o modelo concebido na figura 3. A atitude elétrica observada para a faixa indicou comportamento altamente resistivo, com valores em torno de quase 10.000 Ωm, implicando possivelmente pacote arenosos ou arenitos com ausência de argilas a profundidades variando de 5-10 m. À medida que a profundidade aumenta os valores resistividades diminuem alcançando os 400 Ωm. Portanto, o GHE-3 pode estar atrelado a camada sedimentar criada a partir das planícies de inundação do Rio Branco.

As porções permopososas associadas ao SABV, zona oeste, bairro Dr. Airton Rocha, diferente do bairro 13 de Setembro, são bem definidas, restritas a faixa sudeste do bairro com caráter afunilado e constante, mostrando vez ou outra um leve espraiamento a medida que elas tornam-se mais profundas (Figura 3).

De acordo com Mendes e Verma (2002) unidades geoelétricas podem ocorrer lado a lado (i. e., baixa, média e alta resistividades). Isso sugere que os estratos têm sua continuidade lateral interrompida, levando à inferência de descontinuidade, interdigitação ou gradação lateral, fenômeno que ocorre em ambos os bairros estudados, sempre em direção ao Rio Branco. De tal modo, a zona oeste (bairro Dr. Airton Rocha) tem maior favorabilidade aquífera que a zona sul (bairro 13 de Setembro). Essa constatação foi suportada por Guimarães e Souza (2022), que demonstraram também que a zona oeste tinha zonas permoporosas com elevada potencialidade aquífera.

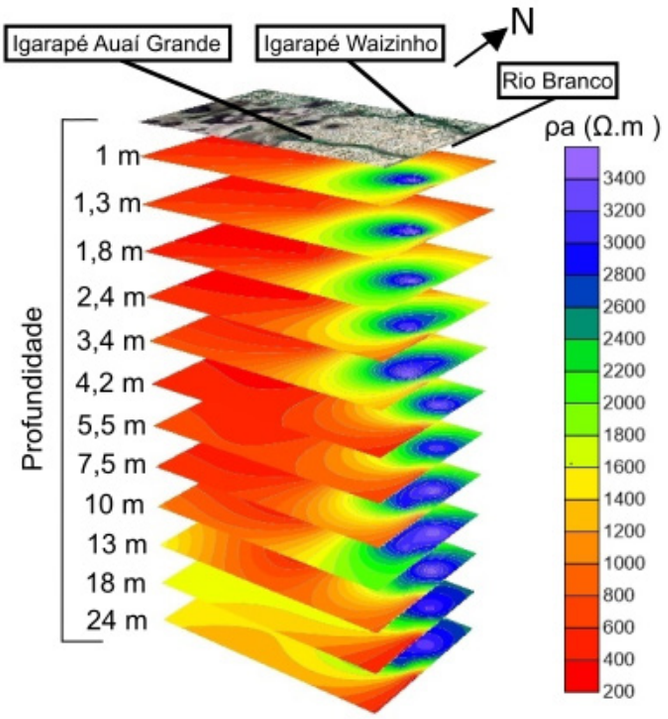


Figura 3 - Modelo hidrogeoelétrico (isovalores) do bairro Dr. Airton Rocha.

CONCLUSÃO

A indagação comparativa entre os modelos hidrogeoelétricos (mapas de isovalores) do Sistema Aquífero Boa Vista-SABV, gerados para o município de Boa Vista/RR (zona sul-bairro 13 de Setembro e zona oeste-bairro Dr. Airton Rocha), permitiu observar um padrão de localização das zonas permoposoras dentre o Aquífero, sugerindo que estas posicionaram-se sempre nas porções leste e sudeste dos referidos bairros, regiões essas, mais próximas do Rio Branco, indicando uma relação direta entre esse importante afluente com o Aquífero.

AGRADECIMENTO

Ao grupo de pesquisa Caimbé-Geociências de Roraima pelo compartilhamento dos dados geofísicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Braga, A. C. O. Métodos da eletrorresistividade e polarização induzida aplicados nos estudos da captação e contaminação de águas subterrâneas: uma abordagem metodológica e prática. 2006. 121 f. Tese (livre-docência). Universidade Estadual Paulista - UNESP, Rio Claro. 2006.

Fitts, C. R. Groundwater Science. 2ª ed. San Diego, CA: Elsevier/Academic Press, 2012. 692 p.

Guimarães, E. N.; Souza, L. S. B. Arquitetura geoelétrica do Sistema Aquífero Boa Vista, Boa Vista/RR (porção urbana-zona oeste). (2022). São Paulo, UNESP, GEOCIÊNCIAS, 41, 1, 151-168.

Mendes, R. L. R.; Verma. O. P. Prospecção de água subterrânea na região de Belém (PA) através de perfilagem geofísica de poço e eletroresistividade. (2002). Revista Brasileira de Geociências, 32, 1, 87-94.

Souza, L. S. B.; Andrade, G. G. Resistividade no entorno do aterro sanitário municipal de Boa Vista, Roraima, Brasil: implicações ambientais. (2018). Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi. Ciências Naturais, 13, 3, 435-452.

Souza, L. S. B.; Carvalho, F. W. S. Contextualização geológica da porção SW do Sistema Aquífero Boa Vista, Estado de Roraima, a partir de sondagens elétricas verticais rasas. (2017). Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi. Ciências Naturais, 12, 1, 91-107.

Souza, L. S. B.; Verma, O. P. Mapeamento de aquíferos na cidade de Manaus/AM (zonas norte e leste) através de perfilagem geofísica de poço e sondagem elétrica vertical. (2005). Revista de Geologia (Fortaleza), 18, 2, 227-243.

Wankler, F. L.; Evangelista, R. A. O; Sander, C. Sistema aquífero Boa Vista: “estado de arte” do conhecimento e perspectivas. (2012). ACTA geográfica, Boa Vista, 6, 12, 21-39.

INTERPRETAÇÃO AEROMAGNÉTICA DA PROVÍNCIA RONDÔNIA-JURUENA UTILIZANDO A AMPLITUDE E FASE DO SINAL ANALÍTICO

Maely de Carvalho Dias[1]; Raphael Di Carlo Silva dos Santos[1]; Mayara Fraeda Barbosa Teixeira[1]; Sirlan Silva do Carmo[1]

[1]**Programa de Pós-Graduação em Geociências - Universidade Federal do Amazonas**

maely.dias@ufam.edu.br; raphaelsantos@ufam.edu.br; mayarafraeda@ufam.edu.br

RESUMO

Este estudo integra dados aeromagnéticos com mapeamento geológico para refinar a delimitação de unidades litológicas e estruturas na região do Cráton Amazônico. Os resultados revelam padrões magnéticos associados a granitos, vulcânicas e sedimentos, além de lineamentos preferenciais ENE-WSW, corroborando o contexto geodinâmico regional. A metodologia demonstra a eficácia da integração geofísica-geológica em áreas complexas.

PALAVRAS-CHAVE: Aeromagnetometria, Cráton Amazônico, Sudeste do Amazonas.

INTRODUÇÃO

O Amazonas, maior estado do Brasil em extensão territorial, possui uma geologia complexa marcada pela evolução do Cráton Amazônico. No sudeste do estado, a Província Rondônia-Juruena (1.840–1.540 Ma) representa um importante segmento crustal, composto por terrenos granitoides e vulcanossedimentares organizados nos Domínios Juruena (1,85–1,72 Ga) e Jamari (1.780–1.620 Ma), formados em sistemas de arcos magmáticos acrecionários (Scandolara et al., 1999; Santos et al., 2002). Para investigar essa estrutura em subsuperfície, métodos geofísicos como a aeromagnetometria são ferramentas fundamentais. Neste trabalho, dados magnetométricos foram processados com os filtros Amplitude e Fase do Sinal Analítico permitindo uma interpretação mais precisa dos lineamentos observados. O objetivo é integrar esses resultados a dados já existentes na literatura e trazer uma maior resolução de interpretação para a região.

MATERIAIS E MÉTODOS

A base de dados magnéticos utilizada neste estudo foi retirada do Projeto Aerogeofísico Branco-Machadinho (CPRM, 2015). O processamento inicial dos dados incluiu a geração de quatro produtos principais de toda a área do projeto: Campo Magnético Principal Anômalo (CMA), Campo Magnético Reduzido ao Equador (RTE), Amplitude do Sinal Analítico (ASA) e Fase do Sinal Analítico (φ). Todas as etapas de processamento

foram realizadas no software Oasis Montaj, utilizando o interpolador bi-direcional para garantir a consistência espacial dos dados.

A primeira malha gerada correspondeu ao CMA, obtido após a redução do campo magnético total pelo International Geomagnetic Reference Field (IGRF) (Figura 1a). Em seguida, aplicou-se a redução ao Equador (RTE) ao CMA para centralizar as anomalias magnéticas em relação às suas fontes reais, eliminando assim a assimetria causada pela inclinação e declinação do campo geomagnético (Figura 1b). Posteriormente, realizamos um recorte espacial para delimitar a área de interesse. Neste recorte geramos uma malha de Amplitude do Sinal Analítico (ASA)

(Figura 2a) e Fase do Sinal Analítico (TILT) (Figura 2b). A ASA é uma função simétrica em forma de sino, cujo pico teórico coincide com a posição vertical do topo ou do contato entre corpos magnéticos, sendo independente da direção de magnetização (Nabighian, 1972, 1974; Roest et al., 1992) definida como:

$$ASA = \sqrt{\left[\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial z}\right)^2\right]},$$

em que M(x,y,z) é o CMA no espaço cartesiano. Já a fase do sinal analítico φ corresponde ao ângulo expresso por

$$\varphi = \arctan\left(\frac{\frac{\partial M}{\partial z}}{\sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2}}\right).$$

Esta técnica equaliza as amplitudes das anomalias e posiciona seus máximos diretamente sobre os centros das fontes magnéticas, facilitando a interpretação estrutural (Miller; Singh, 1994).

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A região sudeste do estado do Amazonas apresenta uma compartimentação geotectônica proterozoica caracterizada pelo arranjo de diversos terrenos da Província Rondônia- Juruena (1,85-1,72 Ga; Santos et al., 2004). Esta província representa um segmento crustal do Cráton Amazônico, cuja orientação regional predominante varia entre WNW-ESE e E-W.

A Província Rondônia-Juruena é constituída por associações de terrenos granitoides e vulcanossedimentares, organizados em domínios tectonoestratigráficos distintos.

anorogênicos, representados pela Suíte Intrusiva Serra da Providência (idade U-Pb SHRIMP II de 1,51 Ga) e seu membro vulcânico associado ao Grupo Serra do Gavião (1,52 Ga, U-Pb SHRIMP II). Essas unidades magmáticas estão relacionadas ao colapso extensional pós-cinemático da Orogenia Rondônia-Juruena. Adicionalmente, a região é composta por sequências sedimentares mesoproterozoicas do Grupo Beneficente, as quais registram eventos de subsidência crustal e preenchimento de bacias pós- orogênicas (Reis et al., 2013).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os primeiros produtos gerados no processamento dos dados aeromagnéticos foram o Campo Magnético Principal Anômalo (CMA) e o Campo Magnético Reduzido ao Equador (RTE) (Figuras 2a e 2b), com o principal objetivo de identificar padrões de assinatura magnética associados a fontes geológicas distintas, além de servir como base para a aplicação sequencial de filtros e transformações mais especializadas.

O segundo estágio do processamento envolveu a análise da Amplitude do Sinal Analítico (ASA), que evidenciou as anomalias magnéticas da área de estudo (Figura 3). A aplicação deste filtro permitiu realçar contrastes litológicos e estruturas geológicas, facilitando a identificação de padrões espaciais distintos. Como resultado, foi possível delimitar cinco domínios magnéticos principais, caracterizados por respostas diferenciadas do sinal analítico.

O Domínio 1 se caracteriza por uma resposta muito alta do sinal magnético. É a porção do mapa onde as rochas apresentam maior susceptibilidade magnética, esta assinatura geofísica pode estar associada às rochas graníticas rapakivi com evidências de magma mixing e mingling da Serra da Providência (Oliveira et al., 2016).

O Domínio 2 apresenta uma resposta magnética intermediária a alta, distinta do Domínio 1, porém ainda significativa no contexto regional. Essa assinatura geofísica está provavelmente associada aos granitos alcalinos da Suíte Serra da Providência (1.51 Ga) (Oliveira e Almeida, 2016). A resposta magnética moderada pode ser explicada pela baixa ocorrência de processos de mixing e mingling magmático, resultando em corpos graníticos mais homogêneos.

O Domínio 3 apresenta a mais baixa resposta de sinal magnético, cuja assinatura geofísica pode estar relacionada às rochas extrusivas do Grupo Serra do Gavião, que se subdivide em Fm. Morcego composta dominantemente por rochas subvulcânicas ácidas e efusivas alcalinas, e Fm. Igarapé Beija-Flor, caracterizada por rochas piroclásticas e vulcanoclásticas (tufos, ignimbritos riolíticos e litoarenitos) (Scandolara et al., 2013; Oliveira e Almeida, 2016).

O Domínio 4 apresenta resposta intermediária a baixa, que ainda pode estar associada às vulcânicas do Grupo Serra do Gavião. No entanto, observa-se uma expressiva variação local, com setores que exibem resposta magnética significativamente mais elevada, característica atribuída à presença de basalto.

Por fim, o Domínio 5 apresenta uma resposta intermediária, que foi atribuída às sequências sedimentares mesoproterozoicas do Grupo Beneficente (Reis *et al.* 2013).

O mapa de fase do sinal analítico mostra que os lineamentos predominantes seguem uma direção ENE-WSW, com orientações secundárias NE-SW e, mais raramente, NW-SE (Figura 4). Esses alinhamentos foram mapeados com base nas bordas aparentes dos corpos, o que também possibilitou reconstruir a geometria aproximada de algumas intrusões e unidades litológicas. A predominância da direção ENE-WSW pode estar em concordância com o contexto tectônico regional relacionados à colagem do Terrenos Juruena-Jamari e a Crosta Tapajós-Parima (Oliveira e Almeida, 2016).

Mapa Geológico

A interpretação dos dados aeromagnéticos foi sobreposta ao mapa geológico da região. Esta integração sistemática permitiu redefinir os contatos entre unidades litológicas a partir de critérios objetivos baseados nas assinaturas geofísicas, complementando as observações de campo tradicionais. A ASA, sensível a variações de susceptibilidade magnética, foi particularmente útil para demarcar transições entre diferentes domínios rochosos, como os granitos da Suíte Serra da Providência (com suas características altas amplitudes) e as sequências sedimentares do Grupo Beneficente (de amplitude mais suave do sinal magnético). Paralelamente, a Fase do Sinal Analítico contribuiu para identificar a geometria de corpos intrusivos e estruturas, além de auxiliar no mapeamento de lineamentos preferenciais com direções ENE-WSW e NE-SW, compatíveis com o arcabouço estrutural regional. O produto desta integração revelou feições geológicas não completamente evidenciadas no mapeamento convencional, como variações internas em corpos graníticos e contatos mais precisos entre unidades. Particularmente notável foi a correlação entre anomalias magnéticas especificamrnte e unidades litológicas previamente mapeadas, validando e refinando a compartimentação geológica da área. Com base nos dados magnéticos reinterpretamos (Figura 5) e atualizamos o mapa geológico da região (Figura 6).

CONCLUSÕES

A integração dos dados magnéticos com o mapa geológico permitiu refinar os contatos litológicos e estruturas regionais, mostrando padrões não identificados no mapeamento convencional. A metodologia demonstrou eficácia na delimitação de unidades, além de estruturas. Os resultados validam o potencial da aeromagnetometria como ferramenta complementar em estudos geológicos, especialmente em áreas de exposição rochosa limitada. Recomenda-se a verificação em campo dos novos limites propostos e a integração com outros métodos geofísicos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Serrapilheira pelo apoio financeiro à infraestrutura desta pesquisa. M.C.D. e S.S.D. também agradecem à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) **pelas bolsas de mestrado.**

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, M. E., & Oliveira, A. C. S. (2016). Tectonic evolution of the southeastern portion of the state of Amazonas (Brazil): Integration of geological, geophysical and structural data. Brazilian Journal of Geology, 46(3), 123–145.

CPRM (2015). Projeto Aerogeofísico Branco-Machadinho. Relatório Final do Levantamento e Processamento dos Dados Magnetométricos e Gamaespectrométricos. Vol 1.

Miller, H. G., & Singh, V. (1994). Potential field tilt – A new concept for location of potential field sources. Journal of Applied Geophysics, 32(2–3), 213–217.

Nabighian, M. N. (1974). Additional comments on the analytic signal of two- dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section. Geophysics, 39(1), 85–92

Oliveira, A. C. S. (2016). Evolução tectônica do Cráton Amazônico na região sudeste do estado do Amazonas: Um estudo em múltiplas escalas com base na integração de dados geológico-estruturais e geofísicos [Master's thesis, Universidade Federal do Amazonas].

Reis, N. J., Almeida, M. E., & Lima, P. R. A. (2013). Supergrupo Sumaúma. In Contribuições à geologia da Amazônia (pp. 45–60). Editora CPRM.

Roest, W. R., Verhoef, J., & Pilkington, M. (1992). Magnetic interpretation using the 3- D analytic signal. Geophysics, 57(1), 116– 125. https://doi.org/10.1190/1.1443174

Santos, J. O. S. (2004). Geotectônica dos escudos das Guianas e Brasil-Central. In L. A. Bizzi, C. Schobbenhaus, R. M. Vidotti, & J. H. Gonçalves (Eds.), Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil (pp. 169–226). CPRM.

Santos, J. O. S., Faria, M. S. G., Hartmann, L. A., & McNaughton, N. J. (2002). Significant presence of the Tapajós–Parima orogenic belt in the Roraima region, Amazon Craton based on SHRIMP U-Pb zircon geochronology. Anais do 41º Congresso Brasileiro de Geologia, João Pessoa, PB.

Scandolara, J. E., Rizzotto, G. J., Amorim, J. L., Bahia, R. B. C., Quadros, M. L., & Silva, C. R. (1999). Geologia do Estado de Rondônia, escala 1:1.000.000 [Nota explicativa]. CPRM.

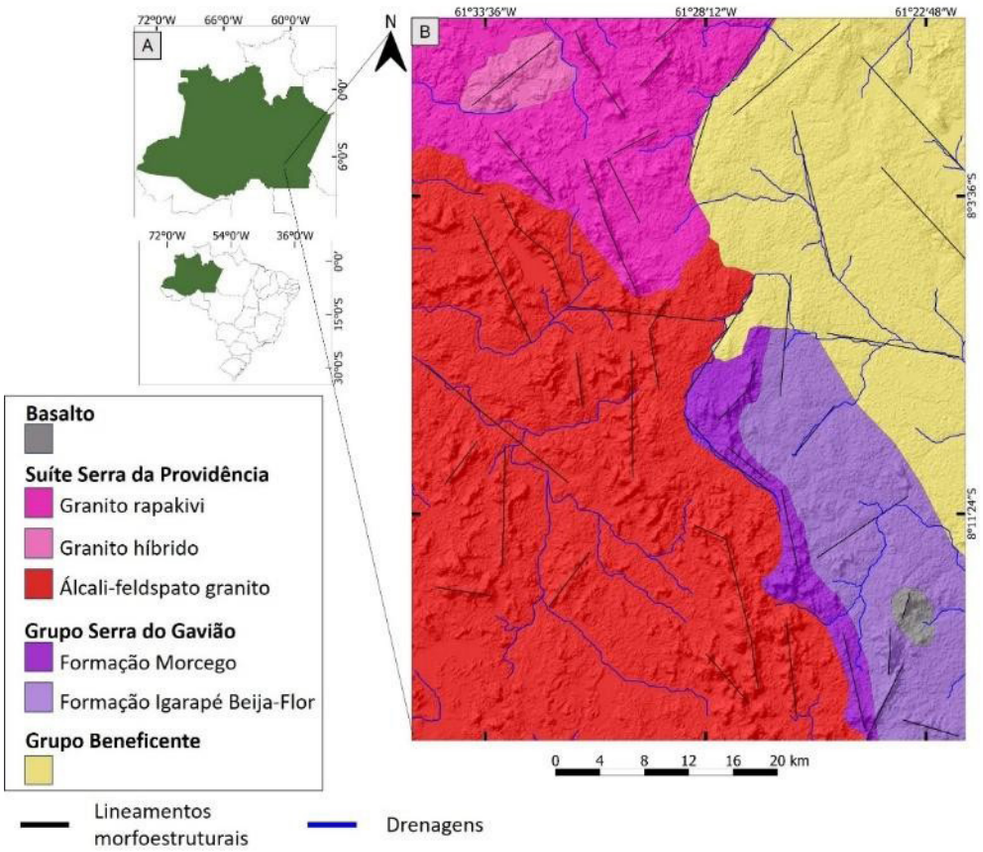


Figura 1 - Mapa geológico da área de estudo

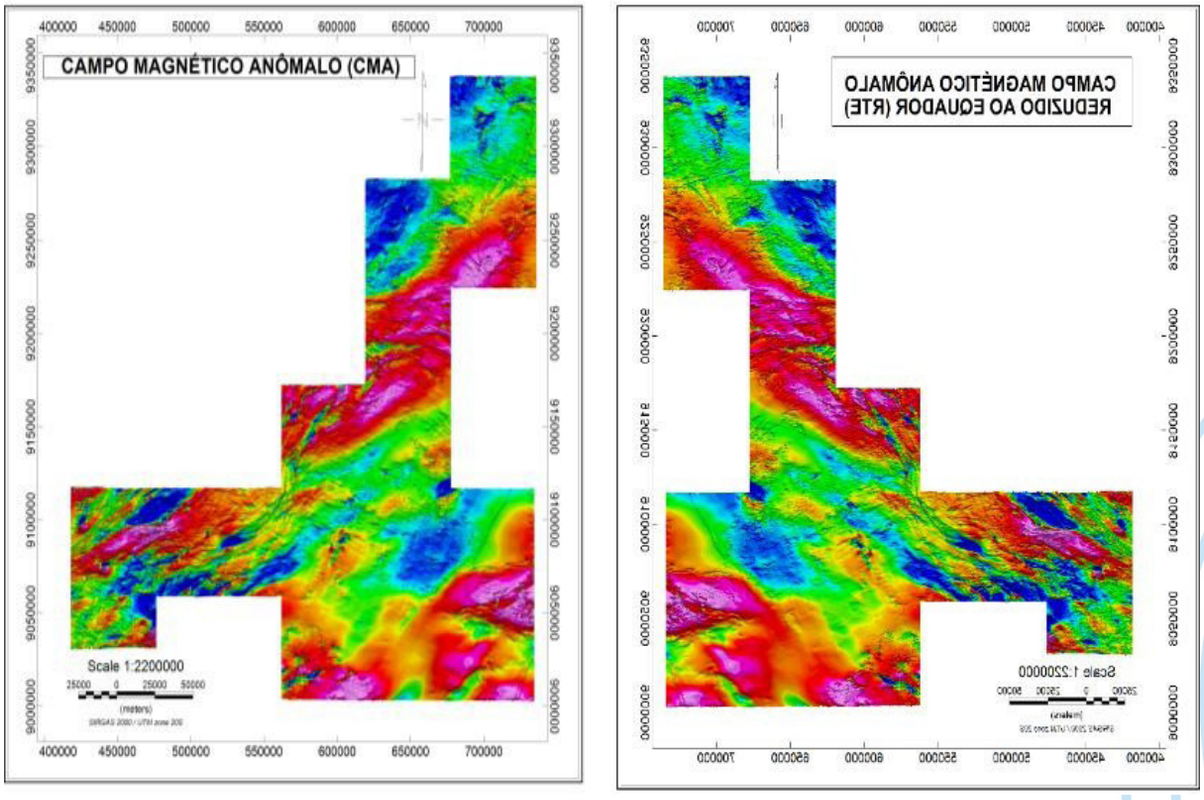


Figura 2. a) Campo Magnético Principal Anômalo. b) Campo Magnético Anômalo Reduzido ao Equador. A área de estudo está delimitada pelo polígono com linhas pretas.

b)

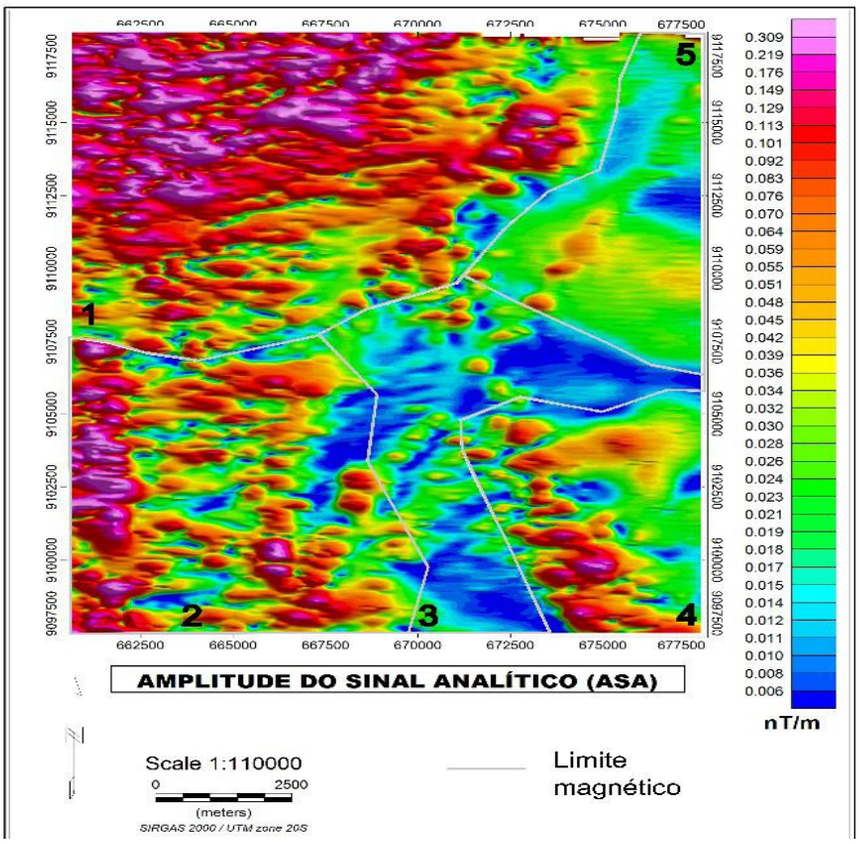


Figura 3 - Mapa de Amplitude do Sinal Analítico

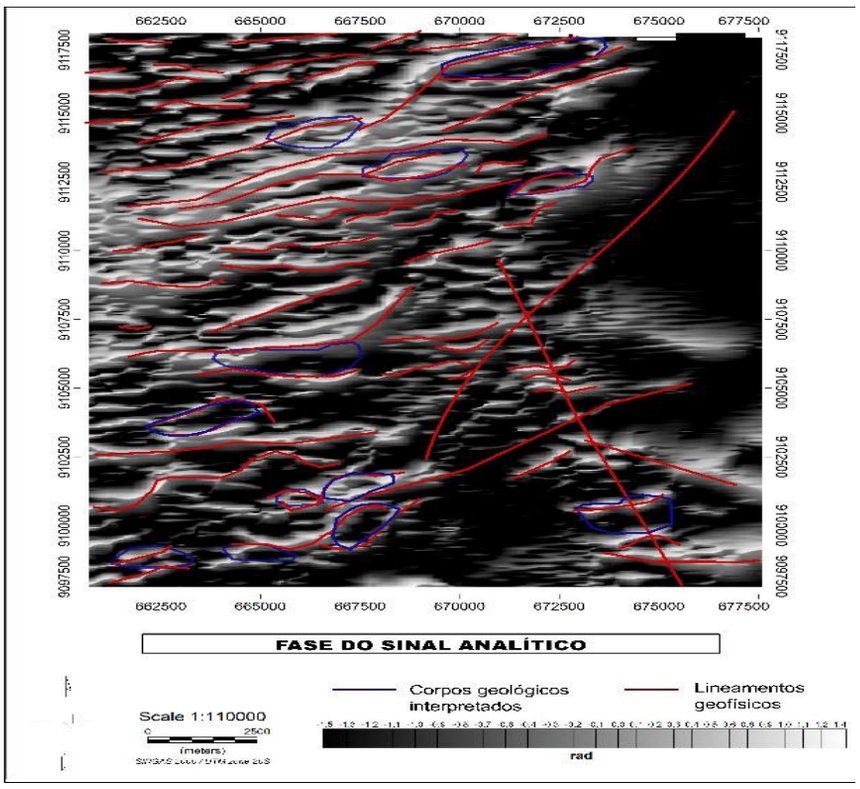


Figura 4 - Fase do Sinal Analítico

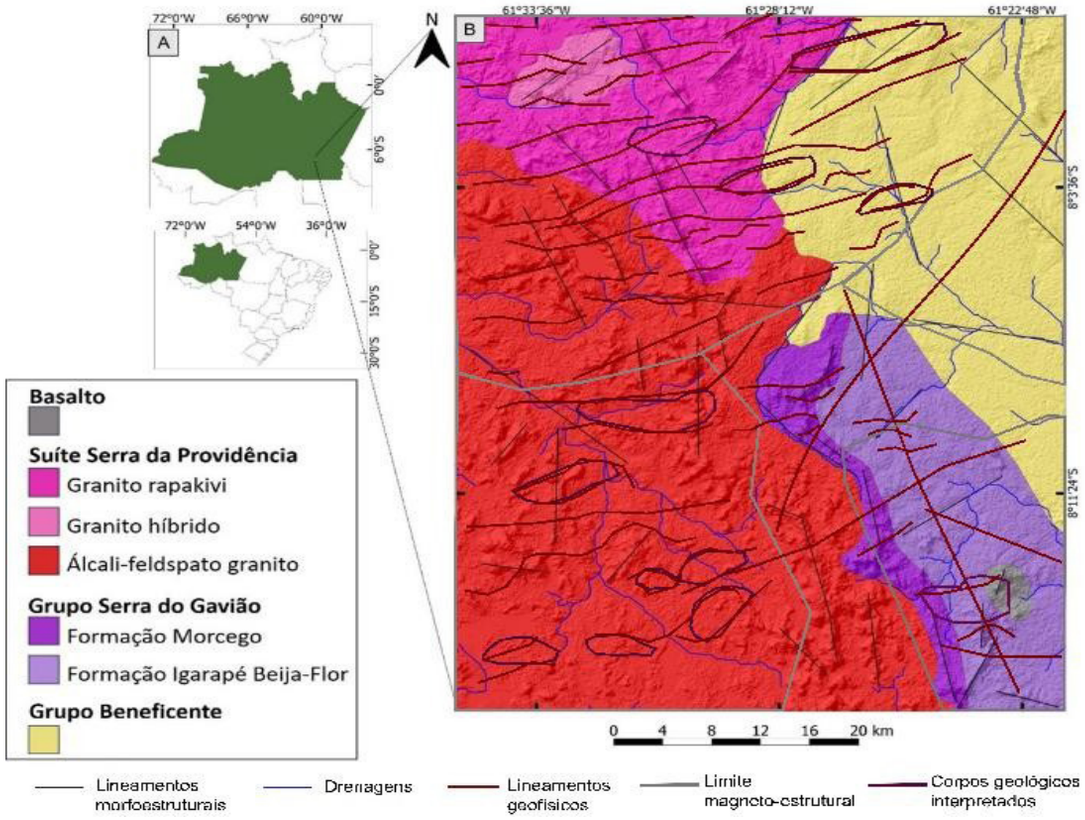


Figura 5 - Mapa geológico reinterpretado

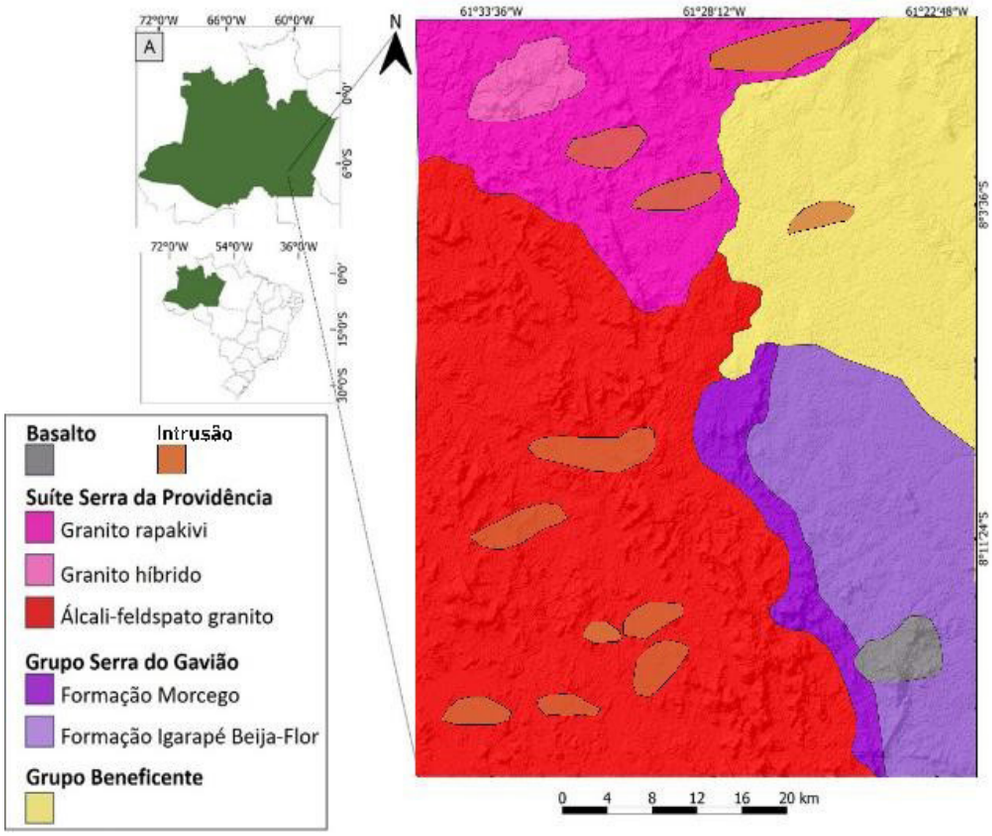


Figura 6 - Mapa geológico atualizado

ESTUDO LITOLÓGICO E ESTRUTURAL DA SERRA DA BALATA NO MUNICÍPIO DE CANTÁ, RORAIMA, PELA INTEGRAÇÃO DE DADOS ÓPTICOS, MODELOS DE ELEVAÇÃO E DADOS AEROGEOFÍSICOS

Leandro, Scapin[1]; Stélio Soares, Tavares Junior[1]

[1]**Universidade Federal de Roraima - UFRR**

scapin.72@gmail.com; stelio.tavares@ufrr.br

RESUMO

A Serra da Balata (SB) em Cantá, centro-leste de Roraima, representa um significativo plúton inserido no contexto do Cinturão Rio Urubu durante o Evento Transamazônico Akawai, no norte do Cráton Amazônico. Esta região, caracterizada por sua diversidade litológica, tem sido objeto de estudos em escalas regionais, porém, com lacunas no detalhamento de suas feições. Este trabalho teve como objetivo principal o estudo litoestrutural da SB na escala 1:50.000, com base no tratamento de imagens dos satélites Sentinel-1 e Sentinel-2. A metodologia empregou técnicas de interferometria SAR "Synthetic Aperture Radar "na geração de modelo de elevação digital (MDE); tratamento, em ArcGis, do MDE na criação de vetores e polígonos altimétricos; hidrológicos e geofísicos e geoestruturais. Esse processamento contribuiu para o entendimento de sua correspondência litológica e estrutural do mapeamento geológico em escala de 1:50.000, fornecendo subsídios para a compreensão da evolução geológica regional.

PALAVRAS-CHAVE: Roraima; Serra da Balata; geoprocessamento, interferometria de radar de abertura sintética.

INTRODUÇÃO

A geologia regional privilegiou a evolução tectônica da porção central do Escudo das Guianas. Contemplou a óptica do modelo de Evolução Akawai de Fraga et al. (2024), em especial do Cinturão Rio Urubu (CRU) (1,96-1,92Ga). Na área de estudo ocorrem rochas ortometamórficas da Suíte Metamórfica Rio Urubu (SMRU) e charnockitos da Suíte Serra da Prata (SSP). A diversidade litológica da região foi estudada em escala regional por diversos autores, dentre os quais [Reis, Fraga e Almeida (2003); Fraga et al. (2009); Mendes et al. (2023)].

Este trabalho teve por objetivo principal o estudo litoestrutural da Serra da Balata na escala 1:50.000, com base no tratamento e integração de imagens SAR e ópticas dos satélites Sentinel-1 e Sentinel-2 para o entendimento da correspondência litológica e estrutural da área com os modelos teóricos vigentes.

Este estudo é parte do trabalho de conclusão de curso (TCC) do Curso de Geologia.

METOLOLOGIA

A área de estudo, Serra da Balata, está localizada no centro-leste de RR, município de Cantá. É acessada pela BR-432, distante 100 km da Capital. Os mapas e imagens correspondem ao polígono de coordenadas de (1°55' a 2°20'N) e (60°35' a 60°50'O) estão enquadrados na folha Mucajai NA.20-X-D-VI. As base de dados geológica e geofísica foram adquiridas do Serviço Geológico do Brasil (SBG/CPRM) adaptado do Mapa Geológico de Roraima segundo a versão de Mendes *et al.* (2023). (Figura 1), e o sistema de coordenadas utilizados foi o SIRGAS 2000 20N.

As atividades de geoprocessamento foram desenvolvidas no laboratório de geoprocessamento do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Roraima.

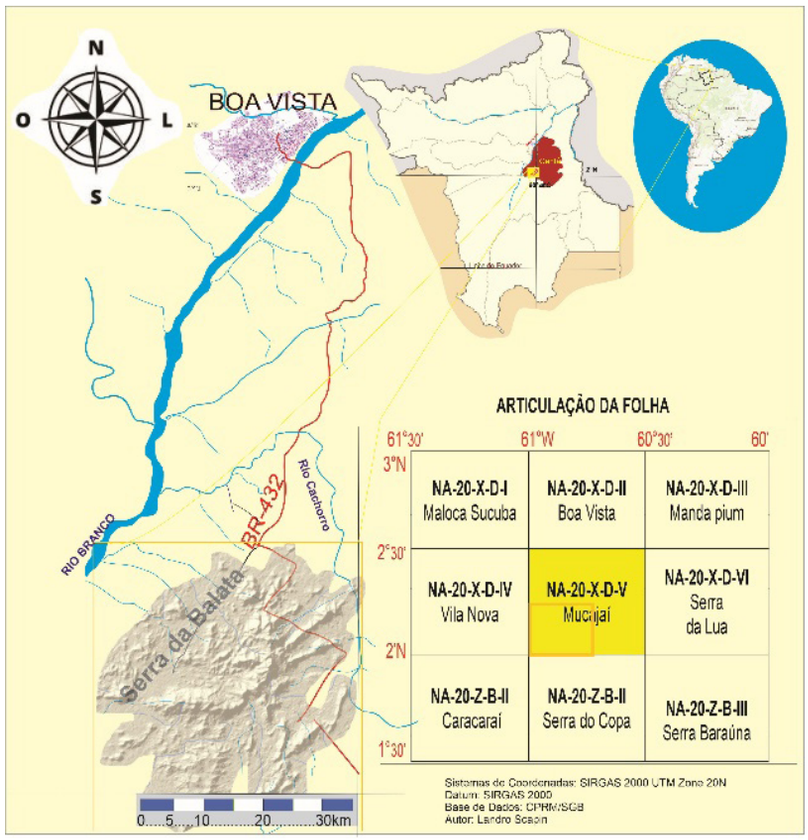


Figura 1 - Mapa de localização da região da Serra da Balata, Cantá-RR.
Fonte: do autor.

O geoprocessamento (Figura 2) constou do tratamento de imagens ópticas do satélite Sentinel-2 e de Radar de Abertura Sintética (SAR)[1], do satélite Sentinel-1, da Agência Espacial Europeia (ESA)[2] adquiridas na plataforma Copernicus. Os aplicativos e ferramentas utilizadas no tratamento de imagens foram:

- AsfAlaska – para a escolha de duas fases de imagem SAR, com intervalo maior que 50 metros e maior que 300 dias;

[1] Algumas abreviaturas remetem aos termos originais: SAR "*Synthetic Aperture Radar*";
[2] ESA "*European Space Agency*" adquirida na plataforma http://wekeo.copernicus.eu/;

- SNAP[3] - é a plataforma de aplicação das imagens de imagens SAR/Sentinel-2. Foi utilizado na geração de um Modelo de Elevação Digital (MDE) seguindo a técnica de interferometria SAR (Figura 3);

- ArcGis - O sistema de informação geográfica ArcGis, versão 10.6.1, foi empregado no tratamento de imagens do espectro visível (RGB)[4] para uma falsa cor 7R5G2B; e imagem geofísica gamaespectrométrica do canal potássio (K). O MDE foi a base para o tratamento de vetores de altimetria de curvas de nível e relevo sombreado. A drenagem foi tratada a partir do MDE, seguindo as funções Flow Direction que ordena os pixel segundo uma direção de fluxo, fill que identifica e preenchem vazios; flow accumulation que otimiza os fluxos e, mapa álgebra, que gera a textura correspondente à densidade da drenagem, aqui representado pelo parâmetro >500.

As imagens ópticas foram integradas ao MDE pela ferramenta de fusão IHS[5] que processam a intensidade, a matiz e a saturação para uma imagem pancromática que destaca as feições de relevo.

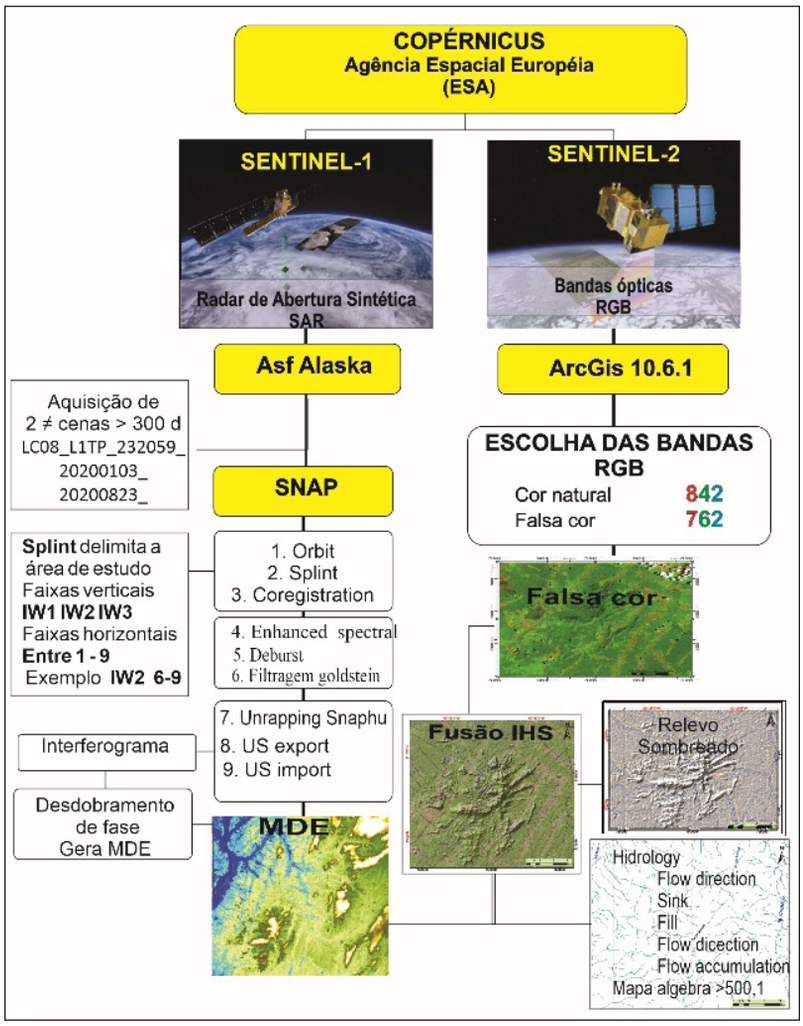


Figura 2 - Geoprocessamento de imagens SAR Sentinel-1 e imagens ópticas do satélite Sentinel-2 para a fotointerpretação da área de estudo.

[3] SNAP "*Sentinel Application Platform*";
[4] RGB "*Red-Green-Blue*" bandas ópticas do espectro visível.
[5] IHS "*intensity-hue-saturation*"

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O tratamento via interferometria SAR gerou um modelo de elevação digital que ressaltou as feições da Serra da Balata. (Figura 3).

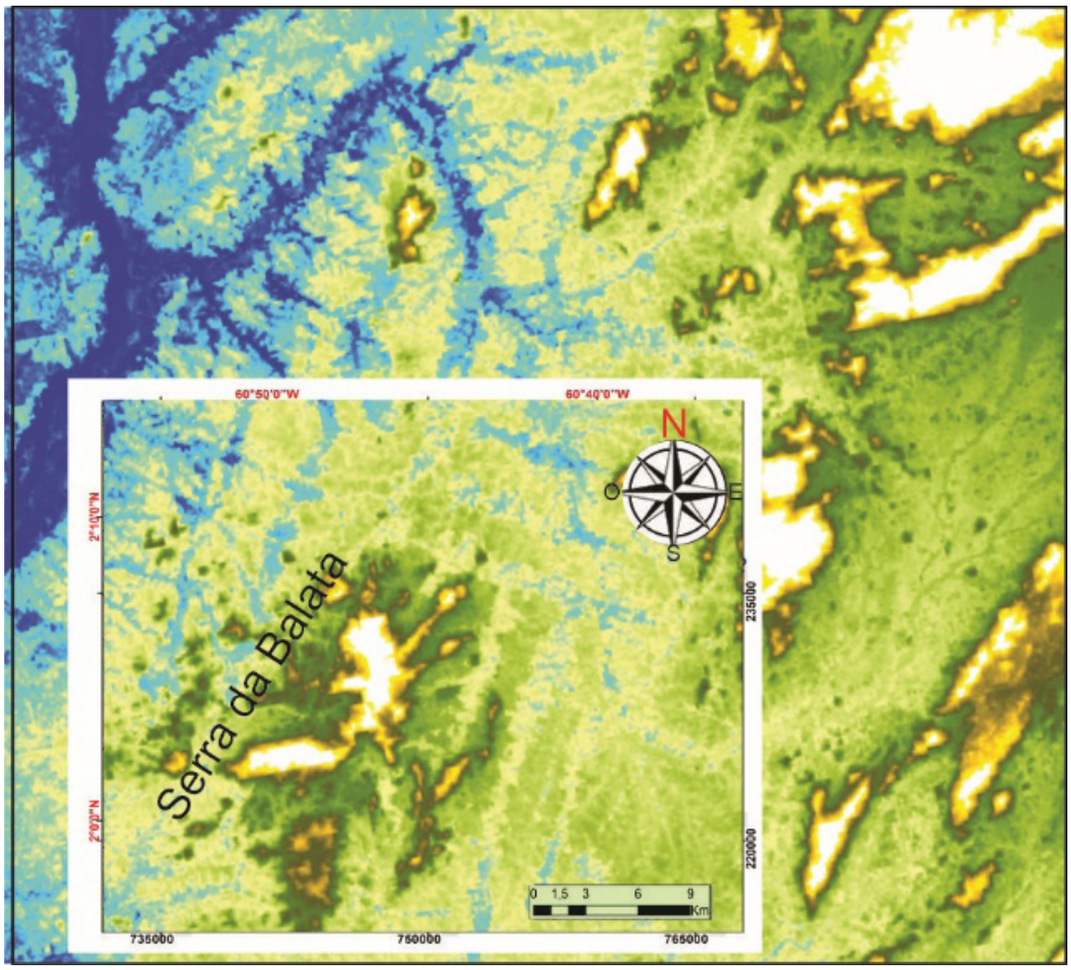


Figura 3 – Serra da Balata destacada no modelo de elevação digital gerado por interferometria inSAR na plataforma SNAP.

Com o ArcGis foram integradas as imagens SAR com as imagens geofísicas do canal potássio (K) em um mosaico que destacou as feições de relevo, proporcionadas pelo MDE combinadas com o aspecto óptico RGB, gerando produtos visualmente atraentes e funcionais na interpretação das feições do terreno. A associação do MDE com a imagem geofísica ressalta as nuances do relevo e facilita a interpretação da distribuição dos radioelemento K, cuja maior concentração é mostrada nas cores lilás e vermelho e menores concentrações em azul. (Figura 4).

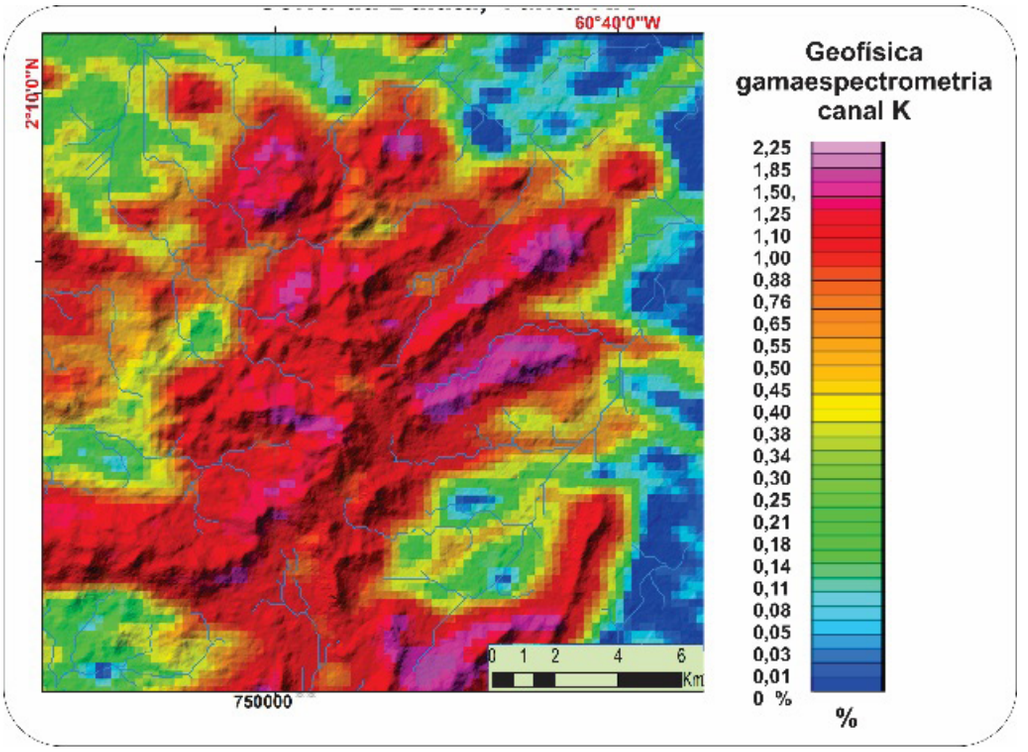


Figura 4 – integração de imagem geofísica espectro gama do canal K e relevo sombreado.
Fonte: Adaptado de SGB-CPRM (2023.

A vetorização do MDE está representada pelos vetores altimétricos, hidrológicos, lineamentos geoestruturais, vias, localidades no mapa geológico da Serra da Balata. Os polígonos de zonas homólogas correspondem (roxo) charnockitos da Suíte Serra da Prata; (rosa) leucognaisses e (cinza) ortognaisses da Suíte Metamórfica Rio Urubu e (amarelo) com os depósitos cenozoicos à margem do Rio Branco.

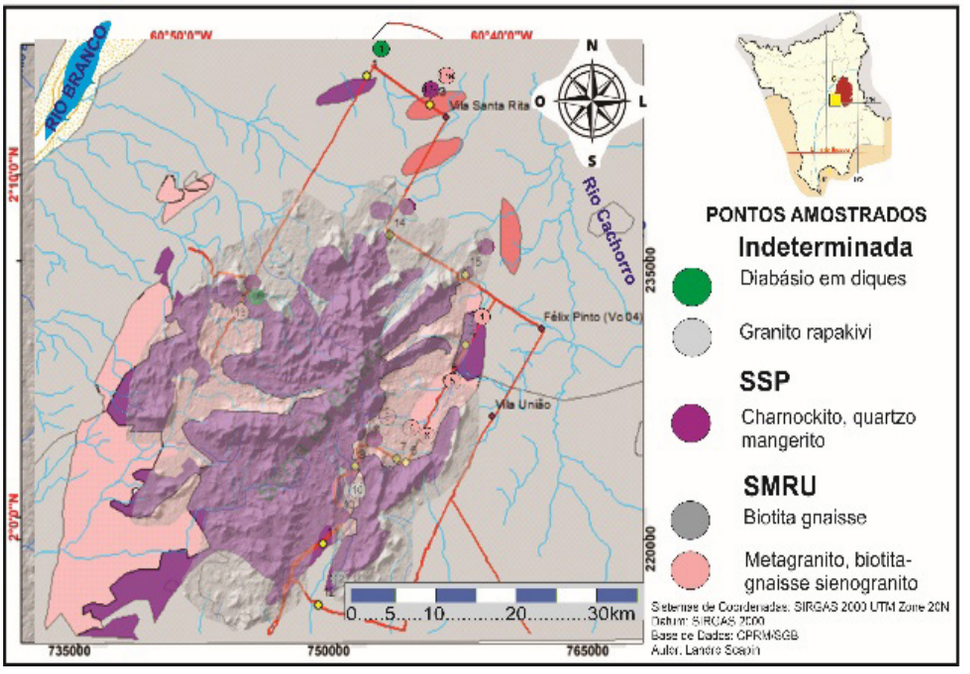


Figura 5 – Mapa geológico da Serra da Balata.

Para Tavares Júnior, Gomes e Beserra Neta (2024) “a interferometria por Radar de Abertura Sintética (InSAR) se faz uma técnica poderosa para gerar (MDE) de alta resolução“. A gratuidade e disponibilidade das imagens SAR de alta qualidade ganharam relevância na integração de MDE aos recursos vetoriais de ferramentas como o ArcGis. Essa condição possibilita o “fazer ciência“ de forma mais democrática.

CONCLUSÃO

As ferramentas de tratamento e vetorização e mapeamento são essenciais na atual abordagem das geociências e permitiram realçar a rugosidade do terreno agregado ao jogo de imagens RGB ou gama canal K, melhorando o entendimento litoestrutural do contexto da Serra da Balata.

Roraima, em especial a porção do Cinturão Rio Urubu, carecem de estudos de campo e de mapeamento em escalas maiores para um melhor delineamento das feições litoestruturais contribuindo assim, no melhor entendimento geológico.

Esse processamento contribuiu para o entendimento de sua correspondência litológica e estrutural do mapeamento geológico em escala de 1:50.000, fornecendo subsídios para a compreensão da evolução geológica regional.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Iniciação Científica da Universidade Federal de Roraima pela oportunidade da atividade de pesquisa e ao Departamento de Geociências pelo apoio técnico-logístico, principalmente aos professores da disciplina de sensoriamento remoto, geomorfologia, geologia estrutural e geoprocessamento, que viabilizaram a consecução desse trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Fraga, L. M. *et al*. (2009). *1.94–1.93 Ga* charnockitic magmatism from the central part of the Guyana Shield, Roraima, Brazil: single-zircon evaporation data and tectonic implications. *Journal of South American Earth Sciences*, *27*(4), 247-257.

Fraga, L. M. *et al.* (2024). *Early Orosirian belts of the central Guiana Shield, northern Amazonian Craton: U-Pb geochronology and tectonic implications. Precambrian Research, v. 407, 107362.*

Mendes, P. R. S. *et al*. (2023). Mapa Geológico do Centro-Sudeste de Roraima. Manaus: SGB-CPRM. Escala 1:500.000. Projeto Centro-Sudeste de Roraima. Ação Levantamento Geológico e de Potencial Mineral de Novas Fronteiras. Programa Geologia, Mineração e Transformação Mineral.

Reis, N. J., Fraga, L. M., e Almeida, M. (2003). Geologia do estado de Roraima, Brasil. *Géologie de la France*, (2-3-4), 121-134.

Tavares Júnior, S. S., Gomes, A. A., e Beserra Neta, L. C. (2024). Neotectónica no Hemigraben do Tacutu (Roraima, Amazônia): análise de evidências geomorfológicas. In *Dinâmicas geomorfológicas no espaço e no tempo/X Congresso Nacional de Geomorfologia*.

ESRI 2011. ArcGIS Desktop: Versão 10. Redlands, CA: s/d..ArcGis 10.6.1 Esri - disponível em https://www.esri.com/pt-br/home acesso em 1 jun 2025.

ESA SNAP – StaMPS Integrated Processing for Sentinel-1 Persistent Scatterer Interferometry. 2018. Authors: Foumelis, A. M.[1], Blasco, J. M. D.[2]; Desnos, Y. L.[3] e Engdahl, M.[3]. [1]University of Thessaloniki; [2]Randstad for European Space Agency; [3]European Space Agency, disponível em https://step.esa.int/main/ acesso em 25 abr 2025.

EVIDÊNCIAS DE NEOTECTÔNICA NA FORMAÇÃO BOA VISTA E SUAS IMPLICAÇÕES NA DINÂMICA DO GRÁBEN DO TACUTU, CENTRO-NORTE DE RORAIMA

Nicolle Emanoelle Alves dos Santos Nascimento[1]; Stélio Soares Tavares Júnior[1]; Luiza Câmara Beserra Neta[1]; António Alberto Teixeira Gomes[2]

[1]Universidade Federal de Roraima - UFRR; [2] Universidade de Porto - UPORTO

nicollenascimento74@gmail.com; *stelio.tavares@ufrr.br*; **luiza.camara@ufrr.br; atgomes@letras.up.pt**

RESUMO

Apesar da reconhecida estabilidade do Cráton Amazônico, evidências recentes de atividade neotectônica têm sido objeto de estudo, especialmente em sua porção norte. Diante do crescente interesse geológico na exploração de hidrocarbonetos na Bacia do Tacutu e no litoral da Guiana, este estudo investigou variações topográficas sutis na Formação Boa Vista, localizada no centro-norte de Roraima. O objetivo foi correlacionar essas variações com a tectônica da bacia sedimentar do Tacutu. A metodologia empregada envolveu a fotointerpretação geológica em uma base cartográfica, seguindo um método lógico-sistemático. Foi utilizado um Modelo Digital de Elevação (MDE) de 10x10 metros de resolução espacial, obtido por interferometria SAR, para classificar intervalos altimétricos por meio da análise estatística do desvio padrão. Os procedimentos metodológicos identificaram um intenso controle estrutural da rede de drenagem e feições geomorfológicas como o alinhamento de corpos lacustres e descontinuidades topográficas sutis com orientação preferencial NW-SE. Essas feições estruturais e geomorfológicas observadas sugerem a reativação de antigas estruturas geológicas na porção norte do Cráton Amazônico. Tais processos podem estar relacionados à evolução tectônica da Bacia do Tacutu, bem como à formação de reservatórios de hidrocarbonetos e depósitos minerais. Dessa forma, os resultados são relevantes para a exploração econômica e para a avaliação de riscos geológicos na região.

PALAVRAS-CHAVE: Geomorfologia estrutural; Interferometria SAR; Amazônia

INTRODUÇÃO

A porção setentrional do Cráton Amazônico, apesar de sua clássica caracterização como área intraplaca de estabilidade tectônica, tem sido objeto de crescente interesse científico devido às evidências de neotectônica. Indícios de processos tectônicos recentes nos sedimentos da Formação Boa Vista têm sido registrados, sugerindo reativação de estruturas pré-existentes em uma região tradicionalmente considerada estável.

A literatura científica apresenta diversas investigações que apontam para a ocorrência de neotectônica na região. Eiras e Kinoshita (1988) e Reis *et al*. (2002) aprofundaram os estudos, documentando a influência dessas atividades na deposição e no arranjo estrutural da referida formação. Em uma escala mais ampla, os trabalhos de Rossetti *et al*. (2017, 2022) e Bezerra *et al*. (2023) também fornecem registros de neotectônica no Cráton Amazônico, reforçando a concepção de que processos tectônicos moldam essa vasta região intraplaca.

A investigação das evidências de neotectônica e sua possível relação com a reativação de estruturas tectônicas mesozoicas da Bacia do Tacutu, assim como com a dinâmica atual de seu sistema de gráben, é de extrema relevância no contexto regional do Escudo das Guianas.

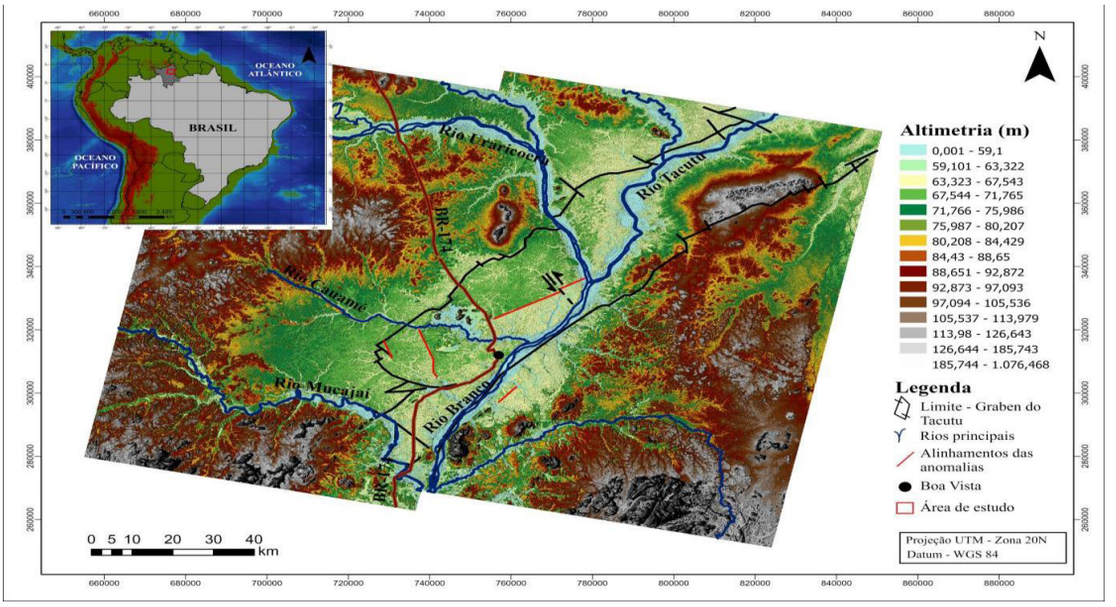


Figura 1 – A imagem exibe um **relevo sombreado multidirecional** do **centro-norte de Roraima**, destacando a localização da área de estudo, **classificação altimétrica estatística e os limites do Gráben do Tacutu (HAHN *et al*., 2012).**

Conforme salientado por Kroonenberg (2025), o aumento das pesquisas geológicas na área está intrinsecamente ligado a prospecção de mineralização de ouro e à exploração petrolífera nas bacias sedimentares adjacentes.

O estudo dessas estruturas neotectônicas pode fornecer insights cruciais sobre a arquitetura e a evolução dessas bacias, impactando diretamente a compreensão dos processos de migração e concentração de hidrocarbonetos, além de desempenhar um papel significativo na gênese de depósitos minerais. A identificação e caracterização dessas deformações recentes na superfície terrestre são, portanto, fundamentais para a interpretação da dinâmica crustal regional e para a avaliação de riscos geológicos associados, contribuindo para um entendimento mais abrangente dos processos que moldam a região amazônica.

O objetivo principal da pesquisa consistiu na identificação e caracterização de anomalias topográficas e hidrográficas sutis que ocorrem na área de abrangência da Formação Boa Vista, localizada no centro-norte de Roraima (figura 1). Essa identificação foi realizada por meio da análise de produtos derivados de feições estruturais e geomorfológicas, que foram fotointerpretadas em imagens do Modelo Digital de Elevação (MDE), gerado a partir da técnica de Interferometria SAR (Radar de Abertura Sintética), e posteriormente observadas em campo.

Adicionalmente a pesquisa visa investigar a correlação espacial e a disposição das feições neotectônicas identificadas na Formação Boa Vista. Essa investigação incluirá a análise de sua relação com a geometria e a orientação do Gráben do Tacutu, buscando assim compreender se há reativação de estruturas pré-existentes que condicionam o relevo atual.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado na porção centro-norte do estado de Roraima, Amazônia brasileira. Geologicamente, a região é recoberta por sedimentos semiconsolidados da Formação Boa Vista, cuja datação abrange o Pleistoceno Superior e o Holoceno Superior, conforme Oliveira *et al*. (2023). A área é caracterizada pela presença marcante do lavrado roraimense, um ecossistema savânico de grande extensão. Este lavrado, conforme descrito por Carvalho e Morais (2020), constitui uma vasta superfície relativamente plana, exibindo suaves ondulações e altitudes que variam entre 50 e 200 metros. A cobertura vegetal dominante é composta por gramíneas em áreas abertas, intercaladas com vegetação arbustiva.

A metodologia empregada envolveu a utilização da técnica de Interferometria SAR (Radar de Abertura Sintética) que obtém a diferença de fase de um par de cenas SAR. Primeiramente, processou-se um par interferométrico de imagens Sentinel-1 no modo Single Look Complex (SLC) da Agência Espacial Europeia (ESA), adquiridas em 27/03/2022 e 26/02/2023, na polarização VV. As imagens possuem resolução espacial de 10 x 10 metros com uma linha de base de 39 metros.

O processamento para a geração do MDE foi realizado no software SNAP v.11.0.0, seguindo etapas padrões para InSAR, que incluem a aplicação do co-registro preciso das imagens, geração do interferograma, remoção da fase topográfica (utilizando informações orbitais precisas), filtragem para redução de ruído, desdobramento de fase, utilizando algorítimos adequados, e por fim, a geocodificação do MDE resultante para o sistema de coordenadas geográficas desejado.

A partir do MDE geocodificado, foram derivados produtos como o mapa da

rede de drenagem, utilizado para identificar possíveis controles estruturais nos padrões de escoamento, gerado a partir de procedimentos de geoprocessamento no software Arcgis Pro v.3.2. Além disso, a imagem do relevo sombreado foi produzida para realçar sutis variações topográficas e identificar alinhamentos e descontinuidades na superfície da Formação Boa Vista. A análise fotointerpretativa desses produtos em am-

biente SIG permitiu a vetorização e interpretação de feições lineares, cuja orientação e distribuição espacial foram comparadas com a geometria conhecida do gráben, inferida a partir de estudos geológicos regionais.

Para auxiliar na delimitação da Formação Boa Vista, a imagem do relevo sombreado foi empregada como imagem de intensidade na fusão via técnica IHS, junto à imagem gamaespectrométrica de Contagem Total (CT). As propriedades espectrais e topográficas de cada pixel, combinadas nessa nova imagem, foram fundamentais para essa delimitação.

RESULTADOS

Através da análise do Modelo Digital de Elevação (MDE) derivado de dados InSAR, foi possível identificar sutis descontinuidades topográficas na porção centro-norte de Roraima, em particular na área de ocorrência da Formação Boa Vista e do Gráben do Tacutu.

Na representação cartográfica 2D, essas descontinuidades se manifestam como lineamentos estruturais, com orientações NE-SW e NW-SE, associada a movimentos transcorrentes sinistrais. A partir de fotointerpretação detalhada de imagens do satélite Sentinel-2, complementada por observações de campo, constatou-se que tais descontinuidades topográficas se correlacionam com uma série de feições geomorfológicas. Entre elas, destacam-se a retilinearidade de drenagens, a presença de lagoas alongadas e sutis desníveis topográficos que atingem variações de altitude de até 8 metros. A persistência e alinhamento dessas feições são indicativos de processos tectônicos recentes na esculturação da paisagem local.

A fusão das imagens CTxMDE/InSAR permitiu a criação de um produto sinérgico, combinando dados espectrais e topográficos. Os resultados mostraram-se eficazes na delimitação da Formação Boa Vista ao revelar sua assinatura gamaespectrométrica característica, juntamente com as nuances topográficas discerníveis no MDE/InSAR.

DISCUSSÃO

Com base em evidências geomorfológicas como alinhamentos topográficos, controle estrutural da drenagem e o alinhamento de lagoas, sugere-se a ocorrência de atividade neotectônica na área da Formação Boa Vista, em Roraima. Essas feições são compatíveis com a orientação do Gráben do Tacutu, reforçando a hipótese de reativação de antigas zonas de fraqueza crustal do Cráton Amazônico Central. As orientações principais do gráben, segundo Eiras e Kinoshita (1988), são predominantemente NE-SW, diferindo da orientação NW-SE do indicador cinemático da figura 2, o que sugere reativação de estruturas secundárias relacionadas ao gráben.

Os resultados obtidos, ao indicarem atividade neotectônica contínua na Formação Boa Vista e no Gráben do Tacutu, reforçam o entendimento das implicações, na dinâmica interna desta estrutura. Assim como em Rossetti *et al*. (2017, 2022), que abordam a dinâmica de bacias sedimentares em contextos tectônicos similares.

A técnica InSAR é relevante para detectar deformações sutis, auxiliando na compreensão da evolução geotectônica do norte da Amazônia, um avanço corroborado por Paradella *et al*. (2021).

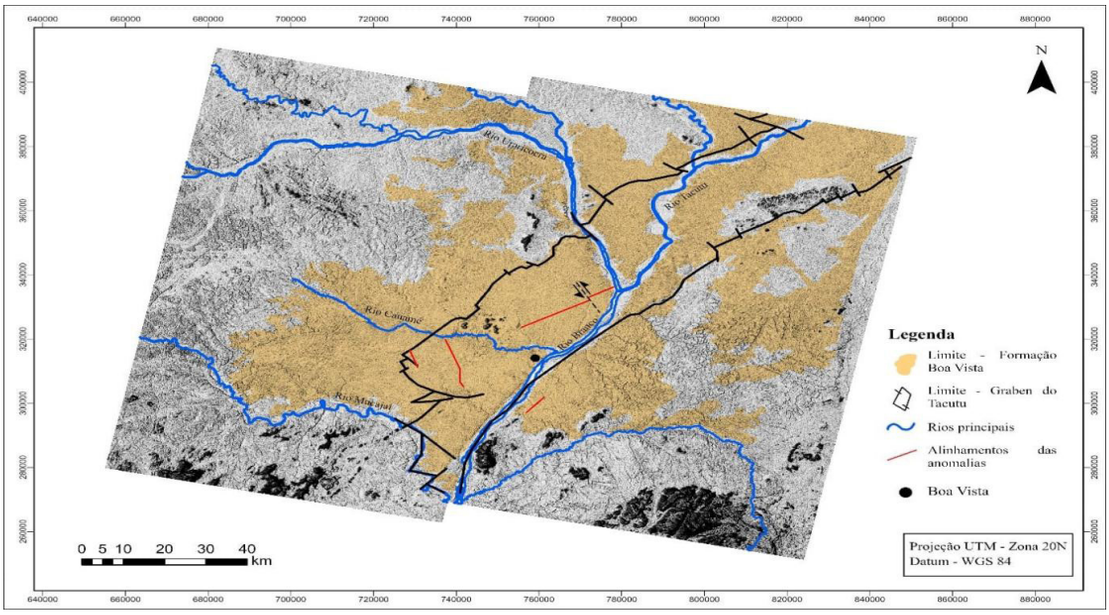


Figura 2 – A imagem corresponde ao MDE com sombreamento multidirecional, destacando a delimitação dos sedimentos da **Formação Boa Vista** e os **lineamentos estruturais**, evidenciados por **anomalias topográficas e hidrográficas**.

Apesar dessa relevância, a análise integradora empregada neste trabalho não confirma que as feições superficiais interpretadas estão ligadas a estruturas geológicas profundas. Essa abordagem é crucial para a exploração de recursos naturais, como apontado por Kroonenberg (2025), indicando áreas com potencial mineral e petrolífero.

CONCLUSÕES

A compreensão da geologia de Roraima, especialmente em áreas de difícil acesso e densa cobertura vegetal, é relevante para o avanço geocientífico regional. Este estudo demonstrou a eficácia da integração de técnicas de sensoriamento remoto para o mapeamento geológico preciso da Formação Boa Vista. Essa abordagem robusta não apenas confirmou a extensão esperada da formação, mas também permitiu sua clara distinção das unidades geológicas vizinhas no centro-norte de Roraima. A fusão IHS foi utilizada apenas como um recurso complementar para o aprimoramento da delimitação, e não como uma ferramenta principal para os objetivos do trabalho. A aplicação da técnica InSAR permitiu a identificação de variações altimétricas e alinhamentos estruturais, sugerindo a influência de processos neotectônicos na região.

A análise revelou a presença de lineamentos, mas a compreensão de seu significado geológico exige a continuidade da pesquisa. É provável que essas estruturas tenham implicações importantes para a compartimentação de reservatórios de hidrocarbonetos e para a localização de mineralizações. Deste modo, para aprofundar a compreensão dos processos neotectônicos e refinar a caracterização das estruturas identificadas, futuras investigações de campo incluirão a aplicação do GPR para caracterizar o subsolo raso.

Contudo, os resultados obtidos reforçam a relevância da integração entre geologia e geomorfologia, sensoriamento remoto e geoprocessamento na detecção de variações topográficas sutis em áreas de baixo relevo.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Pesquisa, Ciência e Tecnologia (CNPq) pela concessão de bolsa de iniciação científica (PIBIC/CNPq) e ao Núcleo Integrado de Pesquisa e Educação Ambiental (HYDROS/UFRR) por conceder o Laboratório de Geotecnologias (GEOTEC) para a elaboração do trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bezerra, F. H.; Marques, F. O.; Vasconcelos, D. L.; Rossetti, D. F.; Tavares, A. C.; Maia, R. P.; Castro, D. L.; Nogueira, F. C. C.; Fuck, R. A.; Medeiros, W. E. (2023). Review of tectonic inversion of sedimentary basins in NE and N Brazil: Analysis of mechanisms, timing and effects on structure and relief. Journal of South American Earth Sciences, 126, 104356.

Carvalho, T. M.; Morais, R. P. (2020). A paisagem do lavrado, nordeste de Roraima, como escala espacial para gestão territorial: uma questão urbano ambiental. Ciência Geográfica, 24, 1462-1477.

Eiras, J. F.; Kinoshita, E. M. Evidências de movimentos transcorrentes na Bacia do Tacutu. (1988). Boletim de Geociências da Petrobrás, 2 (2/4), 193-208.

Hahn, P. Y. S.; Tavares Júnior, S. S.; Beserra Neta, L. C.; Gauger, A. P. (2012). Caracterização das unidades morfoestruturais do Hemigraben Tacutu, norte de Roraima. Revista Geonorte, 2, 1378-1383.

Kroonenberg, S. (2025). The Changing Framework of the Guiana Shield. Springer, Cham.

Menezes, F. B. T.; Wankler, F. L.; Veloso, R. S.; Gama, C. V. C. (2020). Sistemas deposicionais fluviais: análise estratigráfica das unidades sedimentares da Formação Boa Vista, nordeste da Bacia do Tacutu, RR. Revista Geográfica Acadêmica, 14, 69-93.

Oliveira, A. C.; Holanda, E.C.; Tatumi, S. H.; Yee, M. (2023). OSL and radiocarbon dating and evidence of paleo-wildfires in Quartenary deposits of the Tacutu Basin, northwestern Brazil. Journal of South American Earth Sciences, 127, 104377.

Paradella, W. R.; Mura, J. C.; Gama, J. F. (2021). Monitoramento DInSAR para Mineração e Geotecnia. Oficina de Textos, São Paulo.

Reis, N. J.; Faria, M. S. G.; Maia, M. A. M. O quadro Cenozoico da porção norte-oriental do Estado de Roraima. (2002). In: Evandro Luiz Klein; Marcelo Lacerda Vasquez; Lúcia Travassos da Rosa-Costa. (eds). Contribuições à Geologia da Amazônia. Sociedade Brasileira de Geologia - Núcleo Norte, 3, 259-272.

Rossetti, D. F.; Gribel, R.; Rennó, C. D.; Cohen, M. C. I.; Moulatlet, G. M.; Cordeiro, C. L. O.; Rodrigues, E. S. F. (2017). Late Holocene tectonic influence on hydrology and vegetation patterns in a northen Amazonian megafan. Catena, 158, 121-130.

Rossetti, D. F.; Vasconcelos, D. L.; Bezerra, F. H. R.; Valeriano, F. C. A.; Molina, E. C. (2022). A large-scale domal relief due to intraplate neotectonic compression in central Amazonia. Geomorphology, 407, 108218.