



FCT
FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

Universidade Federal de Goiás
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Curso de Graduação em Geologia

**QUÍMICA MINERAL E CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE
MILONITOS DA REGIÃO DE ARAGUAÇU-TO PARA APLICAÇÃO
NO SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS**

ELIFAS GUIMARÃES SOUZA

Aparecida de Goiânia – GO

Julho, 2024



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio do Repositório Institucional (RI/UFG), regulamentado pela Resolução CEPEC no 1240/2014, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei no 9.610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo dos Trabalhos de Conclusão dos Cursos de Graduação disponibilizado no RI/UFG é de responsabilidade exclusiva dos autores. Ao encaminhar(em) o produto final, o(s) autor(a)(es)(as) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação (TCCG)

Nome(s) completo(s) do(a)(s) autor(a)(es)(as): ELIFAS GUIMARÃES SOUZA

Título do trabalho: QUÍMICA MINERAL E CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE MILONITOS DA REGIÃO DE ARAGUAÇU-TO PARA APLICAÇÃO NO SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS

2. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador) Concorda com a liberação total do documento [X] SIM [] NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante: a) consulta ao(à)(s) autor(a)(es)(as) e ao(à) orientador(a); b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo do TCCG. O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro.

Obs.: Este termo deve ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Jose De Araujo Nogueira Neto, Professor do Magistério Superior**, em 01/08/2024, às 16:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Elifas Guimarães Souza, Discente**, em 02/08/2024, às 10:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4710342** e o código CRC **78256C2C**.

Referência: Processo nº 23070.037208/2024-31

SEI nº 4710342



ELIFAS GUIMARÃES SOUZA (201804868)

**QUÍMICA MINERAL E CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE
MILONITOS DA REGIÃO DE ARAGUAÇU-TO PARA APLICAÇÃO
NO SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS**

**Trabalho final de conclusão de curso
apresentado à Faculdade de Ciências e
Tecnologia como parte dos requisitos
para conclusão do curso de Geologia da
Universidade Federal de Goiás.**

Orientador: Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto

Coorientador: MSc. Mateus Andrade Reis

Aparecida de Goiânia – GO

Julho, 2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Souza, Elifas Guimarães
QUÍMICA MINERAL E CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE MILONITOS DA REGIÃO DE ARAGUAÇU-TO PARA APLICAÇÃO NO SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS [manuscrito] / Elifas Guimarães Souza. - 2024.
CXL, 140 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto; co orientador Mateus Andrade Reis.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Goiás, Campus Aparecida de Goiânia, Geologia, Aparecida de Goiânia, 2024.

Bibliografia. Anexos.
Inclui siglas, mapas, fotografias, abreviaturas, símbolos, gráfico, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Caracterização Tecnológica. 2. Química mineral. 3. Rochas Ornamentais. 4. Mapeamento litoestrutural. I. Neto, José de Araújo Nogueira, orient. II. Título.

CDU 548/549



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 30 dias do mês de julho do ano de 2024 iniciou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado “QUÍMICA MINERAL E CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE MILONITOS DA REGIÃO DE ARAGUAÇU-TO PARA APLICAÇÃO NO SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS”, de autoria de ELIFAS GUIMARÃES SOUZA, do curso de BACHAREL EM GEOLOGIA, da Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT) da UFG. Os trabalhos foram instalados pelo Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto – Orientador, FCT/UFG com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Prof. Dr. Francisco Diones Oliveira Silva – Unidade Acadêmica de Crateús/UFC e da Profª. Drª. Débora Ezequiel Cavalcanti – FCT/UFG. Após a apresentação, a banca examinadora realizou a arguição do estudante. Posteriormente, de forma reservada, a Banca Examinadora atribuiu a nota final de 9,50 tendo sido o TCC considerado aprovado. Proclamados os resultados, os trabalhos foram encerrados e, para constar, lavrou-se a presente ata que segue assinada pelos Membros da Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Debora Ezequiel Cavalcanti, Professora do Magistério Superior**, em 31/07/2024, às 08:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jose De Araujo Nogueira Neto, Professor do Magistério Superior**, em 31/07/2024, às 08:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **FRANCISCO DIONES OLIVEIRA SILVA, Usuário Externo**, em 01/08/2024, às 15:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4704514** e o código CRC **88D0C7E4**.

Referência: Processo nº 23070.037208/2024-31

SEI nº 4704514

*Dedico este trabalho ao meu pai,
Dirceu Guimarães.*

AGRADECIMENTOS

Finalmente, ao término desta etapa profissional tão significativa, gostaria de expressar minha profunda gratidão a todos que tornaram este trabalho possível. Este projeto não foi concluído isoladamente; contou com a colaboração de muitos profissionais, amigos e familiares, cada um contribuindo separadamente, mas com o objetivo comum de promover o meu crescimento pessoal e profissional.

Agradeço à minha família, em especial aos meus pais, Marlene de S. Silva e Dirceu Guimarães, que me apoiaram ao longo de toda minha jornada de vida e acompanharam com dedicação minha trajetória acadêmica, tornando todo o processo menos tenso e mais prazeroso.

À minha irmã, Gabriella Almeida, que apesar da distância, sempre me apoiou e incentivou, mostrando-se presente em todos os momentos importantes.

Aos meus colegas Yuri Brito, Guilherme Felype e Geovanne Santiago, que foram fundamentais na minha vida acadêmica e profissional, colaborando de forma significativa e me ajudando ao longo desta jornada.

Ao coorientador, MSc Mateus Andrade Reis, pela valiosa assistência em várias etapas deste trabalho, especialmente na parte de campo, inspirando-me a explorar os dados disponíveis da melhor maneira possível.

À UFG, em especial a todos os professores do curso de Geologia, que foram imprescindíveis para minha formação, obrigado por compartilharem conhecimento com tanta dedicação, amor e carinho.

À Prof^a. Dra. Débora Ezequiel Cavalcanti, por todo auxílio ao longo dessa caminhada do curso de graduação, e principalmente neste trabalho.

À empresa Geoflex Serviços de Mineração, em nome do Fernando Veloso (Nanau) por proporcionar o financiamento deste trabalho.

Ao CRTI e sua equipe, representada por Paulo R. G. Silva e Itália Vellerini, pelo suporte técnico que tornaram possível a realização deste trabalho.

Por fim, agradeço, de maneira, mais que especial, ao meu orientador Dr. José de Araújo Nogueira Neto, por ser não apenas um guia acadêmico, mas também um grande amigo nesta jornada. Sua capacidade de transmitir conhecimento de forma acessível, sua disponibilidade e paciência, mesmo nos momentos mais improváveis, foram fundamentais para o sucesso deste trabalho.

"Acredite em si próprio e haverá dias em que outros não terão outra escolha senão acreditar com você."

Cynthia Kersey

RESUMO

O trabalho em questão trata da caracterização tecnológica e da química mineral de um milonito localizado no município de Araguaçu, situado na mesorregião Ocidental, região sul do Estado do Tocantins, e microrregião Rio Formoso, fazendo divisa com o Estado de Goiás. Geologicamente, esta área se insere na porção centro-norte da Província estrutural do Tocantins, no limite ainda não bem definido dos orógenos Brasília e Araguaia. O trabalho teve como objetivo principal realizar o mapeamento litoestrutural da área, caracterizar a química mineral e avaliar o potencial de rochas miloníticas que ocorrem na região de Araguaçu-TO, para uso como rocha ornamental, buscando avaliar seus parâmetros tecnológicos, em conformidade com os parâmetros da ABNT, ASTM e Frazão e Farjallat, visando indicar este material para aplicações no mercado de rochas ornamentais. Visto que nos últimos anos, houve um aumento significativo na demanda por rochas ornamentais, impulsionado pelo crescimento da construção civil e do turismo, o que gerou grande pressão sobre as jazidas e aumentou a necessidade de um gerenciamento sustentável dos recursos naturais e a busca por alternativas de produção. Na área de estudo, foram mapeados, da base para o topo, quatro litotipos: I - Grupo Baixo Araguaia, mais especificamente a Formação Xambioá; II - Formação Água Bonita; III - Milonito; objeto do presente estudo, e IV - Coberturas detrito-lateríticas, apresentando uma estruturação principalmente NE-SW. O estudo fornece uma base geológica na escala de 1:30.000. Os resultados sugerem que o milonito é adequado para diversas aplicações na indústria da construção civil, tais como revestimentos de pisos e paredes, bancadas e pias, fachadas e revestimentos externos, escadarias, entre outros.

Palavras-Chave: Caracterização Tecnológica, Química mineral, Rochas Ornamentais, Mapeamento litoestrutural.

ABSTRACT

The study in question deals with the technological characterization and mineral chemistry of a mylonite located in the municipality of Araguaçu, situated in the Western mesoregion, southern region of the State of Tocantins, and the Rio Formoso microregion, bordering the State of Goiás. Geologically, this area is part of the north-central portion of the Tocantins structural province, at the still poorly defined boundary of the Brasília and Araguaia orogens. The main objective of the work was to carry out lithostructural mapping of the area, characterize the mineral chemistry, and assess the potential of mylonitic rocks occurring in the Araguaçu-TO region for use as ornamental stone. The aim was to evaluate their technological parameters, in accordance with the standards of ABNT, ASTM, and Frazão and Farjallat, to indicate this material for applications in the ornamental stone market. In recent years, there has been a significant increase in demand for ornamental stones, driven by the growth of the construction industry and tourism, which has put great pressure on deposits and increased the need for sustainable management of natural resources and the search for alternative production methods. In the study area, four lithotypes were mapped from the base to the top: I - Baixo Araguaia Group, specifically the Xambioá Formation; II - Água Bonita Formation; III - Mylonite, the subject of this study; and IV - Detrital-lateritic covers, showing a predominantly NE-SW structure. The study provides a geological base at a scale of 1:30,000. The results suggest that the mylonite is suitable for various applications in the construction industry, such as floor and wall coverings, countertops and sinks, facades and exterior cladding, staircases, among others.

Keywords: Technological Characterization, Mineral Chemistry, Ornamental Rocks, Lithostructural Mapping.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo, onde a mesma situa-se no município de Araguaçu, mesorregião Ocidental e região sul do Estado do Tocantins, divisa com o Estado de Goiás.	28
Figura 2: Contatos intergranulares. (Modificado de Mesquita, 2002).	34
Figura 3: Lâminas utilizadas no MEV/EDS com os campos de interesse marcados.	36
Figura 4: Esquema do ensaio de resistência à flexão por 3 pontos.	39
Figura 5: Esquema do ensaio de resistência à flexão por 4 pontos.	40
Figura 6: Esquema do ensaio de desgaste por abrasão de Amsler.	41
Figura 7: Esquema do ensaio de resistência ao impacto de corpo duro.	43
Figura 8: Faixa Brasília (Adaptado de Dardenne 2000, Pimentel et al. 2000, Valeriano et al. (2004)).	45
Figura 9: Mapa Geológico da área de estudo. (Fonte: Schobbenhaus et al., 1975).	50
Figura 10: Mapa de domínios Homólogos e lineamentos estruturais, indicando direção preferencial NE-SW.	53
Figura 11: Diagrama de rosetas para os lineamentos interpretados, indicando direção preferencial NE-SW.	53
Figura 12: Gráfico do climograma de temperaturas máximas e mínimas e a precipitação pluvial mensal (Fonte: INMET/CFS/Interpolação – in: http://www.climatempo.com.br/climatologia).	56
Figura 13: Mapa Hipsométrico e de Declividade.	57
Figura 14: Mapa pedológico, destacando a predominância dos solos do tipo Plintossolo Argilúvico, Latossolo Vermelho/Vermelho-Amarelo Distrófico na área de estudo.	59
Figura 15: Proporção de uso e ocupação do solo na área de estudo. Destacando uma maior proporção de pastagem na área de estudo.	60
Figura 16: Mapa de uso e ocupação do solo. Indicando a presença de Pastagem, Formação Florestal, Formação Savânica e Área Pantanosa.	60
Figura 17: Mapa Hidrográfico, destacando que a área de estudo está inserida no contexto da Bacia do Rio Formoso.	62
Figura 18: Mapa Geológico local.	63
Figura 19: A: Afloramento de Xisto intemperizado. B: Amostra de mão indicando a orientação dos minerais segundo o plano de foliação.	65

Figura 20: Afloramento de albita xisto em chão de estrada.	66
Figura 21: Lajedo de rocha milonítica.	67
Figura 22: Afloramento em corte de estrada dos conglomerados	67
Figura 23: Seixo com textura sacaroidal	68
Figura 24: A: Comparação entre seixos da Formação Água Bonita e amostras de laterita. B: Lajedo de laterita apresentando seixo proveniente da Formação Água Bonita.	69
Figura 25: Esquema estrutural da área.	70
Figura 26: Foliação S_n observada em afloramento de xistos da Formação Xambioá.	71
Figura 27: Projeção estereográfica dos planos dos planos da foliação principal.	71
Figura 28: Dobras de crenulação e foliação S_{n+1} marcada em mica-xisto.	72
Figura 29: Projeção estereográfica dos polos dos planos da foliação S_n	72
Figura 30: A: Foliação milonítica bem marcada. B: Falha. C: Dobra de arrasto.	73
Figura 31: Projeção estereográfica dos polos dos planos da foliação milonítica.....	73
Figura 32: Projeção estereográfica dos polos dos planos das Fraturas.	74
Figura 33: Amostras macroscópicas exibindo as possíveis variações composicionais.....	75
Figura 34: Variação composicional das lâminas petrográfica.....	77
Figura 35: Relações de quantidades minerais nas lâminas estudadas.	78
Figura 36: Variação composicional entre regiões incolores, predomínio de qtz. e fds., e região esverdeada, predomínios de amp. A: Luz Natural; B: Luz ortoscópica	79
Figura 37: Estrutura cristalina do anfibólio. Fonte: American Mineralogist Crystal Structure Database.....	81
Figura 38: Espectro do anfibólio obtido no ensaio MEV/EDS(superior), comparados com dados do Laboratório Microanalítico de Ciências da Terra e Planetárias da Universidade McGill (inferior).....	82
Figura 39: Estrutura cristalina do plagioclásio. (Fonte: American Mineralogist Crystal Structure Database).....	83
Figura 40: Espectro do plagioclásio obtido no ensaio MEV/EDS(superior), comparados com dados do Laboratório Microanalítico de Ciências da Terra e Planetárias da Universidade McGill (inferior).....	84
Figura 41: Estrutura cristalina da biotita. (Fonte: Navarro et al., 2017)	85

Figura 42: Espectro da biotita obtido no ensaio MEV/EDS (superior), comparados com dados do Laboratório Microanalítico de Ciências da Terra e Planetárias da Universidade McGill (inferior).....	86
Figura 43: Estrutura cristalina da clorita (Fonte: Navarro et al., 2017).	87
Figura 44: Espectro da clorita, obtido no ensaio MEV/EDS (superior), comparados com dados do Laboratório Microanalítico de Ciências da Terra e Planetárias da Universidade McGill (inferior).....	88
Figura 45: Estrutura cristalina do feldspato alcalino (Fonte: Navarro et al., 2017).	89
Figura 46: Espectro do feldspato alcalino, obtido no ensaio MEV/EDS(superior), comparados com dados do Laboratório Microanalítico de Ciências da Terra e Planetárias da Universidade McGill (inferior).	90
Figura 47: Estrutura cristalina da pirita. (Fonte: American Mineralogist Crystal Structure Database).....	91
Figura 48: Espectro da pirita obtido no ensaio MEV/EDS (superior), comparados com dados do Laboratório Microanalítico de Ciências da Terra e Planetárias da Universidade McGill (inferior).	91
Figura 49: Estrutura cristalina da calcopirita. (Fonte: American Mineralogist Crystal Structure Database).....	92
Figura 50: Espectro da calcopirita obtido no ensaio MEV/EDS (superior), comparados com dados do Laboratório Microanalítico de Ciências da Terra e Planetárias da Universidade McGill (inferior).....	93
Figura 51: Estrutura cristalina da calcita. . (Fonte: American Mineralogist Crystal Structure Database).....	94
Figura 52: Espectro da calcita obtido no ensaio MEV/EDS(superior), comparados com dados do Laboratório Microanalítico de Ciências da Terra e Planetárias da Universidade McGill (inferior).	94
Figura 53: Resultados de massa específica aparente para rocha estudada comparados ao microfissuramento.	98
Figura 54: Resultados de porosidade aparente e absorção d'água para a rocha estudada.	99
Figura 55: Relação dos valores médios da resistência à compressão nas condições seca e após o congelamento e degelo comparados com a porosidade.....	100

Figura 56: Relação dos valores médios da resistência à compressão nas condições seca e após o congelamento e degelo comparados com as microfissuras.	101
Figura 57: Relação dos valores médios da resistência à Flexão por 3 pontos, comparados a porosidade aparente	102
Figura 58: Relação dos valores médios da resistência à Flexão por 3 pontos, comparados ao microfissuramento.	102
Figura 59: Relação dos valores médios da resistência à Flexão por 3 pontos e 4 pontos, comparados a porosidade aparente.	104
Figura 60: Relação dos valores médios do desgaste abrasivo, comparados a porcentagem de quartzo.....	105
Figura 61: Relação dos valores médios do coeficiente de dilatação térmica linear, comparados a porosidade aparente.	106
Figura 62: Relação dos valores médios da Resistência ao impacto de corpo duro, comparados com fissuramento e microfissuras por mm ²	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classe de declividade. Fonte: Santos et al. (2018).	31
Tabela 2: Classificação de granulação dominante. (Fonte: Costa, 2000).....	33
Tabela 3: Classificação da densidade de microfissuras. Fonte: Costa (2000).....	35
Tabela 4: Classificação das rochas segundo o ensaio de compressão uniaxial. Fonte: ISRM (1977).....	39
Tabela 5: Subdivisões e principais características das rochas do Grupo Baixo Araguaia (Compilado de Souza & Moreton (1995)).....	48
Tabela 6: Análise das drenagens.	52
Tabela 7: Tabela de interpretação fotolitológica.	54
Tabela 8: Dados Climatológicos da região de Araguaçu – TO (Fonte: INMET/CFS/Interpolação – in: http://www.climatempo.com.br/climatologia).	55
Tabela 9: Principais características petrográficas.....	76
Tabela 10: Ocupação/substituição dos sítios do anfibólio. (Fonte: Klein & Dutrow, 2012).....	80
Tabela 11: Ocupação/substituição dos sítios da clorita. (Fonte: USP, 2024).....	86
Tabela 12: Resultado dos ensaios de caracterização tecnológica.....	97
Tabela 13: resultados dos índices físicos e sua comparação com valores da bibliografia	98

LISTA DE ANEXOS

ANEXO I - Densidade aparente, porosidade aparente e absorção d'água (NBR 15845/2015 – Parte 2).	116
ANEXO II - Resistência ao congelamento e degelo (NBR 15845/2015 – Parte 4).....	117
ANEXO III - Resistência à compressão uniaxial (NBR 15845/2015 – Parte 5).....	118
ANEXO IV - Módulo de ruptura (flexão por carregamento em 3 pontos) (NBR 15845/2015 – Parte 6).	119
ANEXO V - Flexão por carregamento em 4 pontos (NBR 15845/2015 – Parte7).....	120
ANEXO VI - Resistência ao impacto de corpo duro (NBR 15845/2015 – Parte 8).....	121
ANEXO VII - Ensaio de resistência ao desgaste abrasivo Amsler (ABNT NBR 12042:2012).....	122
ANEXO VIII - Dilatação térmica linear (ABNT NBR 15845/2015 parte 3).....	122
ANEXO IX – Mapa químico do campo 1 – Am. 1.....	123
ANEXO X – Campo 1 – Am. 1, ao microscópio óptico. Luz natural (superior), Luz Ortoscópica (inferior).	124
ANEXO XI - Mapa químico do campo 2 – Am. 1.	125
ANEXO XII – Campo 2 – Am. 1, ao microscópio óptico. Luz natural (superior), Luz Ortoscópica (inferior).	126
ANEXO XIII - Mapa químico da Am. 2 – Campo único.....	127
ANEXO XIV - Am. 2, ao microscópio óptico. Luz natural (superior), Luz Ortoscópica (inferior).....	128
ANEXO XV - Mapa químico do campo 1 – Am. 3.....	129
ANEXO XVI - Mapa químico do campo 3 – Am. 3.	130
ANEXO XVII - Mapa químico do campo 3 – Am. 3.....	131
ANEXO XVIII - Mapa químico do campo 1 – Am. 4.	132
ANEXO XIX - Mapa químico do campo 2 – Am. 4.	133
ANEXO XX – Campo 2 - Am. 4, ao microscópio óptico. Luz natural (superior), Luz Ortoscópica (inferior).	134
ANEXO XXI - Mapa químico do campo 3 – Am. 4.	135
ANEXO XXII - Campo 3 - Am. 4, ao microscópio óptico. Luz natural (superior), Luz Ortoscópica (inferior).	136

ANEXO XXIII - Mapa químico do campo 1 – Am. 4.1.	137
ANEXO XXIV - Campo 1 - Am. 4.1, ao microscópio óptico. Luz natural (superior), Luz Ortoscópica (inferior).....	138
ANEXO XXV - Mapa químico do campo 2 – Am. 4.1.	139
ANEXO XXVI - Campo 2 - Am. 4.1, ao microscópio óptico. Luz natural (superior), Luz Ortoscópica (inferior).	140

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AMG – Arco Magmático de Goiás

Amp – Anfibólio

ASF – Alaska Satellite Facility

ASTM - American Society for Testing and Materials

Bt – Biotita

Chl – Clorita

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

CRTI - Centro Regional para o Desenvolvimento Tecnológico e Inovação

EDS - Energy Dispersive System

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FACI - Faculdade de Tecnologia Cachoeiro de Itapemirim

FCT – Faculdade de Ciência e Tecnologia

Fds – Feldspato

GPS - Global Positioning System

Grt – Granada

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

ISRM - International Society for Rock Mechanics

KFs – Feldspato Potássico

MDE - Modelo Digital de Elevação

MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura

Ms – Muscovita

NBR – Norma Brasileira

Plg – Plagioclásio

Qtz – Quartzo

SEMARH - Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos

SGB - Serviço Geológico do Brasil

SIG - Sistema de Informações Geográficas

UFG- Universidade Federal de Goiás

LISTA DE ELEMENTOS QUÍMICOS

Al - Alumínio

Ba - Bário

C - Carbono

Ca - Cálcio

Cs - Césio

Cu - Cobre

F - Flúor

Fe - Ferro

K - Potássio

Li - Lítio

Mg - Magnésio

Mn - Manganês

Na - Sódio

Ni - Níquel

O - Oxigênio

Rb - Rubídio

S - Enxofre

Si - Silício

Ti - Titânio

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	25
1.1	Justificativa	25
1.2	Objetivos.....	26
1.2.1	Objetivo Geral	26
1.2.2	Objetivo Específico	26
1.3	Localização e vias de acesso.....	27
2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
2.1	Pré campo	29
2.1.1	Levantamento bibliográfico.....	29
2.1.2	Sensoriamento Remoto.....	29
2.1.3	Levantamento Geoambiental.....	30
2.2	Trabalho de campo e coleta de amostras	31
2.3	Análises Laboratoriais	32
2.3.1	Análise Petrográfica	32
2.3.2	Química mineral – MEV/EDS.....	35
2.3.3	Caracterização tecnológica.....	36
3	GEOLOGIA REGIONAL	45
3.1	Orógeno Brasília	46
3.1.1	Arco magmático de Goiás	46
3.2	Orógeno Araguaia.....	47
3.2.1	Grupo Baixo Araguaia - Formação Xambioá.....	47
3.3	Graben Água Bonita – Formação Água Bonita	48
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	51
4.1	Sensoriamento Remoto	51
4.1.1	Domínios Homólogos.....	51

4.1.2	Lineamentos Estruturais	52
4.1.3	Interpretações litológicas	53
4.2	Levantamento Geoambiental	54
4.2.1	Clima	54
4.2.2	Hipsometria e Declividade	56
4.2.3	Solos	57
4.2.4	Uso e Ocupação do Solo.....	59
4.2.5	Hidrografia.....	61
4.3	Unidades Litológicas Mapeadas	62
4.3.1	Grupo Baixo Araguaia – Formação Xambioá	64
4.3.2	Lente de Milonito	66
4.3.3	Graben Água Bonita – Formação Água Bonita.....	67
4.3.4	Coberturas detrito-lateríticas	68
4.4	Geologia Estrutural	69
4.4.1	Componentes estruturais	70
4.5	Análise Petrográfica.....	74
4.5.1	Análise Macroscópica.....	74
4.5.2	Análise Microscópica	75
4.6	Química mineral	79
4.6.1	Anfibólio.....	80
4.6.2	Plagioclásio.....	82
4.6.3	Biotita	84
4.6.4	Clorita	86
4.6.5	Feldspato alcalino	88
4.6.6	Sulfetos	90
4.6.7	Calcita.....	93
4.6.8	Implicações da química mineral nas rochas ornamentais.....	95

4.7	Caracterização tecnológica	96
4.7.1	Índices Físicos - NBR 15845/2015 – Parte 2.	97
4.7.2	Resistencia a compressão uniaxial - NBR 15845/2015 – Parte 5	100
4.7.3	Resistência a flexão em 3 pontos - NBR 15845/2015 – Parte 6.....	101
4.7.4	Resistência a flexão em 4 pontos - NBR 15845/2015 – Parte 7.....	103
4.7.5	Desgaste abrasivo de Amsler – NBR 12042/2012	104
4.7.6	Dilatação térmica linear.....	105
4.7.7	Resistência ao impacto de corpo duro	107
5	CONCLUSÃO.....	108
6	REFRÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	110

1 INTRODUÇÃO

Rochas ornamentais são materiais naturais utilizados em revestimentos, decoração e estruturas, valorizados por suas características estéticas como cor, textura e granulometria. Elas desempenham um papel importante na construção civil e arquitetura, sendo símbolos de riqueza e sofisticação em diversas culturas, incluindo a brasileira. Com o aumento da demanda, impulsionado pela construção civil, a exploração sustentável tornou-se essencial. A pesquisa sobre essas rochas é fundamental para identificar novas jazidas e entender suas características, contribuindo para a economia através da geração de empregos e exportações.

A área de estudo do presente trabalho insere-se em um contexto geológico pouco conhecido e de grande relevância para o entendimento da evolução geológica das Faixas Brasília e Araguaia, que podem ser caracterizadas por sua complexidade e diversidade litológica. A região faz parte de uma unidade geotectônica que abrange rochas de diferentes tipos, que fornecem uma base geológica variada, carecendo, no entanto, de estudos mais detalhados para o seu entendimento.

O presente relatório apresenta os resultados de levantamentos geológicos realizados na região da Fazenda Cajazeira, localizada na porção sul do município de Araguaçu, no Estado do Tocantins. Onde objetivou-se analisar os litotipos aflorantes, reconhecer suas estruturas, realizar a avaliação das características petrográficas da rocha, propriedades físicas, mecânicas e, comparando os parâmetros tecnológicos obtidos com os padrões estabelecidos na bibliografia.

1.1 Justificativa

Rochas ornamentais são materiais rochosos que são extraídos e beneficiados, em variados graus, para serem utilizados em funções de revestimento, decoração ou estrutura (Vidal *et al.*, 2013). Trata-se de um material rochoso natural, submetido à diferentes graus ou tipos de beneficiamento, que por sua vez é utilizado para exercer uma função estética conforme descrito pela ABNT (2015).

No mercado, as rochas ornamentais distinguem-se pelo seu padrão estético, com a cor, a textura e a granulometria sendo elementos chave para essa diferenciação (Guerra *et al.*, 2018). Suas diversas aplicações incluem revestimentos internos e externos, elementos estruturais, componentes arquitetônicos, peças decorativas artísticas e arte funerária.

As rochas ornamentais têm um papel importante no setor de construção civil e arquitetura, sendo comumente utilizadas em revestimentos de edificações, pisos, esculturas e

mobiliários. Além disso, possuem valor estético e cultural, sendo consideradas símbolos de riqueza e sofisticação em muitas culturas ao redor do mundo, incluindo a cultura brasileira (ABIROCHAS).

Nos últimos anos, houve um aumento significativo na demanda por rochas ornamentais, impulsionado pelo crescimento da construção civil. Isso tem gerado uma grande pressão sobre as jazidas, aumentando a necessidade de um gerenciamento sustentável dos recursos naturais e a busca por alternativas de produção.

Dessa forma, a busca e a pesquisa relacionadas a essas rochas se tornaram temas atuais e de grande relevância para a área da geologia, da engenharia civil, da arquitetura e da decoração, visando um uso sustentável dos recursos naturais e a valorização cultural e econômica dessas rochas.

A pesquisa em rochas ornamentais tem sido fundamental para a identificação de novas jazidas e para a descrição detalhada das suas características geológicas e mineralógicas, permitindo uma melhor compreensão da sua origem, distribuição e relação com outras unidades geológicas. Adicionalmente, a prospecção de rochas ornamentais tem impacto positivo na economia local e nacional, uma vez que a produção e comercialização desses recursos são importantes fontes de geração de empregos e renda, e contribuem para a exportação de produtos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem o objetivo de descrever o mapeamento litoestrutural da área, detalhar a química mineral e verificar a potencial ocorrência de rochas para uso ornamental de um milonito encontrado na região de Araguaçu-TO, buscando analisar os parâmetros tecnológicos e compará-los com os critérios da ABNT, ASTM & Frazão e Farjallat, visando indicar este material para aplicações no mercado.

1.2.2 Objetivo Específico

O trabalho realizado visa o detalhamento do conhecimento geológico a partir do mapeamento litoestrutural da área, a amostragem da rocha e determinação dos parâmetros físicos, mecânicos e petrográficos como segue abaixo:

- ❖ Mapeamento litoestrutural;
- ❖ Amostragem volumétrica para caracterização tecnológica;
- ❖ Análise petrográfica macroscópica e microscópica do material de interesse;

- ❖ Realização do ensaio de Índices Físicos;
- ❖ Realização do ensaio de compressão uniaxial;
- ❖ Realização do ensaio de resistência à flexão (Flexão por 3 pontos);
- ❖ Realização do ensaio de resistência à flexão (Flexão por 4 pontos);
- ❖ Realização do ensaio de resistência ao desgaste abrasivo Amsler;
- ❖ Realização do ensaio de determinação do coeficiente de dilatação térmica linear;
- ❖ Realização do ensaio de resistência ao impacto de corpo duro;
- ❖ Realização de um estudo comparativo com os dados obtidos nos ensaios com os dados descritos pelas ABNT (2015), ASTM (1992) e Frazão e Farjallat (1995).

1.3 Localização e vias de acesso

A área em questão está localizada no município de Araguaçu, situado na mesorregião Ocidental, região sul do Estado do Tocantins, e microrregião Rio Formoso, fazendo divisa com o estado de Goiás.

A partir de Palmas o acesso à área de interesse é efetuado por meio da TO-050 em sentido sul percorrendo cerca de 55 km até a cidade de Porto Nacional. Por meio deste município segue-se em sentido leste pela TO-255 cerca de 8 km até o distrito de Nova Pinheirópolis. De Nova Pinheirópolis toma-se a rodovia TO-070, em sentido sul, percorrendo cerca de 100 km até chegar à cidade de Aliança do Tocantins. Partindo desta, em sentido sul, utiliza-se da BR-153 percorrendo 139 km chegando ao município de Alvorada. A partir de Alvorada pega-se a TO-373 na direção noroeste, percorre 98 km até chegar em Araguaçu. O município da área de estudo dista aproximadamente 400 km de Palmas, capital do Estado do Tocantins.

Da cidade de Araguaçu até a área de estudo, percorre-se cerca de 30km, por meio da TO-373(Figura 1).

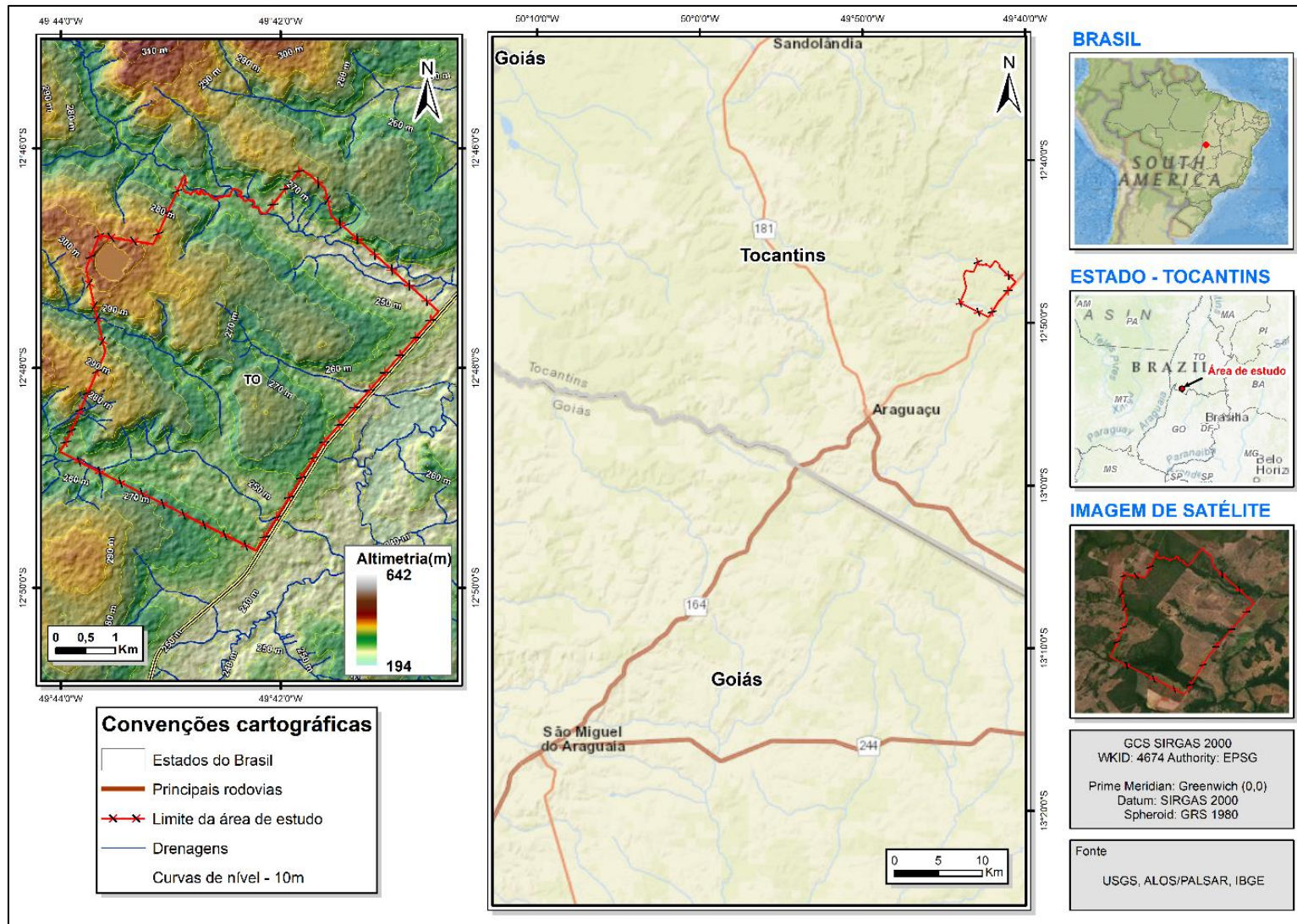


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo, onde a mesma situa-se no município de Araguaçu, mesorregião Ocidental e região sul do Estado do Tocantins, divisa com o Estado de Goiás.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para alcançar os objetivos propostos, foram realizadas atividades em três etapas distintas: pré-campo, campo e análises laboratoriais.

2.1 Pré campo

Nesta etapa serão descritas todas as metodologias utilizadas na parte inicial do trabalho, incluindo levantamento bibliográfico, sensoriamento remoto e dados geoambientais.

2.1.1 Levantamento bibliográfico

Nesta fase foi realizado um levantamento bibliográfico com o objetivo de coletar informações sobre a geologia, o arcabouço tectônico-estrutural, e os aspectos fisiográficos e socioeconômicos da área estudada. Apesar da escassez de dados disponíveis, foram utilizados relatórios, dissertações e artigos publicados, que abrangem o contato entre as Faixas Brasília e Araguaia.

No trabalho foram adotados os estudos de Schobbenhaus (1975), Almeida *et al.* (1977), Fuck *et al.* (2014) e como base bibliográfica para a descrição da geologia regional. Além disso, destaca-se o mapeamento realizado pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB), em escala de 1:1000.000, cujo trabalho serviu de base inicial para entendimento da área e planejamento subsequente dos objetos de estudo, permitindo uma abordagem mais precisa e direcionada no mapeamento geológico.

2.1.2 Sensoriamento Remoto

Na primeira etapa, o procedimento de extração de drenagens, rodovias, fotoestruturas, delimitação dos domínios homólogos, foi realizado utilizando imagens de satélite provenientes do sensor *Cbers* 04A, com resolução de 2 metros. Somado a isso, utilizou-se, também, o Modelo Digital de Elevação (MDE) do *Alos Palsar*, com resolução de 12,5 metros. Essas imagens foram processadas e analisadas por meio do *software* de Sistema de Informações Geográficas (SIG) *ArcMap* (versão 10.8).

Utilizando os dados do sensor *Cbers*, foram aplicadas duas composições: R-3, G-2, B-1 (cor verdadeira) e R-4, G-3, B-2 (falsa cor). As imagens em cor verdadeira possibilitaram a identificação da quantidade e qualidade da vegetação, assim como o mapeamento de acessos,

sedes de propriedades e traçados de drenagens a fim de auxiliar o planejamento do trabalho de campo. Por outro lado, as imagens em falsa cor (infravermelho) evidenciaram características topográficas distintas do terreno e a reflectância de possíveis diferenças litológicas.

Com o MDE do *Alos Palsar*, foram gerados relevos sombreados com iluminação em ângulos notáveis (30°, 45°, 60°) e seus opostos correspondentes (210°, 225°, 240°). A partir desses dados, foi possível extrair lineamentos de forma automática utilizando o *software* PCI Geomatica Versão 12.0 *LINE* (2014) em cada imagem de relevo gerada. As estruturas correspondentes em todos os ângulos foram filtradas e utilizadas para a interpretação das fotoestruturas.

A utilização dos produtos de padrões de drenagens e de relevo permitiu, com base em Soares-Fiori (1976) e Arcanjo (2011), a delimitação das zonas homólogas.

2.1.3 Levantamento Geoambiental

Nesta etapa, foram coletados dados públicos sobre clima, hipsometria e declividade, pedologia, uso e ocupação do solo, e hidrografia. Posteriormente, esses dados foram processados em *software* SIG para gerar mapas detalhados das características fisiográficas da área de estudo.

Os dados climáticos foram adquiridos por meio do portal INMET, que disponibiliza essas informações segundo a classificação de *Köppen-Geiger*. A partir disso, estes foram adaptados para gráficos e tabelas, que destacam condições climáticas da área.

Os dados de hipsometria e declividade foram obtidos por meio do Modelo Digital de Elevação (MDE) do sensor *Alos Palsar*, com resolução de 12,5 metros. Em relação a hipsometria, os dados do MDE foram reclassificados, utilizando cores mais quentes para representar altitudes maiores e cores mais frias para altitudes menores. Para a declividade, foi utilizada a ferramenta “*Slope*” do *ArcGIS*, e os resultados foram reclassificados conforme as sugestões de classe de relevo de Santos *et al.* (2018) (Tabela 1).

Tabela 1: Classe de declividade. Fonte: Santos *et al.* (2018).

Classe de Relevo	Classes de declividade (%)
Plano	0 a 3
Suave Ondulado	3 a 8
Ondulado	8 a 20
Forte Ondulado	20 a 45
Montanhoso	45 a 75
Escarpado	>75

Os dados pedológicos foram baixados do portal da EMBRAPA, que disponibiliza informações sobre o solo na escala de 1:250.000, mapeados em 2018. Esses dados foram tratados em SIG, permitindo a criação de mapas, gráficos e tabelas para facilitar a compreensão e descrição dos dados.

Os dados de uso e ocupação do solo foram baixados no formato raster, no portal oficial do MapBiomas, que disponibiliza informações sobre o uso do solo entre os anos de 1985 e 2022. Para este estudo, optou-se por utilizar os dados do ano de 2022. Esses dados também foram compilados em SIG, resultando na criação de mapa de uso e ocupação do solo da região de estudo.

A hidrografia foi classificada a partir de drenagens, bacias hidrográficas, e tipo dos aquíferos, ambas informações foram adquiridas por meio da SEMARH-TO. Esses dados foram integrados em mapas em *software* SIG.

2.2 Trabalho de campo e coleta de amostras

A primeira parte do trabalho de campo foi realizada entre os dias 31 de julho e 10 de agosto de 2023, totalizando 10 dias, dos quais 2 foram dedicados à atividades de escritório. Conforme planejado na etapa pré-campo, que se baseou em mapas de Zonas Homólogas e fotoestruturas, foram realizados 8 perfis, sendo 5 a pé e 3 de carro.

Durante o mapeamento, foram identificadas, descritas e classificadas as litologias presentes. Além disso, foram avaliados o grau de intemperismo, estruturas planares (como foliações e fraturas) e lineares (como lineações minerais e de crenulação), além de outros possíveis indicadores cinemáticos.

Os materiais utilizados na fase de mapeamento incluíram mapas topográficos e imagens de satélite, todos em escala 1:30.000. A navegação foi apoiada pelo GPS *Garmin eTrex 10* e pelo aplicativo *Avenza Maps*. As medidas estruturais foram obtidas com o auxílio de uma bússola modelo Clar, registradas em formato *dip-direction*. Para garantir a segurança durante

as atividades de campo, todos os participantes utilizaram capacetes, faixas refletivas, chapéus, perneiras, óculos de proteção, luvas e protetor solar, além de vestirem roupas adequadas para as condições do ambiente.

Os dias dedicados ao escritório incluíram a interpretação preliminar dos dados, a descrição de amostras e a compilação de dados em mapas. Para isso, foram utilizados computadores para o registro das informações e mapas impressos para a delimitação do produto final.

A segunda parte do trabalho de campo foi realizada entre os dias 6 e 10 de novembro, durante a qual ocorreu a extração de amostras volumétricas para ensaios tecnológicos. Essa etapa durou cinco dias, nos quais foram retiradas três amostras em grande volume, para compor o conjunto final, representativo, de amostras a serem enviadas para sua caracterização.

Os materiais utilizados pela equipe incluíram talhadeira e martelo, além dos equipamentos de segurança necessários.

2.3 Análises Laboratoriais

Nesta seção, serão detalhadas todas as metodologias empregadas nas análises laboratoriais, incluindo análise petrográfica, análise química mineral e caracterização tecnológica. O objetivo é estabelecer as propriedades físico-mecânicas da rocha para sua utilização como revestimento e material ornamental.

2.3.1 Análise Petrográfica

A análise petrográfica pode ser dividida em duas etapas, sendo a primeira preliminar, que envolve a análise da amostra à mão em nível macroscópico, utilizando apenas uma lupa de bolso e um estereoscópio binocular, e a segunda etapa realizada em nível microscópico, utilizando microscópio petrográfico.

2.3.1.1 Análise macroscópica

Nesta fase inicial da análise, o foco baseia-se na observação da amostra a olho nu ou com o auxílio de ferramentas simples, como uma lupa de bolso e um estereoscópio binocular. Durante essa etapa, foram examinadas as características visíveis a olho nu da amostra, tais como sua textura geral, cor, granulação, estruturas, feições geométricas, fraturas, cavidades e quaisquer evidências macroscópicas de minerais, fósseis ou outros componentes.

2.3.1.2 Análise microscópica

Nesta etapa, busca-se a caracterização da amostra de acordo com a NBR 15845:2015 (Parte 1), com o objetivo de qualificar e quantificar parâmetros composicionais, texturas e estruturas, tamanho dominante e relativo dos cristais, forma dos minerais, relações de contato, microfissuras e os graus de alteração. Essas análises possibilitam uma pré-avaliação das propriedades físico-mecânicas da rocha, determinando sua aptidão para uso como material ornamental e de revestimento.

Foram confeccionadas 5 lâminas, sendo todas compreendendo variações centimétricas dentro de um mesmo litotipo. Na caracterização destas, adotaram-se padrões microestruturais/texturais sugeridos por Costa (2000), conforme é descrito abaixo.

2.3.1.2.1 Quantificação mineral

A quantificação mineral é realizada por meio da composição modal da rocha, determinada através da contagem dos minerais em lâmina delgada. A porcentagem dos minerais é obtida utilizando uma malha com áreas igualmente espaçadas, onde cada área é analisada individualmente. As porcentagens de cada mineral são então calculadas e, por fim, uma média aritmética dessas porcentagens é feita para determinar a composição modal da rocha.

2.3.1.2.2 Granulação

Em relação ao tamanho dominante, a granulação da rocha foi classificada segundo a Tabela 2:

Tabela 2: Classificação de granulação dominante. (Fonte: Costa, 2000).

Classificação	Tamanho
Fina:	<1 mm
Média-fina:	1 a 3 mm
Média:	3 a 7 mm
Média-grossa:	7 a 10 mm
Grossa:	>10 mm

Considerando o tamanho relativo, os cristais foram classificados em:

Equigranulares: quando os cristais apresentam o mesmo tamanho, ou tem variação mínima em relação a sua granulação;

Inequigranular: quando a rocha apresenta cristais que diferem de uma relação proporcional de até 1:10, sem que os grãos maiores se sobressaiam;

Porfirítico: Caracterizada pela presença de grandes cristais (fenocristais) dispersos em uma matriz, em geral, de granulação fina. Esses cristais, apresentam dimensões de até 5 vezes maior que a média dos grãos da matriz.

2.3.1.2.3 Contatos minerais

Os tipos de contatos mais descritos na literatura são determinados como, planos, arredondados, lobulares denteados, concavo-convexo e serrilhados. No trabalho optou-se por utilizar as divisões abaixo ilustradas (Figura 2), pois devido às características da rocha não foi possível observar as outras variações.

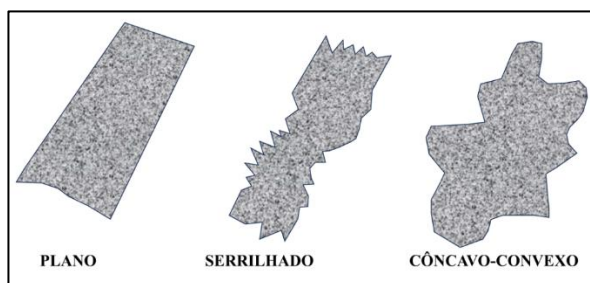


Figura 2: Contatos intergranulares. (Modificado de Mesquita, 2002).

A quantificação de cada tipo de contato entre os minerais, é realizada subjetivamente, baseada na média qualitativa das contagens, com o aumento ajustado de acordo com a granulação da rocha. Para as regiões de granulação média a grossa, utiliza-se um aumento de 5 ou 10x, enquanto para regiões de granulação fina, adota-se um aumento de 20x.

2.3.1.2.4 Microfissuras

As microfissuras são quantificadas em termos de número de microfissuras por mm². Para isso, a lâmina é dividida em áreas iguais, e as discontinuidades são contadas em cada área isoladamente. A média dessas contagens é então calculada, representando a densidade de microfissuras para toda a lâmina. As microfissuras são classificadas como vazias ou preenchidas, especificando-se o tipo de preenchimento. Além disso, são diferenciadas entre intragrãos, ocorrendo dentro de um único mineral, e intergrãos, que se estendem de uma ponta a outra entre diferentes cristais.

Considerando parâmetros qualitativos, a densidade de microfissuras por mm² pode ser classificada segundo a Tabela 3:

Tabela 3: Classificação da densidade de microfissuras. Fonte: Costa (2000).

Densidade	Microfissuras/mm ²
Alta	>2
Média	1 a 2
Baixa	<1

O grau de fissuramento está intimamente ligado com o comportamento físico das rochas, como porosidade, absorção d'água e resistência mecânica, podendo comprometer a integridade física das rochas para fins de revestimento.

2.3.1.2.5 Graus de alteração

Considerando a alteração dos feldspatos dada principalmente pela saussuritização, epidotização, e transformação para carbonato do plagioclásio, e cloritização da biotita, o grau de alteração foi classificado com sua intensidade descritas abaixo:

Fraco: Alteração da superfície do cristal menor que 20%;

Médio: Alteração da superfície do cristal entre 21 e 50%;

Forte: Alteração da superfície do cristal entre 51 e 80%;

Muito Forte: quando a superfície alterada é maior que 80%.

Com base nessas informações, as análises foram realizadas de forma subjetiva em áreas divididas igualmente na lâmina. Em seguida, foi determinado o grau de alteração representativo por meio da média.

2.3.2 Química mineral – MEV/EDS

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) é uma técnica amplamente empregada em diversas áreas do conhecimento, incluindo a mineralogia, devido à sua capacidade de gerar imagens detalhadas com aumentos de até 300.000 vezes.

O sistema de EDS (*Energy Dispersive System*), acoplado ao MEV, possibilita a determinação qualitativa e semiquantitativa da composição das amostras por meio da emissão de raios X característicos. Esse sistema é capaz de criar perfis e mapas químicos que auxiliam no estudo da distribuição dos elementos na amostra.

Para a identificação da química mineral, foram utilizadas 5 lâminas delgadas polidas e seus respectivos prismas de amostra (15 x 20 x 35 mm) (Figura 3), disponíveis para esclarecer dúvidas em relação aos minerais estudados.

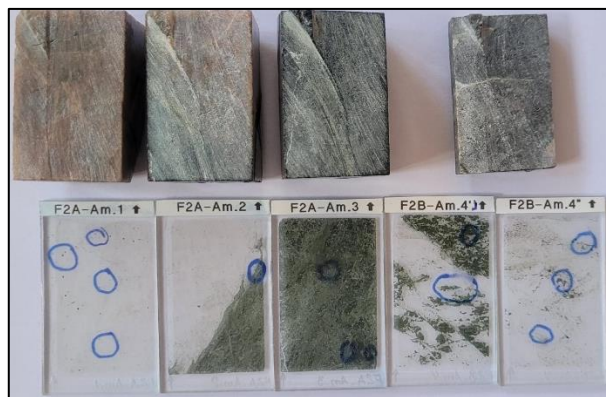


Figura 3: Lâminas utilizadas no MEV/EDS com os campos de interesse marcados.

Utilizando o microscópio eletrônico de varredura *Jeol* – JSM IT300LV, com feixe eletrônico por filamento de tungstênio e detector EDS com capacidade de área de 80mm² do Centro Regional para o Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (CRTI), foram obtidas imagens eletrônicas de varredura, e composições dos campos das lâminas dos milonitos de Araguaçu.

As análises das amostras foram conduzidas sob as seguintes condições:

Feixe de Elétrons: A resolução nominal do feixe de elétrons foi de 0,0035 µm, com a possibilidade de ajuste das tensões de aceleração entre 5 e 15 kV.

Condições de Vácuo: Durante a análise, o vácuo foi mantido em 10⁻⁴ Pa.

Tempo de Contagem do EDS: Para as análises com o sistema de EDS, o tempo de contagem foi de aproximadamente 100 segundos por análise.

Mapa de distribuição dos elementos químicos: O mapa químico foi obtido por meio da contagem de raios X característicos durante um período de 5 minutos por campo.

2.3.3 Caracterização tecnológica

A caracterização tecnológica foi realizada na FACI - Faculdade de Tecnologia Cachoeiro de Itapemirim e teve como objetivo avaliar as propriedades físicas e físico-mecânicas das rochas, por meio de ensaios normatizados pela ABNT. Os ensaios descritos neste trabalho são:

- ❖ Índices Físicos (Densidade, porosidade e absorção de água) - ABNT NBR 15845:2015(Parte 2)
- ❖ Resistência à compressão uniaxial, realizado em amostra seca e após o congelamento/degelo - ABNT NBR 15845:2015(Parte 4 e 5)
- ❖ Módulo de ruptura (Flexão por carregamento em três pontos) - ABNT NBR 15845:2015(Parte 6)

- ❖ Módulo de ruptura (Flexão por carregamento em quatro pontos) - ABNT NBR 15845:2015(Parte 7)
- ❖ Desgaste AMSLER - ABNT NBR 12042:2012
- ❖ Coeficiente de dilatação térmica linear – ABNT NBR 15845:2015(Parte 3)
- ❖ Resistência ao impacto de corpo duro - ABNT NBR 15845:2015(Parte 7)

2.3.3.1 Índices Físicos

Segundo a norma ABNT NBR 15845:2015(Parte 2), são determinados como índices físicos as propriedades de massa específica aparente, a porosidade aparente e a absorção de água. De acordo com a resposta dessas, diversas características das rochas de estudo são estabelecidas.

A massa específica aparente ou densidade aparente trata de uma relação entre massa e volume do material estudado, sendo diretamente proporcional à sua massa e inversamente proporcional ao seu volume.

A porosidade pode indicar a quantidade de espaços vazios nos corpos estudados, enquanto a absorção de água, corresponde a quantidade de líquido que é capaz de ocupar vazios, ou seja, absorver e reter água em suas descontinuidades. Estas são diretamente correlacionáveis à resistência mecânica das rochas.

Para o ensaio em questão, que é normatizado pela ABNT NBR 15845:2015(Parte 2), confeccionou-se 10 cubos com dimensões de 5cm x 5cm x 5cm, sendo lavados e secados em estufa durante 24 horas. Após esse tempo os corpos são retirados, resfriados por 30 minutos e pesados de maneira individual. O valor resultante da pesagem é designado por “peso seco” e definido para fins de cálculo como **massa A**.

Na etapa posterior é efetuada a imersão dos corpos em água destilada por um período de 24 horas. Após este período, os corpos são retirados e suprimidos os excessos de água em suas superfícies, e pesados ao ar, determinando o “peso saturado”, definido como **massa B**.

Em seguida, efetua-se uma nova pesagem dos corpos de prova, nesta, os corpos são imergidos em recipientes com água destilada, suspensos e presos sobre a balança. Neste procedimento, o peso resultante é o “peso submerso” definido como **massa C**.

Abaixo são descritos os cálculos para cada corpo de prova, no final são calculadas as médias aritméticas para os 10 corpos de prova.

- ❖ Massa específica aparente seca (ρ_{seca}):

$$\rho_{seca} = \frac{A}{(B - C)} (g/cm^3)$$

❖ Massa específica aparente saturada (ρ_{saturada}):

$$\rho_{\text{saturada}} = \frac{B}{(B - C)} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

❖ Porosidade (P):

$$P = \frac{(B - A)}{(B - C)} * 100 \text{ (\%)}$$

❖ Absorção de água (AA):

$$AA = \frac{(B - A)}{A} * 100 \text{ (\%)}$$

Onde,

A = Peso seco;

B = Peso saturado;

C = Peso submerso.

2.3.3.2 Compressão uniaxial simples

Segundo a norma ABNT NBR 15845:2015(Parte 5) o ensaio de compressão uniaxial tem como objetivo determinar a tensão de ruptura de um material quando estes são submetidos a esforços compressivos. Essa tensão se relaciona diretamente em resposta à composição mineralógica, estrutura/textura da rocha, estado de alteração, porosidade e microfissuramento do material estudado.

Para o ensaio, normatizado pela ABNT NBR 15845:2015(Parte 5), foram utilizados 6 cubos de tamanho aproximado de 70 mm, nos quais foram aplicados uma taxa de carregamento igual a 202,5 kN/min. O ensaio foi realizado de maneira perpendicular à direção da foliação principal da rocha de estudo. Este ensaio foi feito na condição seca, obtendo o valor da tensão por meio da fórmula:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Onde,

σ = Tensão de Ruptura em Mpa;

F = Força de Ruptura em kN;

A= Área de carga do corpo de prova em m².

A ISRM (1977) sugere classificações das rochas segundo as informações obtidas no ensaio de compressão uniaxial, conforme é descrito na Tabela 4:

Tabela 4: Classificação das rochas segundo o ensaio de compressão uniaxial. Fonte: ISRM (1977).

σ (Mpa)	Classificação
<1	Extremamente branda (solo)
1 – 5	Muito branda
5 – 25	Branda
25 – 50	Resistência média
50 – 100	Resistente
100 – 250	Muito resistente
> 250	Extremamente resistente

2.3.3.3 Resistência à flexão em 3 pontos

O ensaio de resistência à flexão em 3 pontos visa avaliar como a rocha resiste a esforços de flexão e tração combinados. Este determina a tensão mínima ou a máxima flexão que leva à ruptura de um bloco ou placa de rocha sob cargas de compressão e/ou tração. Essa análise é crucial para entender o comportamento estrutural da rocha em situações práticas, especialmente para projetos que exigem alta resistência e estabilidade sob diferentes tipos de carga.

Este ensaio, também normatizado pela ABNT NBR 15845: 2015(Parte 6), consiste em avaliar o rompimento dos corpos de prova colocados sobre dois cutelos de reação e um de ação, conforme exemplificado na Figura 4. Este ensaio indica o valor da tensão mínima/flexão máxima que provoca a ruptura de uma rocha quando esta é submetida a esforços de compressão e/ou tração.

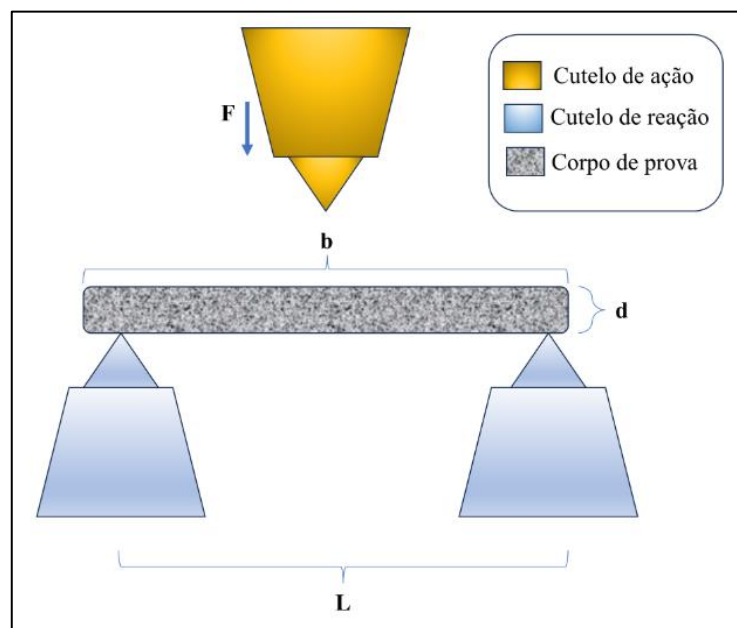


Figura 4: Esquema do ensaio de resistência à flexão por 3 pontos.

Foram utilizados 5 corpos de prova prismáticos com tamanhos em torno de 50 X 100 X 180 mm, cujo ensaio foi realizado em direção perpendicular a da foliação principal da rocha. Realizado na condição seca, obtém-se o módulo de ruptura segundo a fórmula:

$$\sigma_1 = \frac{3 * F * L}{2 * b * d^2}$$

Onde,

σ_1 = Tensão de Ruptura em Mpa;

F = Força de Ruptura em kN;

L = Distância entre os cutelos de reação em mm;

b = Largura dos corpos de prova em mm;

d = Altura dos corpos de prova em mm.

2.3.3.4 Resistência à flexão em 4 pontos

O presente ensaio tem objetivo semelhante ao ensaio descrito no item 2.4.3, que tem como intenção avaliar como a rocha resiste a esforços de flexão e tração combinados. Porém agora com quatro pontos sendo dois cutelos de ação (superiores) e dois cutelos de reação (inferiores) (Figura 5).

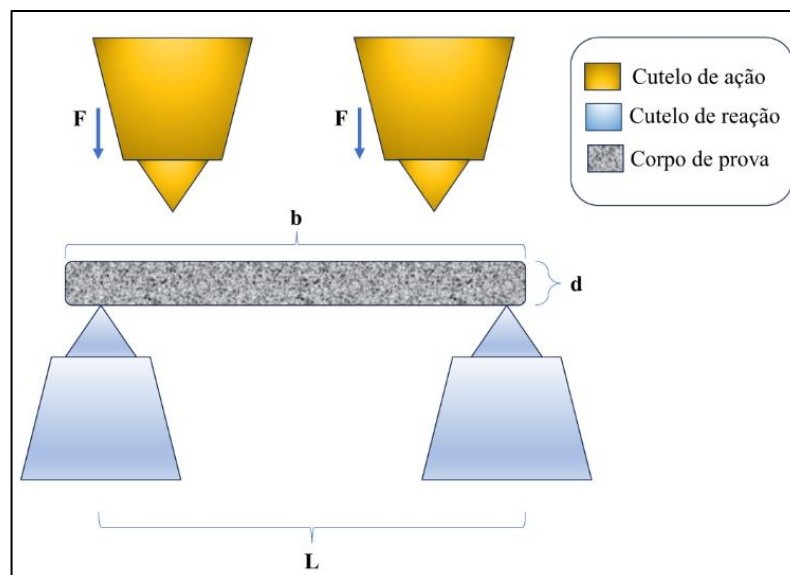


Figura 5: Esquema do ensaio de resistência à flexão por 4 pontos.

Conforme procedimento ABNT NBR 15845: 2015(Parte 7), foram utilizados 5 corpos de prova prismáticos com tamanhos em torno de 30 X 100 X 360 mm, cujo ensaio foi realizado no plano perpendicular ao da foliação principal da rocha. O módulo de ruptura é determinado segundo a fórmula:

$$\sigma_1 = \frac{3 * F * L}{4 * b * d^2}$$

Onde,

σ_1 = Tensão de Ruptura em Mpa;

F = Força de Ruptura em kN;

L = Distância entre os cutelos de reação em mm;

b = Largura dos corpos de prova em mm;

d = Altura dos corpos de prova em mm.

2.3.3.5 Desgaste por abrasão de Amsler

O ensaio de desgaste por abrasão quantifica o quanto determinado material estudado resiste ao desgaste abrasivo por meio da medição de redução da espessura que os corpos de prova apresentam quando são submetidos a um percurso abrasivo de 1000 metros. O resultado obtido é proporcional ao conteúdo mineralógico, estado entre os agregados minerais, irregularidade da superfície e orientação da rocha.

Foram utilizados 3 corpos de provas com dimensões aproximadas de 7 cm x 7 cm x 3cm. O ensaio foi feito na condição seca.

Os prismas dos corpos de prova são enumerados em relação às suas arestas (1,2,3 e 4), e após isso foram feitas e registradas as medições iniciais de todas as faces.

O teste é realizado com dois corpos presos nas sapatas de acoplamento, que os mantêm em contato e girando em torno de seus próprios eixos (Figura 6). Eles rodam sobre um anel de ferro fundido com um perímetro de 2 metros (superfície de abrasão), utilizando areia média como abrasivo. A areia é aplicada com uma vazão de 76 cm³/min, e a velocidade de rotação é de 0,6 rpm.

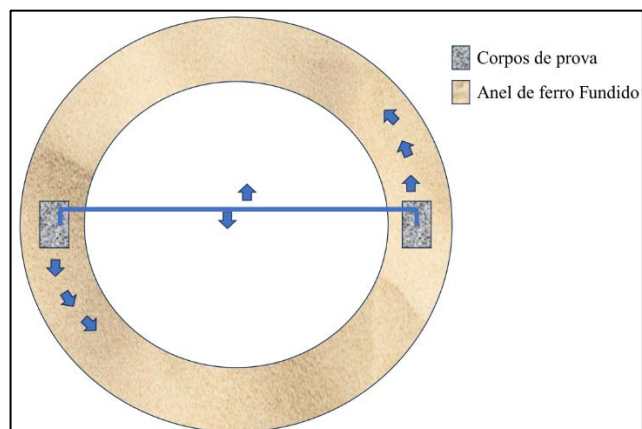


Figura 6: Esquema do ensaio de desgaste por abrasão de Amsler.

Os valores da redução de espessura, expresso em mm, para cada amostra são efetuados segundo as fórmulas:

$$d = a - b$$

$$e = a - c$$

Onde,

a = altura média inicial das faces em mm;

b = altura média das faces após 500 metros, em mm;

c = altura média das faces após 1000 metros, em mm;

d = desgaste médio após 500 metros, em mm;

e = desgaste médio após 1000 metros, em mm.

2.3.3.6 Dilatação térmica linear

Este ensaio tem como intenção determinar o coeficiente de dilatação térmica linear quando estes são submetidos a uma variação de temperatura. Esse parâmetro indica como as dimensões do material mudam, ou seja, dilatam ou contraem com a mudança de temperatura. Recomenda-se realizar este ensaio sempre que as rochas forem expostas a ambientes com grandes variações de temperatura.

Foram utilizados 2 corpos de provas com base de 30 mm e de comprimento de 75 mm.

A execução do ensaio, normatizado pela ABNT NBR 15845:2015(Parte 3), consistiu em adicionar os corpos de prova no dessecador com água, procedendo sua saturação por no mínimo 24 horas em condições de temperatura ambiente. Após este período foi aferido o comprimento inicial.

Os corpos de prova são aquecidos paulatinamente até a estabilização da temperatura máxima igual a 50°C. Procede-se com o resfriamento até a estabilização na temperatura mínima, a partir daí é registrado o valor de contração.

Após este processo é feito novamente o aquecimento até a temperatura máxima, e portanto, registra-se o valor de dilatação.

A expressão dos resultados é calculada pelas seguintes expressões:

$$\beta 1 = \frac{\Delta L 1}{L 0 * \Delta T 1} \qquad \beta 2 = \frac{\Delta L 2}{L 0 * \Delta T 2}$$

Onde,

$\Delta L 1$ = Diferença no comprimento entre os corpos de prova no resfriamento, expresso em mm;

ΔL_2 = Diferença no comprimento entre os corpos de prova no aquecimento, expresso em mm;

ΔT_1 = Diferença de temperatura no resfriamento, expresso em °C;

ΔT_2 = Diferença de temperatura no aquecimento, expresso em °C;

L_0 = Comprimento inicial do corpo de prova;

β_1 = Coeficiente de dilatação térmica linear no resfriamento, expresso em mm/m*°C;

β_2 = Coeficiente de dilatação térmica linear no aquecimento, expresso em mm/m*°C.

2.3.3.7 Resistência ao impacto de corpo duro

O ensaio de resistência ao impacto de corpo duro tem como objetivo a obtenção de informação relativa ao grau de tenacidade do material de estudo, e, em consequência, a capacidade de suportar ações mecânicas instantâneas. Este tipo de ensaio é de suma importância para caracterização de materiais utilizados em revestimentos interiores.

No ensaio em questão, foram utilizados 5 corpos de prova com dimensões aproximadas de 20 cm x 20 cm x 3cm.

A execução do ensaio, conforme ABNT NBR 15845:2015(Parte 7), consiste em deixar cair um corpo de prova em movimento de queda livre, com massa de 1 kg, a uma altura inicial de 20 cm. Este procedimento é repetido em intervalos crescentes de 5cm a partir da altura inicial, até que ocorra a fissuração e a ruptura da placa, assim são aferidas as alturas que estes eventos ocorrem (Figura 7).

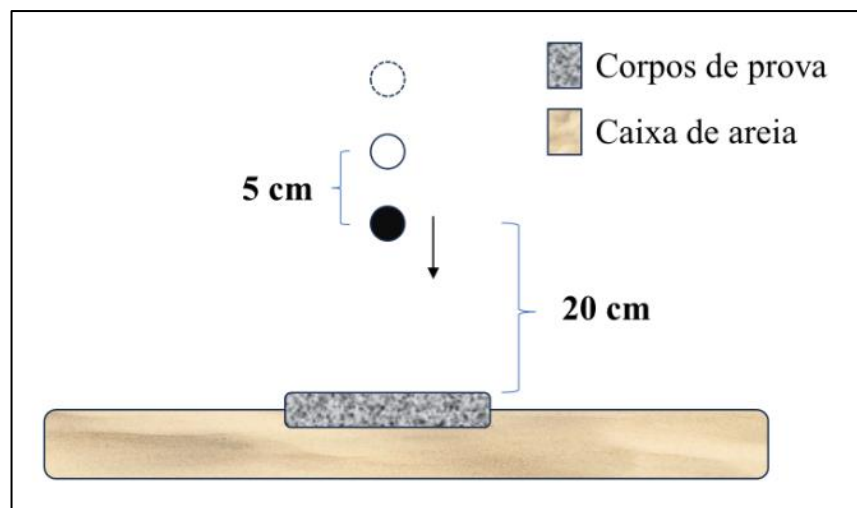


Figura 7: Esquema do ensaio de resistência ao impacto de corpo duro.

A partir do resultado obtido para cada corpo de prova, é feita uma média aritmética da altura de fissuramento e ruptura. A energia utilizada para calcular a energia de ruptura em *Joules* é dada pela seguinte expressão:

$$W = m * g * h$$

Onde,

m = Massa da esfera, expressa em kg;

g = Aceleração da gravidade, expressa em m/s²;

h = Altura de ruptura em m;

W = Energia de ruptura em J.

3 GEOLOGIA REGIONAL

Como citado por Almeida (1981) a Província Tocantins é uma unidade tectônica Neoproterozoica que foi produto da convergência orogênica brasileira, composta por um sistema de cinturões dobrados denominados de faixas Brasília, Araguaia e Paraguai, resultantes de processo colisional de três blocos continentais: (1) Cráton amazônico a Oeste, (2) Cráton São Francisco a Leste e a sudoeste o (3) Cráton Paranapanema, este último coberto pelas rochas fanerozóicas da Bacia do Paraná. A área do trabalho se insere na parte centro-norte da Província Tocantins e abrange a Faixa de Dobramentos Brasília e Araguaia

A área da região de estudo (Figura 8) se insere na porção centro-norte da Província estrutural do tocantins, no limite, ainda não bem definido, dos orógenos Brasília e Araguaia.

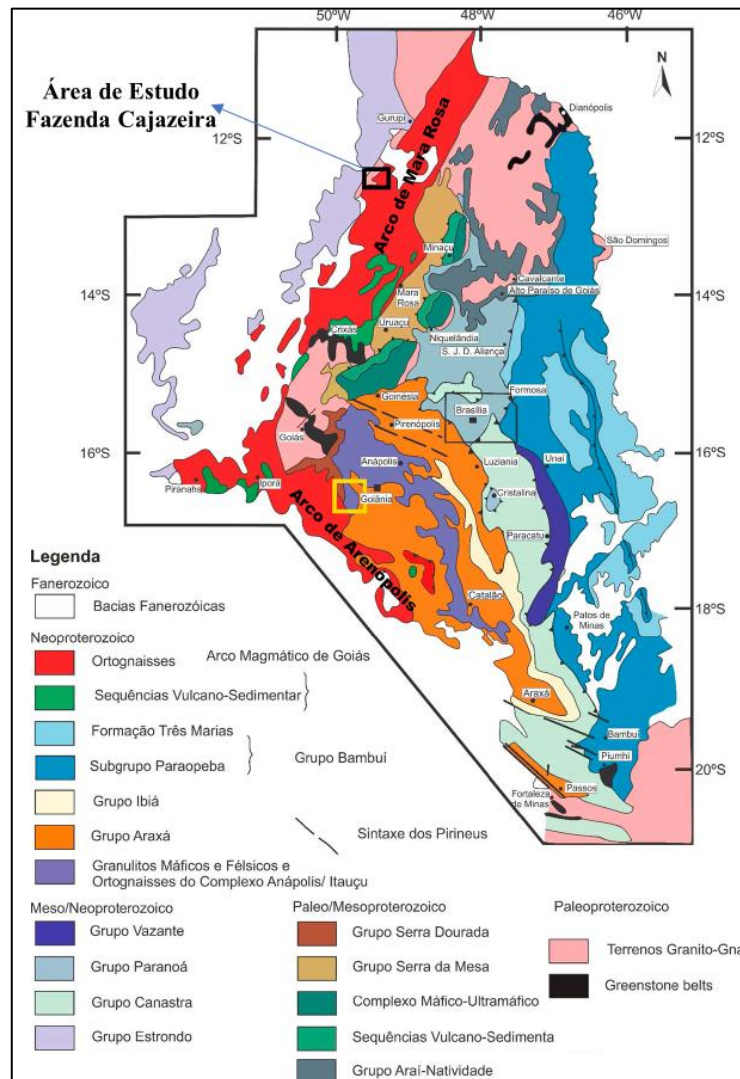


Figura 8: Faixa Brasília (Adaptado de Dardenne 2000, Pimentel *et al.* 2000, Valeriano *et al.* (2004).

3.1 Orógeno Brasília

Almeida *et al.* (1977) definiu o Orógeno Brasília (Faixa Brasília) como um cinturão móvel neoproterozóico formado entre 900 e 650 milhões de anos atrás, como resultado da convergência e colisão de três blocos continentais: o Cráton Amazônico a oeste, o Cráton São Francisco a leste e o Cráton Paranapanema a sudoeste. Esse orógeno é situado na porção oriental da Província estrutural do Tocantins, com cerca de 1.000 km de extensão na direção norte-sul, cobrindo partes de Goiás, Tocantins, Minas Gerais e São Paulo.

Fuck *et al.* (2014) estabelece uma concepção atual em relação a Faixa Brasília que é dividida em Zona Externa, Zona Interna, Maciço de Goiás e Arco Magmático de Goiás. A Zona Externa é composta por rochas sedimentares depositadas em uma bacia marginal, enquanto a Zona Interna é formada por rochas metamórficas que sofreram deformação e metamorfismo regional durante a colisão continental. O Maciço de Goiás é uma região de rochas ígneas intrusivas e extrusivas, enquanto o Arco Magmático é formado por rochas ígneas vulcânicas e plutônicas relacionadas à subducção de uma placa oceânica durante a colisão continental.

3.1.1 Arco magmático de Goiás

Conforme descrito por Seer (1985) e Curto *et al.* (2014), o Arco Magmático de Goiás está limitado ao norte pelo Lineamento Transbrasiliano e representa a unidade mais ocidental da Faixa Brasília. As rochas dessa unidade representam um sistema complexo de arcos vulcânicos.

Observam-se exposições dessas rochas tanto ao norte quanto ao sul da Faixa Brasília, com o maciço de Goiás localizado entre eles. Ao norte da Faixa Brasília, essa unidade é representada pelo Arco de Mara Rosa, enquanto ao sul, essas rochas são conhecidas pelo Arco de Arenópolis.

De maneira genérica, as rochas desses segmentos compreendem duas idades distintas (Junges *et al.*, 2002, 2003; Laux *et al.*, 2004, 2005): **(1)** 900 – 800 Ma e **(2)** 650 – 600 Ma, tratando-se de ortognaisses cálcio-alcálicos, que podem variar em composição de tonalitos a granodioritos e, por vezes, conforme apontado por Frasca (2015), apresentam feições litoquímicas e isotópicas indicativas de rochas formadas em Arcos de Ilhas.

O Arco Sul (Arco de Arenópolis), conforme relatado por Martins *et al.* (2018), é dividido em dois domínios estruturais distintos, separados por um lineamento. Na região mais a leste, as sequências Anicuns-Itaberaí e Mosâmedes, intensamente deformadas e empurradas em direção aos granulitos do complexo Anápolis-Itaçu. As rochas metassedimentares deste grupo são compostas por xistos, metacalcários, metacherts e quartzitos, enquanto as rochas metavulcânicas são representadas por metabasaltos e metaandesitos (Laux *et al.*, 2004).

No Arco de Mara Rosa, entre os ortognaisses, afloram faixas de sequências metavulcanossedimentares aproximadamente contemporâneas às rochas intrusivas. Esses conjuntos exibem uma gradação cronológica, com as rochas mais antigas expostas a leste e as mais jovens a oeste. Neste Arco, conforme descrito por Oliveira *et al.* (2006), a sequência mais antiga é a Sequência Metavulcanossedimentar de Mara Rosa, composta principalmente por anfibolitos, que representam basaltos cálcio-alcálicos e toleíticos de baixo potássio. Já o conjunto mais recente, conhecido como Sequência Santa Terezinha, é formado principalmente por rochas metassedimentar, que compreendem micaxistos e quartzitos, com lentes de tonalitos (Dantas *et al.*, 2001, 2006; Fuck *et al.*, 2006).

3.2 Orógeno Araguaia

O Orógeno Araguaia (Faixa Araguaia), cuja idade é neoproterozóica, está localizado na parte norte da Província Estrutural do Tocantins. Com cerca de 1.200 km de comprimento e 150 km de largura, sua direção geral é norte-sul. Estende-se desde a região de São Miguel do Araguaia, no noroeste de Goiás, onde é coberto pelos sedimentos da Bacia do Bananal, até o extremo norte do estado do Tocantins, onde é sobreposto por rochas sedimentares da Bacia do Grajaú.

A faixa em questão é adjacente à margem oriental do Cráton Amazônico a oeste e é coberta por rochas sedimentares da Bacia do Parnaíba a leste. Ao sul, a faixa é limitada pela Faixa Brasília, através de zonas de cisalhamento transcorrentes e de alto ângulo, denominada de Lineamento Transbrasiliano, que segue uma direção nordeste-sudoeste (Schobbenhaus, 1975).

3.2.1 Grupo Baixo Araguaia - Formação Xambioá

Souza & Moreton (1995) introduziram o termo Grupo Baixo Araguaia para identificar as rochas metassedimentares pelíticas-psamíticas, que são localmente carbonatadas e associadas a um único ciclo sedimentar e tectônico na Faixa Araguaia. Este grupo é dividido em duas zonas: a zona interna, representada pelas formações Morro do Campo e Xambioá, e a zona externa, caracterizada pelas unidades metassedimentares das formações Pequizeiro e Couto Magalhães (Delgado *et al.*, 2003), conforme indicado na Tabela 5.

Tabela 5: Subdivisões e principais características das rochas do Grupo Baixo Araguaia (Compilado de Souza & Moreton (1995)).

Zona	Unidade	Principais Litologias
Interna	Formação Morro do Campo	Metaconglomerados, quartzitos mica xistos e xistos com estauroлита, cianita e granada.
	Formação Xambioá	Mica xistos, xistos calcífero, mármore e lentes de anfibolito
Externa	Formação Pequizeiro e Couto Magalhães	Quartzo clorita-muscovita xistos.
	Formação Couto Magalhães	Filitos, metassiltitos e metargilitos

As rochas dessa unidade exibem estruturação N-S com mergulhos suaves para leste e decréscimo na granulometria em direção a oeste. Possuem foliação planar transposta, às vezes milonítica. São comuns mesodobras e microdobras assimétricas, desenvolvidas por cisalhamento dúctil progressivo durante a inversão tectônica da faixa (Delgado *et al.*, 2003).

A idade do Grupo Baixo Araguaia ainda é objeto de debate. Estudos geocronológicos revelam várias idades das fontes dos sedimentos desta unidade. Pinheiro (2005) obteve idades modelo Sm-Nd (TDM) que indicam uma mistura de fontes Paleoproterozoicas e Meso-Neoproterozoicas. Lucas & Moura (2006), através da análise de zircão detrítico em quartzitos da Formação Pequizeiro, identificaram como fontes das rochas o Maciço de Goiás, o Cráton São Francisco e o Arco Magmático de Goiás, com uma idade máxima de deposição em torno de 733 ± 9 Ma.

3.3 Graben Água Bonita – Formação Água Bonita

A formação água bonita foi nomeada primeiramente por Baptista e Cartner-Dyer em 1966 para identificar uma sequência de rochas sedimentares, que estão presentes na porção central da Província Tocantins. Trata-se de um graben denominado Água Bonita, com uma estruturação orientada no sentido NE-SW. Essa formação encontra-se em uma extensa área, podendo ser encontradas desde São Miguel do Araguaia-GO e se prolonga em direção ao nordeste, adentrando o estado do Tocantins (Moreira *et al.*, 2008).

Essa formação possui poucas dezenas de metros de espessura, com sua porção basal caracterizada por conglomerados, seguidos por arenitos micáceos de granulação média a grossa, intercalados com camadas decimétricas de siltito cinza-claro. No topo, predominam camadas plano-paralelas de arenitos com intercalações decimétricas de siltito e níveis arenosos

com seixos. O acamamento é sub-horizontal, apresentando-se localmente inclinado por falhas normais que variam de centimétricas a métricas (Moreira *et al.*, 2008).

De acordo com uma análise regional e mapas do Serviço Geológico do Brasil (Schobbenhaus *et al.*, 1975), folha SD.22 em escala 1:1.000.000(Figura 9), a área de estudo se insere em rochas do Grupo Baixo Araguaia, mas especificamente à Formação Xambioá, que compreende rochas metassedimentares Proterozóicas. Seus litotipos podem variar de biotita xisto, biotita-muscovita-quartzo xisto, grafita xisto, Granada-biotita-muscovita-quartzo xisto, Granada-clorita xisto, Mármore, Metaconglomerado, Metapsamito, Metarcóseo até Quartzito ferruginoso.

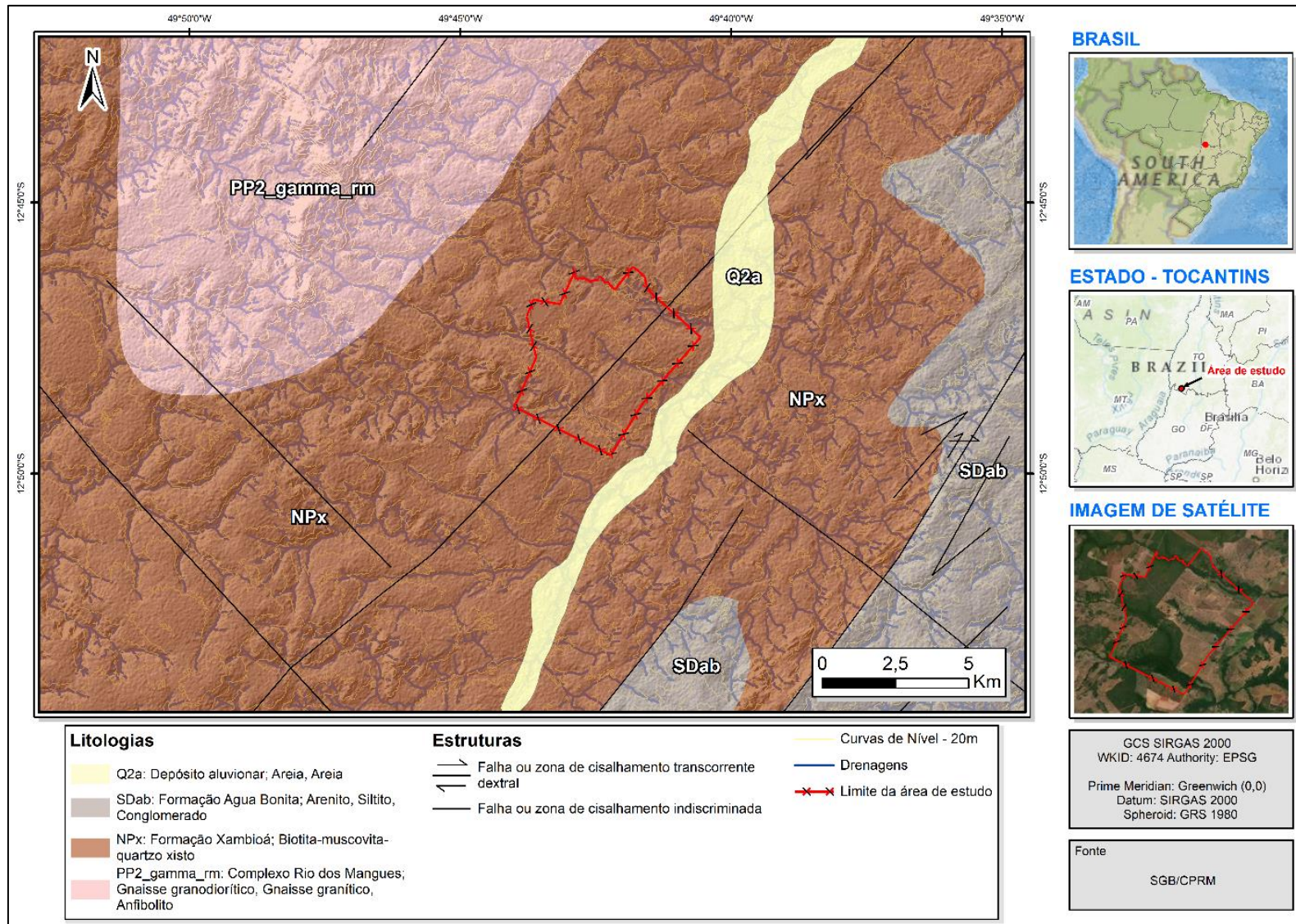


Figura 9: Mapa Geológico da área de estudo. (Fonte: Schobbenhaus et al., 1975).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Sensoriamento Remoto

Nesta sessão são apresentados os dados produzidos por meio de sensoriamento remoto tais como os domínios homólogos, lineamentos estruturais e, por fim, uma análise de interpretação dos padrões produzidos associada aos dados do SGB-2021.

4.1.1 Domínios Homólogos

Na interpretação fotogeológica foram divididas três zonas homólogas, que são apresentados na Figura 10. Essas zonas foram separadas de acordo com os padrões de altitude, declividade, elementos estruturais e drenagens de acordo com a metodologia sugerida por Soares-Fiori (1976) e Arcanjo (2011).

Domínio Homólogo 1: Esse domínio abrange 33,42 % da área mapeada, localizando principalmente nas regiões sul e norte da área. Considerando as drenagens, essa zona apresenta uma predominância de rios meandantes com médio grau de integração, com alto grau de continuidade, densidade baixa a média, tropia predominantemente bidirecional a tridirecional, com forte grau de controle, sinuosidade mista, angularidade média e assimetria fraca. Em relação às formas e características do relevo, apresenta-se predominantemente plana (cotas entre 245m e 260m), com baixa declividade e baixa rugosidade de relevo.

Domínio Homólogo 2: Esse domínio abrange 57,48 % da área mapeada, localizando principalmente nas regiões centro-oeste/sudoeste da área. Considerando as drenagens, essa zona apresenta ausência, quase total, de drenagens, apresentando raras regiões com predominância de drenagens retilíneas. Estas, apresentam-se com médio grau de integração, com médio grau de continuidade, densidade baixa, tropia predominantemente bidirecional, com forte grau de controle estrutural, sinuosidade mista, angularidade média e assimetria fraca. Em relação às formas e características do relevo, apresenta-se predominantemente ondulado (cotas entre 260m e 290m), e alta rugosidade de relevo.

Domínio Homólogo 3: Esse domínio abrange 9,10 % da área mapeada, localizando principalmente nas regiões oeste da área. Essa zona é marcada pela ausência total de drenagens. Em relação às formas e características do relevo, apresenta-se predominantemente ondulado (cotas > 290m) com topo arredondado, e média rugosidade de relevo.

Tabela 6: Análise das drenagens.

Domínio	Densidade	Sinuosidade	Angularidade	Tropia	Assimetria
1	Baixa a média	Mista	Média	Bidirecional a tridirecional	Fraca
2	Baixa	Mista	Média	Bidirecional	Fraca
3	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente

4.1.2 Lineamentos Estruturais

Por meio das imagens de satélites e dados de modelos digitais de elevação foram extraídas estruturas do relevo que, por ventura, estão diretamente relacionados com as informações litológicas, estas foram extraídas por meio dos padrões de drenagem e relevo.

Ao todo foram extraídas 473 linhas (Figura 10), distribuídas de maneira homogênea na área, apresentando direção preferencial NE-SW (Figura 11). Essa direção reflete os elementos estruturais regionais, cujo produto é resultado direto do contato entre a Faixa Brasília, que apresenta um componente de esforço \rightarrow NW, juntamente com a Faixa Araguaia, compreendendo um esforço predominantemente na direção \rightarrow S.

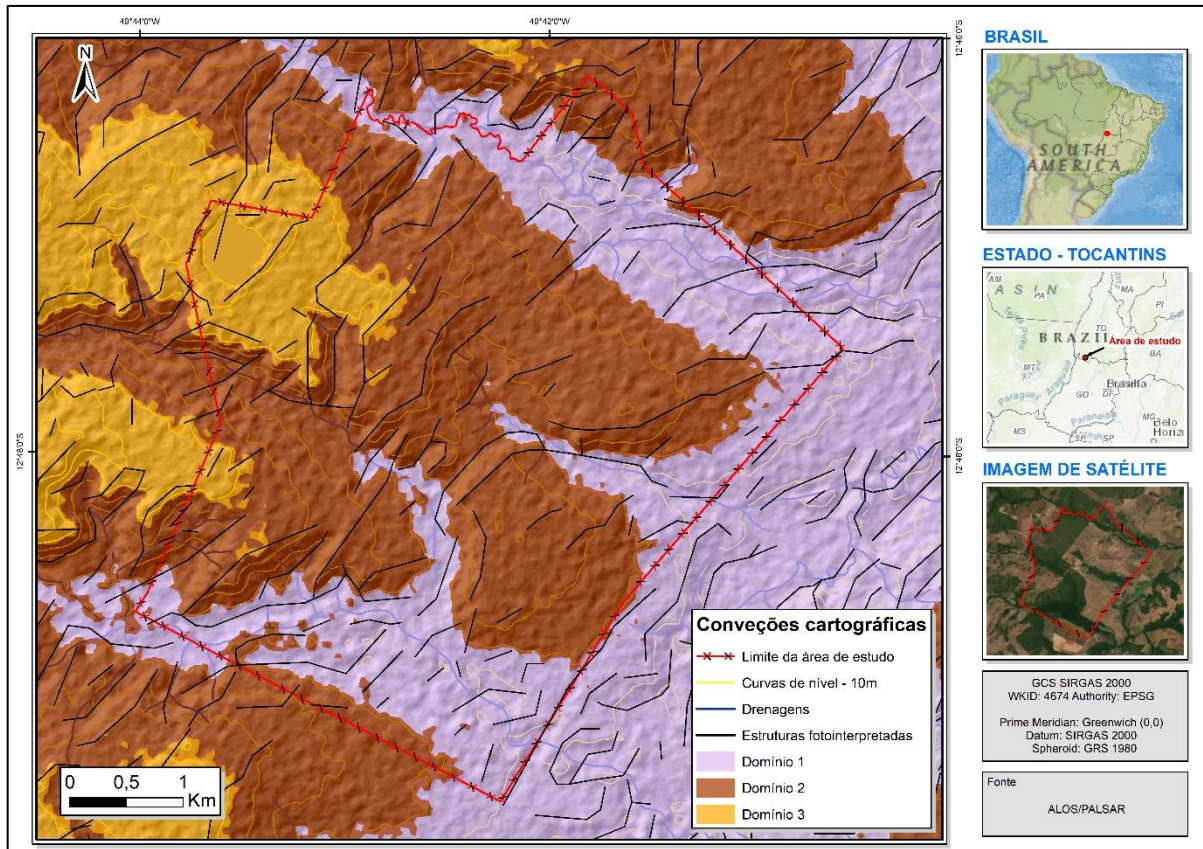


Figura 10: Mapa de domínios Homólogos e lineamentos estruturais, indicando direção preferencial NE-SW.

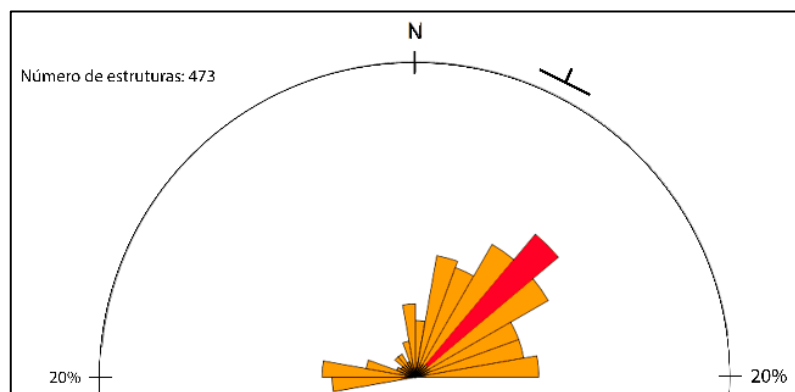


Figura 11: Diagrama de rosetas para os lineamentos interpretados, indicando direção preferencial NE-SW.

4.1.3 Interpretações litológicas

A partir dos domínios homólogos e lineamentos traçados foi possível estabelecer a relação preliminar entre a fotointerpretação e as litologias que ocorrem na região. Essa relação foi feita conforme os litotipos mapeados pela CPRM, conforme é expresso na Tabela 7.

Tabela 7: Tabela de interpretação fotolitológica.

Domínio	Descrição
1	Associa-se esse domínio as rochas da Formação Xambioá, composta por Xistos;
2	Associa-se esse domínio às rochas da Formação Água Bonita que, no geral, ocorre em cotas mais altas (260 a 290 m). Composta por Arenito, Siltito e conglomerado;
3	Não foi possível associar este domínio a nenhum litotipo da literatura.

4.2 Levantamento Geoambiental

Nesta seção serão apresentados os dados de levantamento geoambiental que inclui clima, hipsometria, declividade, solos, uso e ocupação do solo e hidrografia.

4.2.1 Clima

O clima do Brasil Central é controlado exclusivamente por massas de ar equatoriais e tropicais, sem influência da massa tropical marítima. Essa característica promove um clima com 2 estações bem definidas. As chuvas se concentram no verão austral (cerca de 95% da precipitação anual incide nesse período) e o inverno é seco.

O clima da região, segundo a classificação de Köeppen (1948), é do tipo Aw, tropical úmido, caracterizado por duas estações bem definidas: uma seca, que corresponde ao outono e inverno, de abril à outubro, e a outra úmida, novembro a março, com chuvas torrenciais, correspondendo ao período de primavera e verão.

Na Tabela 8 são apresentados os dados que representam o comportamento da chuva (precipitação média anual) e da temperatura média anual ao longo dos últimos 30 anos na região de Araguaçu - TO. As médias climatológicas são valores calculados a partir de uma série de dados de 30 anos de observação.

Tabela 8: Dados Climatológicos da região de Araguaçu – TO (Fonte: INMET/CFS/Interpolação – in: <http://www.climatempo.com.br/climatologia>).

Mês	Mínima (°C)	Máxima (°C)	Precipitação (mm)
Janeiro	20	27	318
Fevereiro	20	27	247
Março	20	27	237
Abril	20	28	100
Maio	19	29	22
Junho	17	29	3
Julho	18	30	1
Agosto	19	33	7
Setembro	22	34	48
Outubro	23	33	128
Novembro	22	30	208
Dezembro	21	28	301
	20,08	29,58	135

A análise dos dados apresentados na Tabela 8 permite identificar as épocas mais chuvosas e secas, assim como as mais quentes e frias da região em questão. A temperatura mínima é registrada em junho, atingindo 17°C, enquanto a temperatura máxima é observada em setembro, chegando a 34°C. A média anual das temperaturas mínima e máxima é de 20,08°C e 29,58°C, respectivamente.

A precipitação pluvial na região apresenta uma distribuição desigual ao longo do ano, caracterizando um regime tropical. A precipitação máxima ocorre em janeiro, com 318 mm no verão, enquanto a mínima é registrada em julho, no inverno, com apenas 1 mm. A precipitação média anual totaliza aproximadamente 135 mm. O período chuvoso estende-se de outubro a abril, enquanto a estiagem ocorre de maio a setembro. Em geral, o quadrimestre de dezembro a março é o mais chuvoso na região.

A Figura 12 evidencia a dualidade do clima tropical de savana, marcado por período chuvoso no verão e seco no inverno. No gráfico apresentado observam-se as temperaturas máximas e mínimas e a precipitação pluvial mensal, médias dos últimos 30 anos.

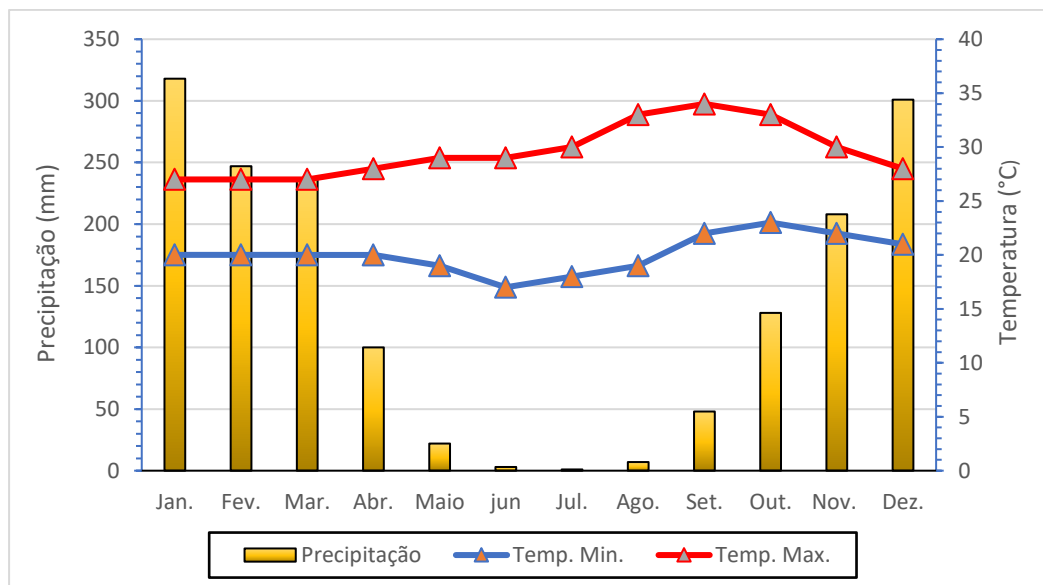


Figura 12: Gráfico do climograma de temperaturas máximas e mínimas e a precipitação pluvial mensal (Fonte: INMET/CFS/Interpolação – in: <http://www.climatempo.com.br/climatologia>).

4.2.2 Hipsometria e Declividade

A hipsometria é um método visual para representar a elevação, mostrando a variação de altitude em relação ao nível do mar. Em um mapa hipsométrico, as áreas mais baixas são tipicamente representadas por cores azuis, seguidas por verde, amarelo, laranja, vermelho, marrom, até chegar ao branco para as áreas mais altas.

O mapa hipsométrico (Figura 13) foi elaborado utilizando o Modelo Digital de Elevação (MDE) e um filtro de sombreamento (hillshade) para realçar as variações de altitude na superfície topográfica. A imagem de satélite do ALOS-PALSAR serviu como base para a criação do mapa. As cores escuras, como marrom, amarelo e vermelho, indicam altitudes elevadas, enquanto as cores mais claras, como verde e azul, representam altitudes mais baixas.

De maneira geral a área apresenta relevo predominantemente plano com altitudes aumentando para oeste, variando entre 230 até 300 metros. As regiões de menor altitude, localizadas nas porções sul, centro e norte da área, ocorrem associadas aos cursos de água, predominantemente meandranes. Já as regiões de maior altitude, que se localizam nas porções centro-oeste, são marcadas pela ausência quase total das drenagens.

Somado a isso, a declividade representa a inclinação da superfície do solo em relação à horizontal. Expressa em porcentagem, a declividade pode variar entre 0 e 90 graus. Embora as escalas de cores usadas para representar a declividade sejam semelhantes às da hipsometria,

elas geralmente começam em verde para inclinações menores e terminam em vermelho para inclinações mais elevadas.

O Sistema de Classificação do Solo Brasileiro, desenvolvido por Santos *et al.* (2018), categoriza o relevo em seis faixas de declividade: relevo plano (0% a 3%), relevo suave ondulado (3% a 8%), relevo ondulado (8% a 20%), relevo fortemente ondulado (20% a 45%), relevo montanhoso (45% a 75%) e relevo escarpado (mais de 75%). Dentre estas, apenas 4 ocorrem na área (Figura 13). Na maior parte da área o relevo é predominantemente plano a suave ondulado. As regiões de encosta de drenagem têm sua declividade variando entre ondulado e fortemente ondulado.

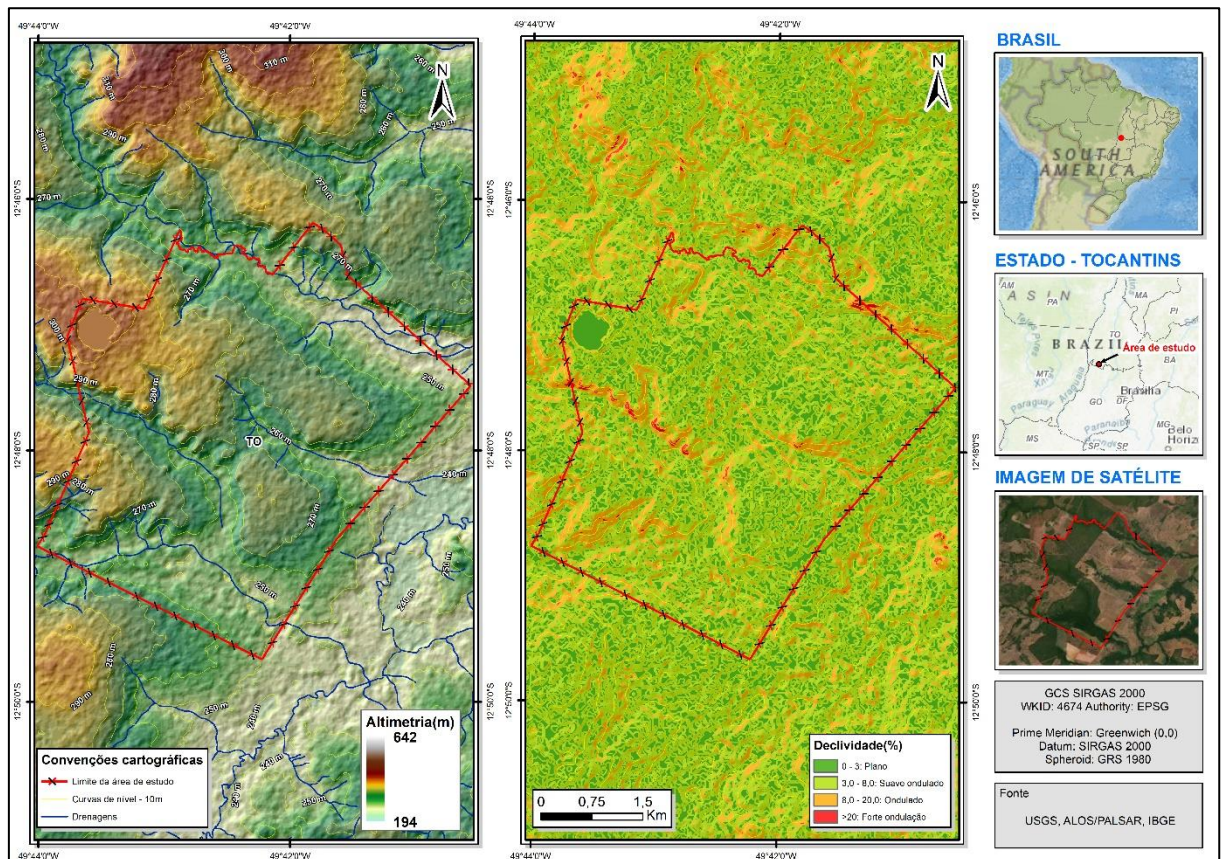


Figura 13: Mapa Hipsométrico e de Declividade.

4.2.3 Solos

Os solos identificados e mapeados na região que engloba a área de estudo são muito bem caracterizados em campo e texturalmente na imagem de satélite, compõem-se principalmente por 02 unidades pedológicas (02 classes de solo) condicionadas aos litotipos presentes na região de interesse e são descritas a seguir.

4.2.3.1 Plintosolo

Plintossolos são solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte plíntico ou litoplíntico ou concrecionário iniciando entre 40 e 200 cm abaixo do horizonte A ou E, ou de outro horizonte que apresente cores pálidas, variegadas ou com mosqueados em quantidade abundante. O horizonte diagnóstico plíntico é definido de acordo com a quantidade de plintita, e sua extensão deve ter no mínimo 15 cm de espessura e conter mais de 15 % de plintita por volume (Embrapa, 1999, 2006).

Na área de estudo, onde ocorre essa variedade de solo, o impedimento à livre drenagem pode ser resultante da existência de rios meandrantés com baixa energia, que ocorre em áreas de cotas inferiores com relevo plano, como depressões, terços inferiores de encostas, ou devido à existência de materiais de texturas argilosas, como nas áreas de surgente em condições de clima tropical úmido.

4.2.3.2 Latossolo

Os latossolos são solos minerais e homogêneos, comuns em áreas tropicais e equatoriais. Caracterizam-se por serem profundos, bem drenados e ácidos, necessitando de manejo adequado para correção da acidez e fertilidade. Existem diversas variações de latossolos, como os Latossolos Vermelhos Distroféricos, ricos em ferro e derivados de rochas básicas, e os Latossolos Vermelho-Amarelos, que possuem menor teor de ferro e são muito ácidos. A textura destes solos varia de média a muito argilosa, e sua cor pode ser desde vermelha até amarela.

Na área de estudo predominam-se Plintosolo Argilúvico, Latossolo Vermelho/Vermelho-Amarelo Distrófico, conforme a Figura 14.

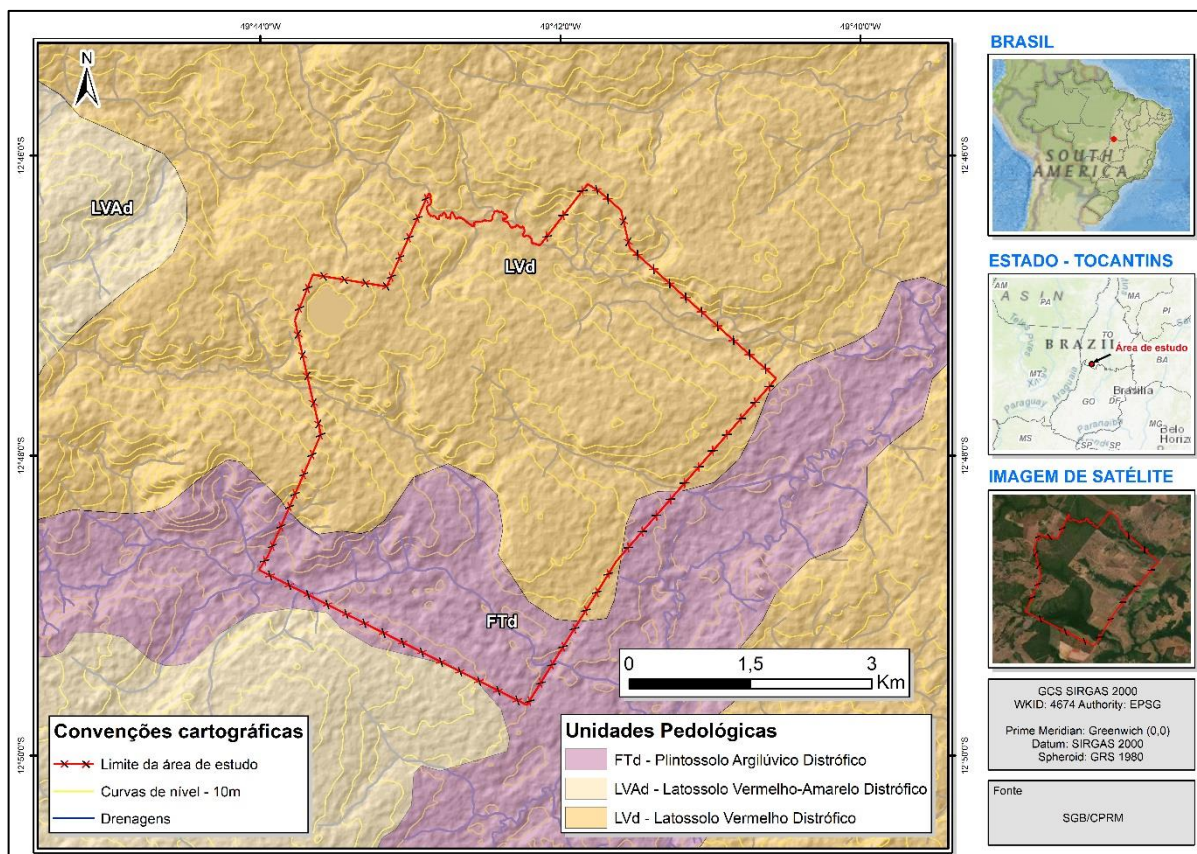


Figura 14: Mapa pedológico, destacando a predominância dos solos do tipo Plintossolo Argilúvico, Latossolo Vermelho/Vermelho-Amarelo Distrófico na área de estudo.

4.2.4 Uso e Ocupação do Solo

O estudo do uso e ocupação da terra tem como objetivo analisar detalhadamente como uma determinada região está sendo utilizada e ocupada, além de compreender as dinâmicas que influenciam e moldam essa ocupação. Essa análise visa auxiliar no planejamento e desenvolvimento sustentável, identificar possíveis impactos ambientais e sociais, e orientar políticas públicas eficazes.

Na região de estudo, foram identificadas quatro classes de uso e ocupação (Figura 16):

- ❖ Pastagem: Abrange a maior parte da área de estudo, representando 51,09% do total. Esta classe é caracterizada por extensas áreas dedicadas à criação de gado e à agricultura.
- ❖ Formação Savânica: Ocupa 37,34% da área, sendo caracterizada pelo Cerrado sentido restrito, com a presença predominante de estratos arbóreo e arbustivo-herbáceo.
- ❖ Formação Florestal: Representa 10,93% da área, sendo caracterizada pela Mata Ciliar e Mata de Galeria. Estas formações vegetais são encontradas ao longo dos

cursos d'água e podem se desenvolver em terrenos tanto bem drenados quanto mal drenados.

- ❖ Área Pantanosa: Corresponde a 0,30% da área mapeada e é caracterizada por lagos artificiais.

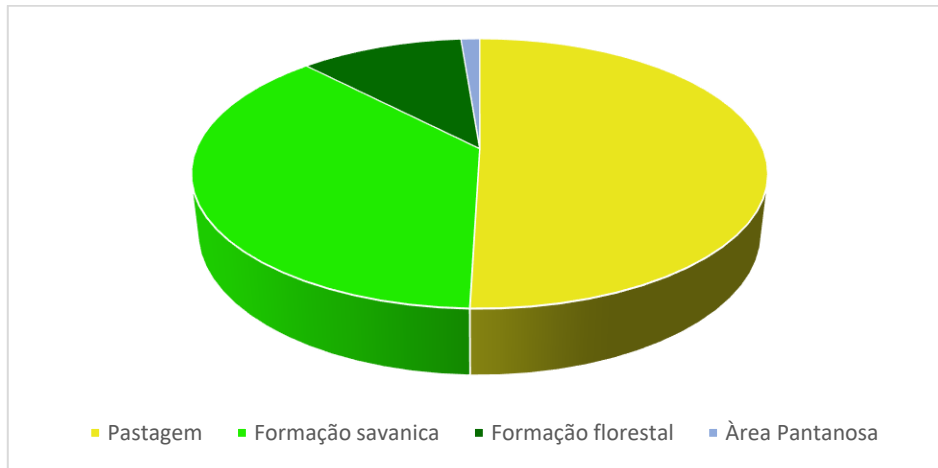


Figura 15: Proporção de uso e ocupação do solo na área de estudo. Destacando uma maior proporção de pastagem na área de estudo.

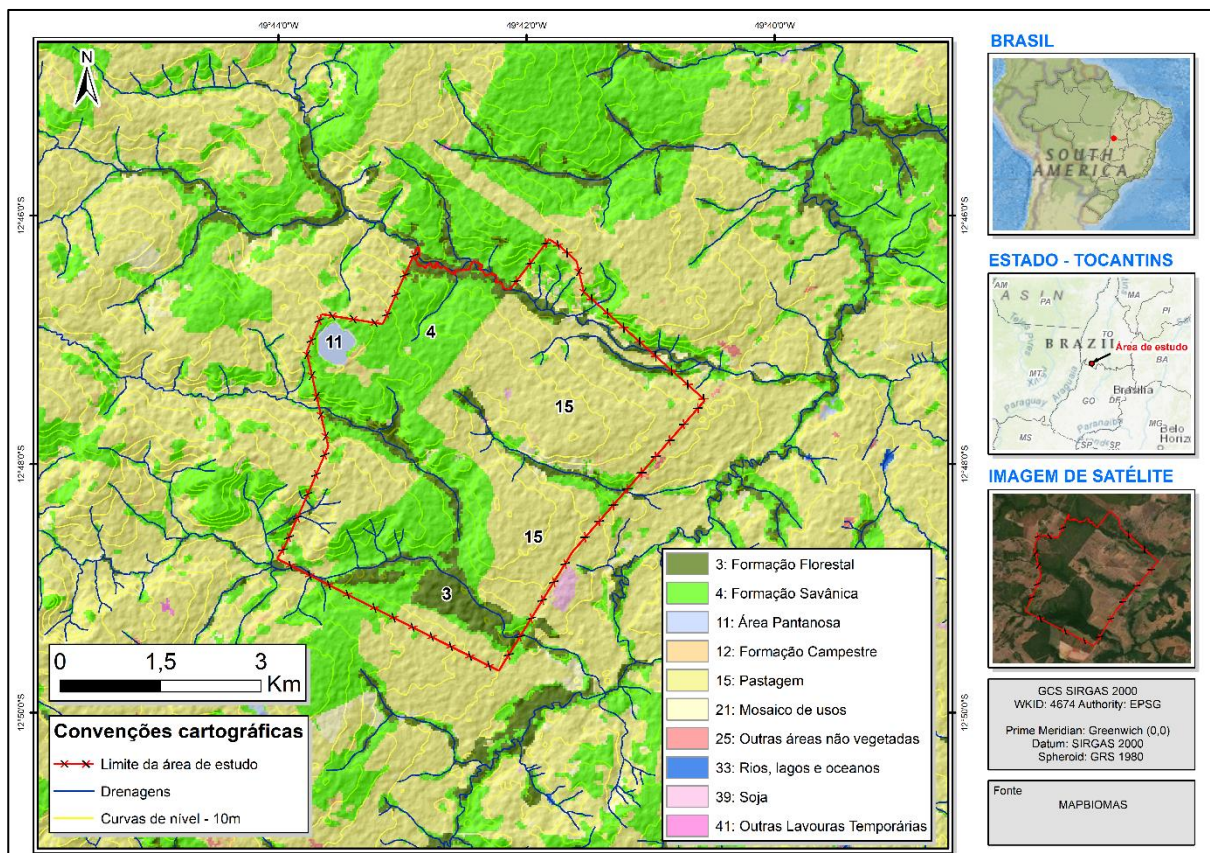


Figura 16: Mapa de uso e ocupação do solo. Indicando a presença de Pastagem, Formação Florestal, Formação Savânica e Área Pantanosa.

4.2.5 Hidrografia

Os dados hidrográficos da região foram divididos entre tipos de aquíferos, bacias hidrográficas e trechos de drenagens predominantes (Figura 17).

4.2.5.1 Aquífero Fraturado Centro Sul

O aquífero fraturado, denominado Centro-Sul, desempenha um papel essencial no abastecimento de água para diversas finalidades, incluindo consumo humano, irrigação agrícola e uso industrial. Este aquífero é caracterizado por suas rochas fraturadas, que criam espaços permitindo a movimentação e armazenamento da água. Composto predominantemente por rochas ígneas e metamórficas, como granitos e gnaisses, o aquífero possui baixa porosidade primária. Entretanto, a presença de fraturas e falhas nas rochas aumenta significativamente a capacidade de armazenamento e condução de água.

4.2.5.2 Bacia Hidrográfica do Rio Formoso

A bacia hidrográfica da área em estudo é a bacia do Rio Formoso, uma importante região hidrográfica localizada no estado de Tocantins, Brasil. Essa bacia desempenha um papel crucial no abastecimento de água, na conservação ambiental e no desenvolvimento econômico da região.

A geologia da bacia é composta por formações sedimentares e rochas metamórficas. Os solos variam desde latossolos, que são profundos e bem drenados, até gleissolos, que são mais úmidos e associados às áreas de várzea. Essa diversidade de solos influencia diretamente a capacidade de retenção de água e a produtividade agrícola da região.

4.2.5.3 Cursos Hídricos

Os principais cursos hídricos presentes na região são: Corrego Barreiro, Corrego Pindaíba, Córrego Cedro e Rio Piaus.

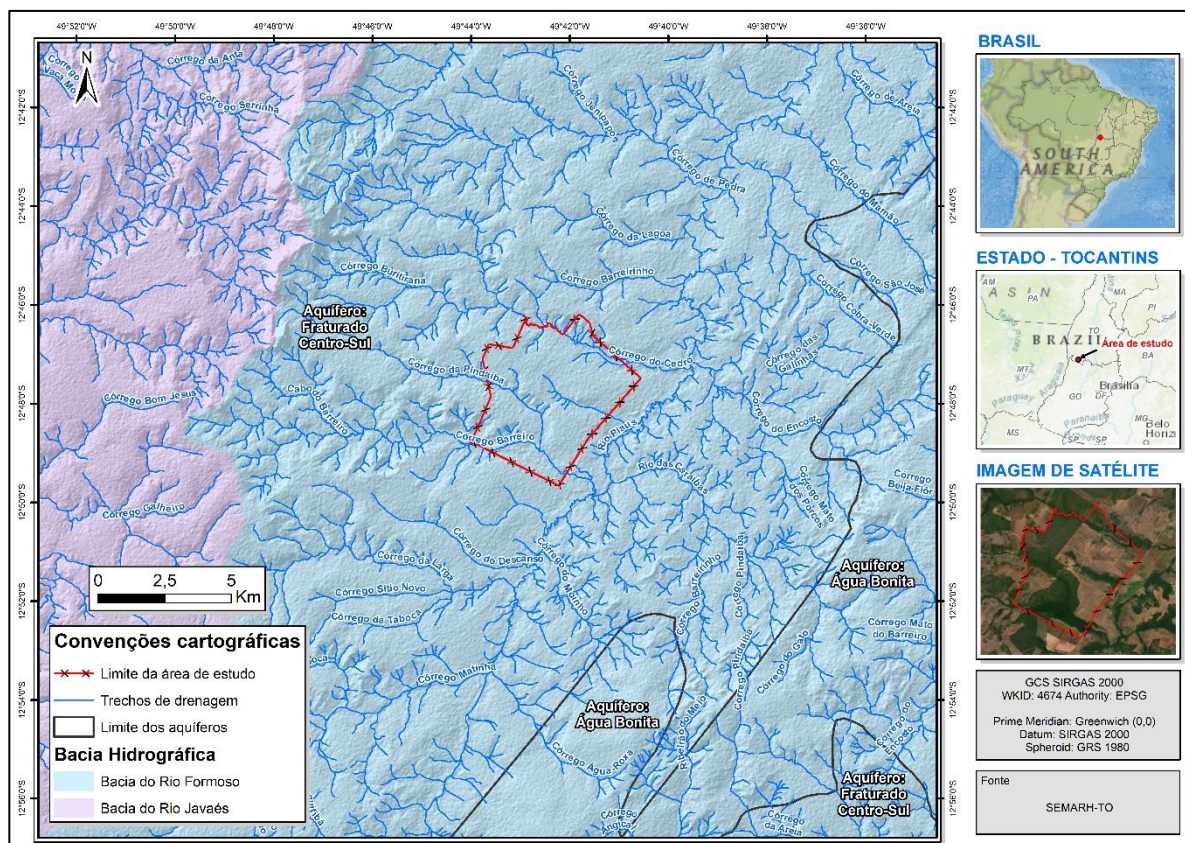


Figura 17: Mapa Hidrográfico, destacando que a área de estudo está inserida no contexto da Bacia do Rio Formoso.

4.3 Unidades Litológicas Mapeadas

O contexto geológico da área mapeada corresponde, da base para o topo, ao conjunto de rochas metamórficas do Grupo Baixo Araguaia, mais especificamente a Formação Xambioá, sobrepostas a essa tem-se um milonito descrito como produto de cisalhamento regional, por fim tem-se a Formação Água Bonita caracterizada por conglomerados. Para a caracterização litoestrutural da área, foram mapeados 52 pontos distribuídos em uma área de 25 km².

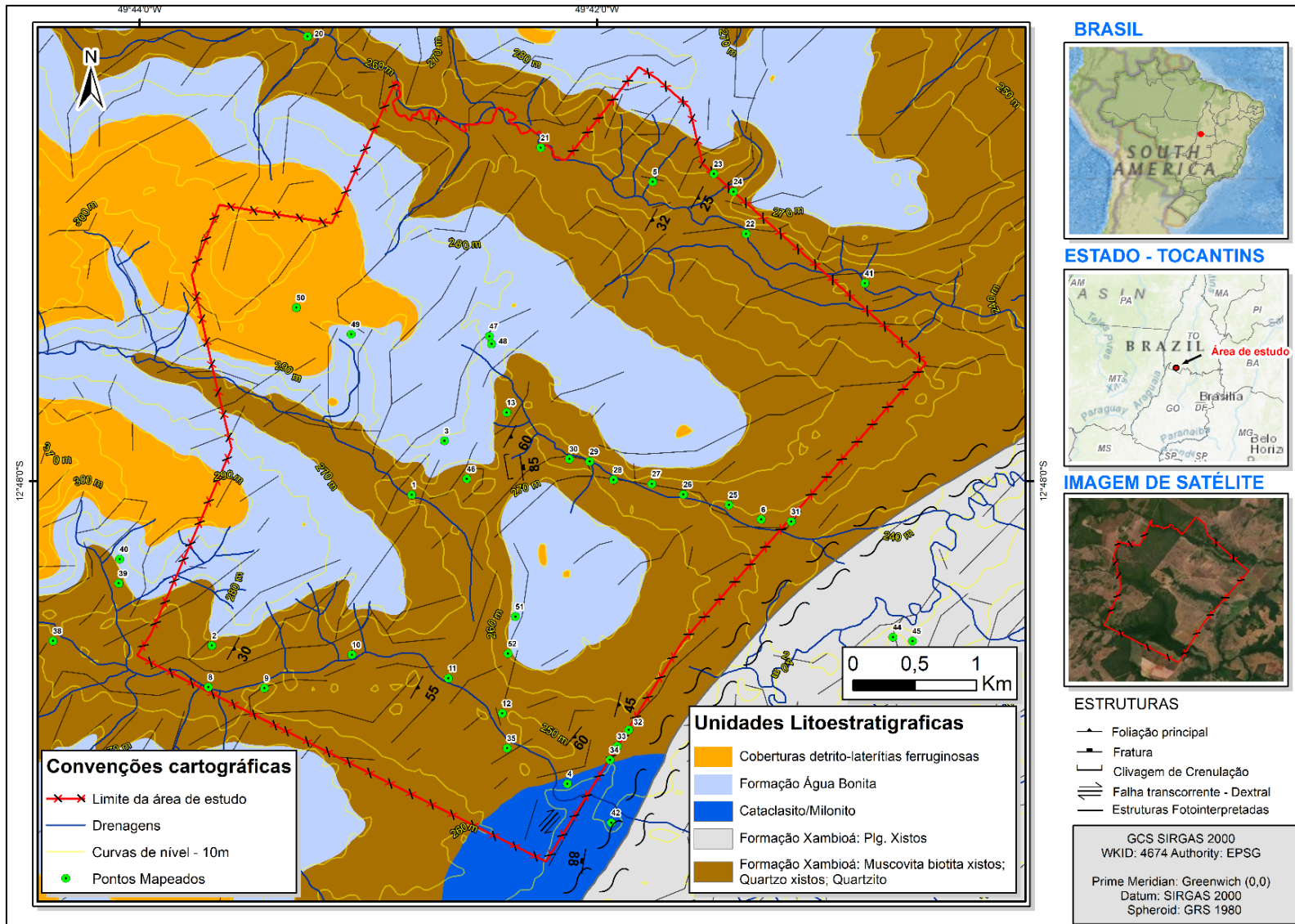


Figura 18: Mapa Geológico local

4.3.1 Grupo Baixo Araguaia – Formação Xambioá

As rochas desta formação correspondem à maior parte da área de mapeamento e estão em contato com os sedimentos da Formação Água Bonita, além dos produtos do intemperismo, como os depósitos de detritos lateríticos, que serão descritos mais à frente. As regiões onde essa unidade ocorre são predominantemente planas, compostas por solo arenoso, latossolo quartzoso e elúvio arenítico.

Estas afloram em forma de lajedo, corte de estrada, blocos *in situ* e blocos rolados (Figura 19-A). As cores predominantes variam de cinza a cinza escuro, com exposições de rochas alteradas exibindo colorações avermelhadas a esbranquiçadas. A granulação predominante é média, com foliação bem marcada, apresentando variação entre porções com predomínio de filossilicatos e porções com predomínio de minerais félsicos. A mineralogia geral da rocha é composta por plagioclásio, quartzo, muscovita e biotita, ocasionalmente com granada como mineral acessório.

Por meio da análise macroscópica geral, as rochas dessa unidade apresentam composição mineralógica de quartzo (30%), plagioclásio (19%), biotita (25%) e muscovita (26%), que se apresentam orientados segundo o plano de foliação da rocha.

A biotita, juntamente com a muscovita, marca a textura lepidoblástica da rocha (Figura 19-B), formando agregados lamelares que conferem uma aparência foliada à rocha. Este mineral apresenta grãos subédricos, variando de marrom escuro a preto, com granulação média apresentando grãos medindo entre 0,5 a 1 mm. Tem dureza de aproximadamente 3 na escala de Mohs e exibe clivagem basal perfeita. Estas são frequentemente encontradas oxidadas, ou por vezes, mostrando uma alteração total para um solo avermelhado.

Associada à biotita e, também contribuindo para a textura lepidoblástica, tem-se a muscovita. Este mineral apresenta grãos subédricos lamelares, variando de incolor a tons de cinza brilhante ou verde pálido, tem granulação média com grãos medindo entre 0,5 a 1 mm. Tem dureza de 2 a 2,5 na escala de Mohs e exibe clivagem basal perfeita.

O quartzo marca a parte da textura granoblástica da rocha, sendo comumente associado ao plagioclásio, formando agregados granulares que compõem uma textura sacaroidal. Este mineral apresenta grãos subédricos, é incolor, com granulação predominantemente média com grãos variando entre 1 a 2 mm. Tem dureza de 7 na escala de Mohs e frequentemente apresenta fratura conchoidal.

O plagioclásio também define a textura granoblástica da rocha, compondo, juntamente com o quartzo, a textura sacaroidal. Estes minerais são subédricos a anédricos, variando de coloração esbranquiçada a incolor, com granulação média. Possuem dureza aproximada de 6,5

na escala de Mohs e apresentam clivagem perfeita em duas direções. Frequentemente, os grãos de plagioclásio são observados alterados para argilominerais, resultando em uma coloração mais esbranquiçada na rocha. Eventualmente, pode-se notar um processo incipiente de epidotização, conferindo uma tonalidade esverdeada à rocha.

A partir da mineralogia e textura detalhadas, a rocha pode ser classificada como biotita-muscovita-xisto.

Além destas foram encontradas lentes de quartzo, que se formam a partir do intemperismo da rocha. Nesses processos, os minerais menos resistentes ao intemperismo, como a biotita, transformam-se em solos, enquanto o quartzo, sendo mais resistente, permanece inalterado.

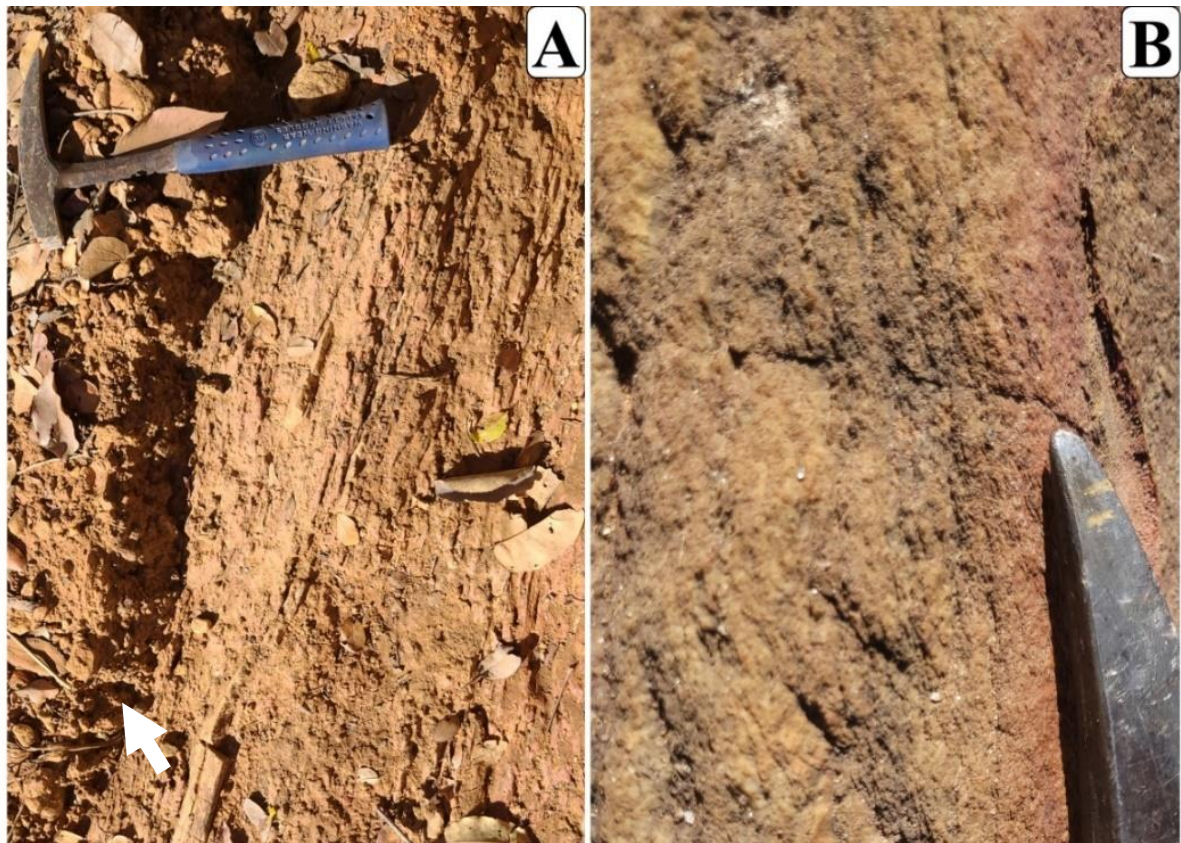


Figura 19: A: Afloramento de Xisto intemperizado. B: Amostra de mão indicando a orientação dos minerais segundo o plano de foliação.

Nesta unidade, também ocorre uma variação de xistos onde o plagioclásio é predominante. Esses xistos frequentemente afloram bastante intemperizados e alterados para argilominerais, apresentando-se na forma de lajedo (Figura 20). Geralmente, esses litotipos exibem dobras levemente suaves e certa estratificação entre os minerais micáceos e os minerais de quartzo e feldspato.

A cor é predominantemente esbranquiçada, a granulação é grossa e a textura é granolepidoblástica. A mineralogia desse litotipo é composta por plagioclásio (50%), muscovita (30%), biotita (5%) e quartzo (15%).

Com base na coloração e nas associações minerais, pressupõe-se que o plagioclásio predominante é a albita. Dessa forma, a rocha foi classificada como albita xisto.



Figura 20: Afloramento de albita xisto em chão de estrada.

4.3.2 Lente de Milonito

Nesta unidade, predominante na parte sul da área de estudo, observa-se um contato com rochas da Formação Xambioá, podendo ser interpretada como produto do cisalhamento regional na região. Não foi possível correlacionar essa unidade com nenhum grupo ou formação mapeados pela CPRM/SGB.

Essas rochas afloram na forma de morrotes, blocos rolados em drenagens e lajedos (Figura 21). A cor varia entre cinza esverdeado e rosado, com granulação fina a média. Apresentam foliação milonítica e textura predominantemente granonematoblástica. Mineralogicamente, a análise macroscópica, determinou que a rocha é composta por quartzo, plagioclásio, feldspato potássico, clorita, anfibólio e opacos.

A petrografia dessa rocha será descrita com foco para seu uso como rocha ornamental e revestimento, em maior detalhe na seção 4.5.



Figura 21: Lajedo de rocha milonítica.

4.3.3 Graben Água Bonita – Formação Água Bonita

As rochas dessa unidade predominam-se na parte central da área de mapeamento. Encontram-se sobrepostas às rochas da Formação Xambioá, e, também, associadas a depósitos detrítico-lateríticos. As regiões com predomínio desse litotipo é caracterizada por solo pedregulhoso, com pedregulhos predominantemente arredondados.



Figura 22: Afloramento em corte de estrada dos conglomerados

Estas rochas afloram em forma de cortes de estrada e seixos rolados. De maneira geral, esses sedimentos apresentam um forte grau de alteração. Tanto os seixos quanto os grãos da matriz são subarredondados a arredondados, com esfericidade média. A granulação da matriz é de areia média a grossa, com grãos variando de 0,4 a 2 mm, enquanto os seixos apresentam granulação predominantemente grossa, com grãos que podem variar de 2 a 15 cm. As cores variam conforme o grau de intemperismo: apresentam coloração cinza quando incipiente e colorações mais avermelhadas quando muito afetadas, devido à presença de óxidos de ferro.

A composição macroscópica geral é predominantemente quartzosa (75%), podendo conter plagioclásio (15%) devido à presença de argilas, possivelmente como produto da alteração destes, e hematita (10%). Isoladamente, os seixos apresentam uma composição quartzosa com textura sacaroidal, o que, possivelmente, pode indicar que os seixos são derivados das rochas da Formação Xambioá.

Com base nessa descrição, este litotipo pode ser classificado como conglomerado predominantemente quartzoso, composto por matriz arenítica e/ou hematítica.



Figura 23: Seixo com textura sacaroidal

4.3.4 Coberturas detrito-lateríticas

Essa unidade predomina na parte oeste da área mapeada. São encontradas sobrepostas diretamente sobre rochas da Formação Água Bonita, sendo correlacionável, neste trabalho,

como produto de alteração destas rochas subjacentes. Devido às propriedades de intemperismo, que auxilia na formação dessa unidade, ela ocorre de maneira uniforme plano-horizontal.

Na área de estudo estas ocorrem em forma de lajedo, e blocos soltos. São descritas como fragmentos de laterita principalmente ferruginosas, em geral com cores variando de vermelha a amarela.

Devido às características da laterita, que apresenta estruturas reliquiares, da rocha pré-existente (Formação Água Bonita) como aspectos de seixos arredondados, matriz arenítica e texturas sacaroidais. Associa-se essa unidade como consequência direta do intemperismo da Formação Água Bonita (Figura 24 A e B).



Figura 24: A: Comparação entre seixos da Formação Água Bonita e amostras de laterita. B: Lajedo de laterita apresentando seixo proveniente da Formação Água Bonita.

4.4 Geologia Estrutural

Na área de mapeamento, a região que melhor compreende a variedade de estruturas, foram obtidas na região das rochas metamórficas da Formação Xambioá. Nos litotipos sedimentares não foi possível verificar estruturas primárias, entretanto interpreta-se que estas predominam-se de forma plano-horizontal.

A foliação S_n , está relacionada a uma fase de deformação D_n , e é marcada por dobras com ângulo de mergulho intermediário, bem evidenciada nos minerais micáceos e, muitas vezes coincidem com os veios de quartzo.

A foliação S_{n+1} , está relacionada a uma segunda fase de deformação posterior ao D_n . No campo, essa relação é observada em lineações de crenulação que gerou clivagens de crenulação com ângulo de aproximadamente 40° em relação a direção de foliação principal (Xistosidade).

Por fim, o último evento observado é bem marcado por uma zona de cisalhamento, bem observada no ponto onde ocorre o milonito, onde é possível observar claros indícios de transporte de topo para NE, indicando um movimento dextral.

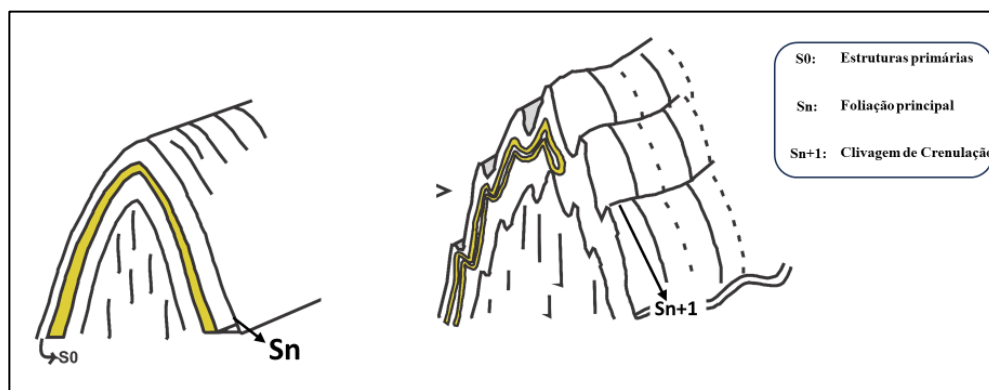


Figura 25: Esquema estrutural da área.

Portanto nessa região é possível deduzir duas fases de dobramentos, de acordo com relações encontradas em campo, que são responsáveis por gerar duas foliações bem marcadas (Figura 25), uma primeira por xistosidades (S_n) e a segunda por uma clivagem de crenulação (S_{n+1}), pressupõe-se, também, uma última foliação monolítica produto do cisalhamento regional.

4.4.1 Componentes estruturais

4.4.1.1 Foliação principal - S_n

Para este componente foram utilizados dados de 52 medidas registradas em *dip-direction*. Trata-se da foliação mais aparente sobre as rochas da Formação Xambioá, sobre regime dúctil de deformação. É bem marcada pela xistosidade (Figura 26).

A direção preferencial da camada é NE-SW com uma preferência de mergulho para SE e ângulo de mergulho médio de aproximadamente 50 graus (Figura 27). A direção da camada

coincide com os principais lineamentos extraídos da área, conforme foi demonstrado na sessão de Sensoriamento Remoto.



Figura 26: Foliação S_n observada em afloramento de xistos da Formação Xambioá.

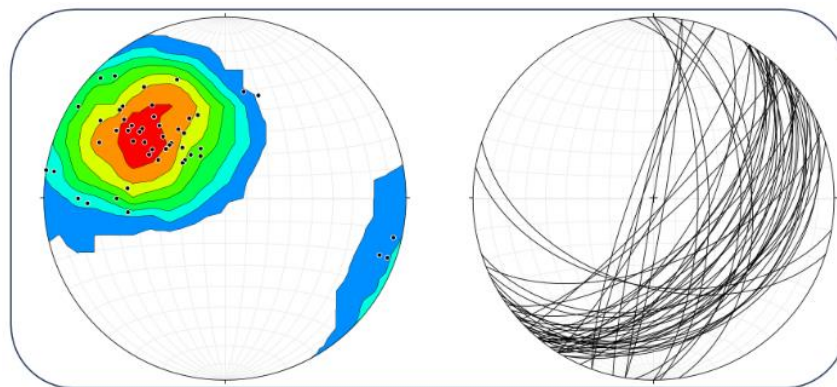


Figura 27: Projeção estereográfica dos planos dos planos da foliação principal.

4.4.1.2 Clivagem de crenulação – S_{n+1}

Nesse tipo de estrutura foram feitas 35 medidas, e registradas em modelo *dip-direction*. Este plano (Figura 28) é observado pelo conjunto de linhas denominadas de lineação de crenulação.

Observa-se a foliação principal sendo interferida por uma clivagem de crenulação posterior, possivelmente causada por compressão. A direção da camada é preferencialmente observada N-S (Figura 29), e justapõe sobre a foliação principal, gerando crenulação. O plano axial das dobras de crenulação coincide com as medidas da clivagem. E o eixo das mesmas coincide com as lineações.



Figura 28: Dobras de crenulação e foliação S_{n+1} marcada em mica-xisto.

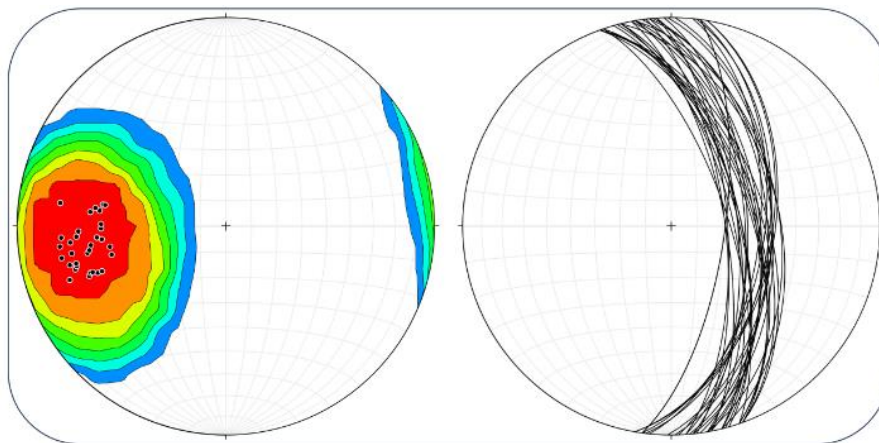


Figura 29: Projeção estereográfica dos polos dos planos da foliação S_n .

4.4.1.3 Foliação milonítica

Essa foliação é caracterizada por intensa deformação por cisalhamento, que gerou estiramento e cominuição dos minerais na matriz da rocha. A foliação milonítica (Figura 30-A) normalmente segue a tendência regional, apresentando-se principalmente na direção N-S e, às vezes, NE-SW (Figura 31). Isso pode ser interpretado como resultado de esforços entre as faixas Brasília e Araguaia, gerando componentes N-S quando há maior influência da Faixa Araguaia e componentes NE-SW com maior influência da Faixa Brasília. A região apresenta indícios de movimentos dextrais, com transporte de topo para N ou NE.

Essa foliação é bem marcada nas rochas miloníticas, que são o foco deste trabalho para uso como rocha ornamental. A região apresenta diversos indicadores cinemáticos, como porfiroclastos rotacionados, falhas e dobras de arraste, indicando um intenso grau de

cisalhamento. Isso foi confirmado pelas análises de lâminas delgadas, onde as mesmas características observadas macroscopicamente também foram identificadas no micro.

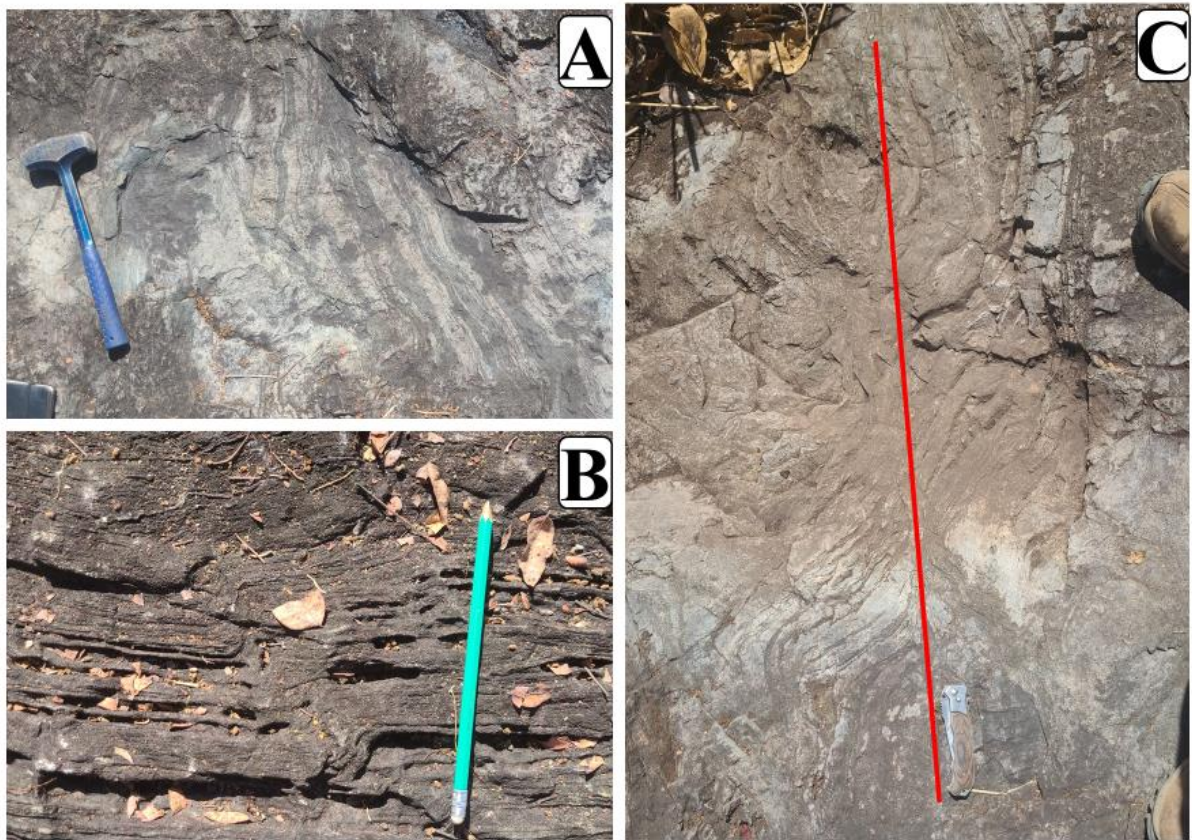


Figura 30: A: Foliação milonítica bem marcada. B: Falha. C: Dobra de arrasto.

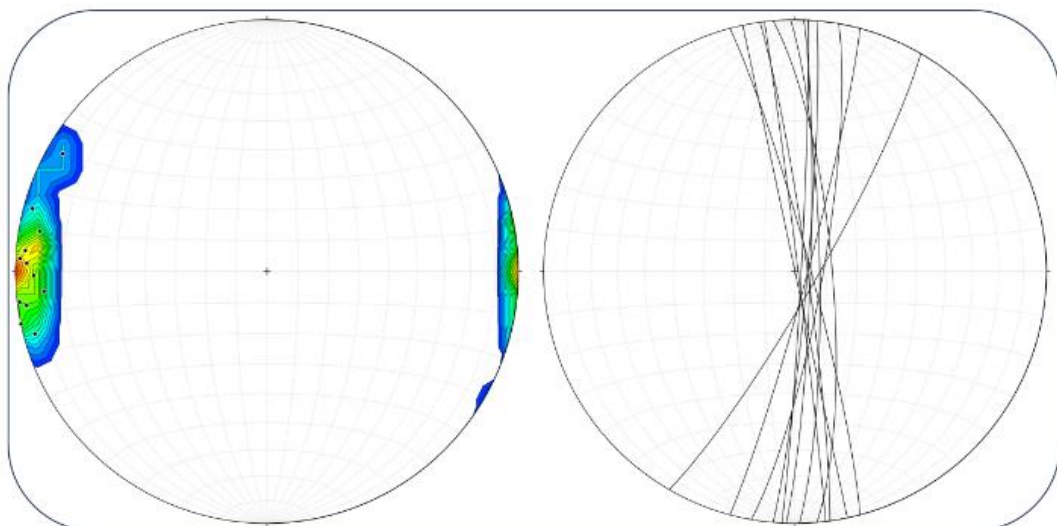


Figura 31: Projeção estereográfica dos polos dos planos da foliação milonítica

4.4.1.4 Fraturas

Neste tipo de estrutura, foram obtidas 25 medições, registradas em um modelo dip-direction. O plano foi observado de maneira quase perpendicular à direção da foliação principal. As fraturas apresentam-se quase verticais, com mergulhos observáveis tanto para o nordeste (NE) quanto para o sudoeste (SW). A inclinação das fraturas varia entre 85° e 89° (Figura 32).

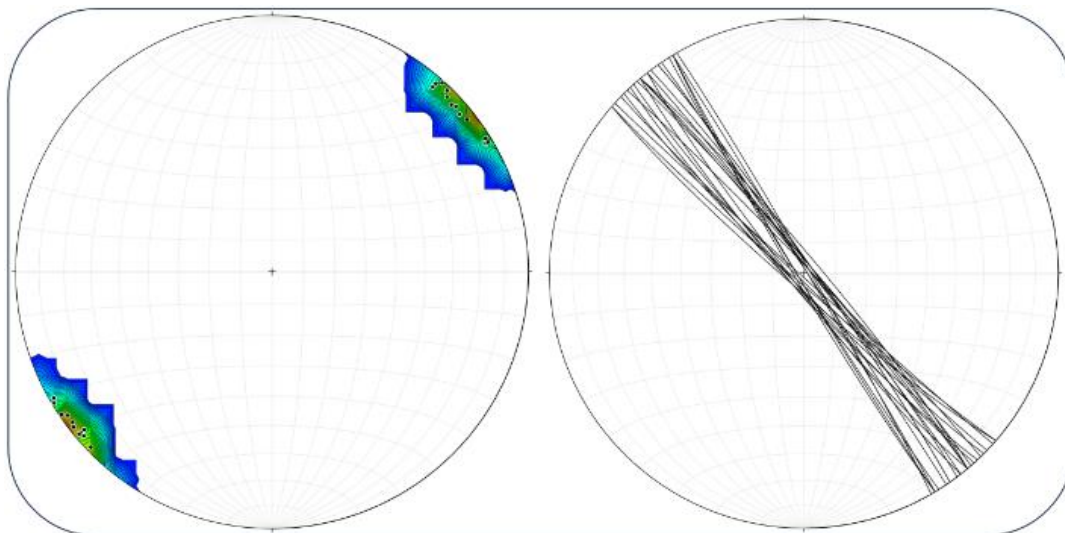


Figura 32: Projeção estereográfica dos polos dos planos das Fraturas.

4.5 Análise Petrográfica

A análise aqui será feita detalhadamente sobre os milonitos que ocorrem na parte sul da região de estudo.

4.5.1 Análise Macroscópica

A rocha em estudo é uma rocha metamórfica com granulação fina, estrutura milonítica bandada e textura predominantemente granonematoblástica. Sua coloração varia do verde, quando há predomínio de anfibólios, ao rosa, quando há maior predominância de quartzo e feldspatos (Figura 33). A dureza da rocha varia entre 3 e 5 nas áreas com predominância de minerais máficos e entre 5 e 7 nas regiões onde predominam os minerais félsicos. Mineralogicamente a rocha é composta por quartzo, plagioclásio, feldspato potássico, clorita, anfibólio e sulfetos. Nas regiões onde são observadas fraturas preenchidas, reagem ao HCl, indicando presença de calcita secundária. As amostras não apresentam magnetismo.

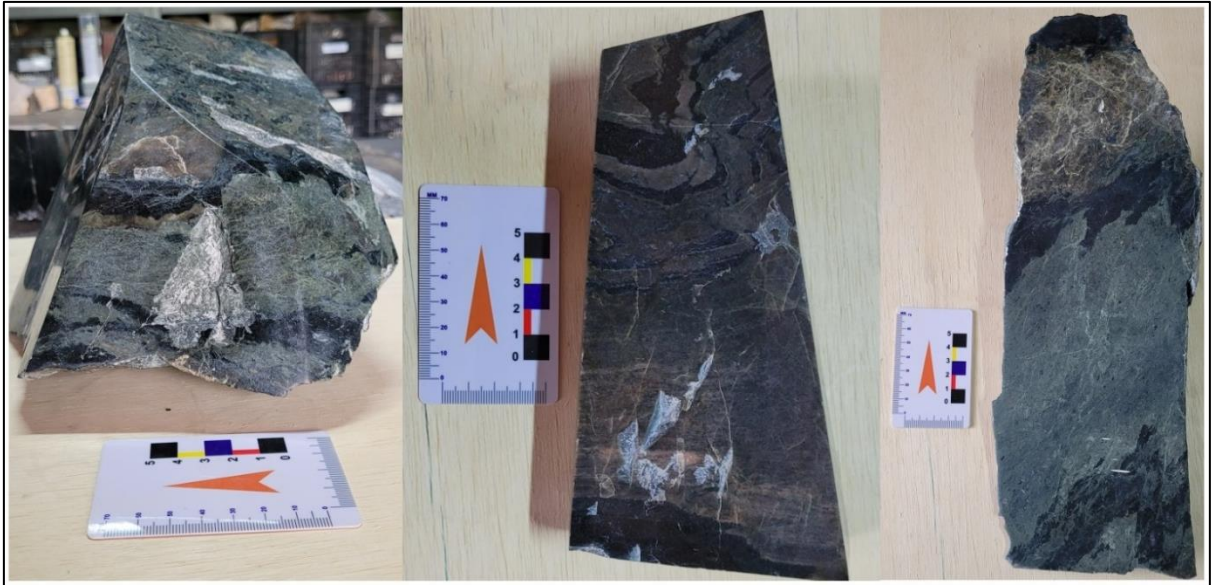


Figura 33: Amostras macroscópicas exibindo as possíveis variações composicionais

4.5.2 Análise Microscópica

As principais características petrográficas observadas encontram-se sintetizadas na Tabela 9. Nos capítulos subseqüentes, os dados das análises petrográficas serão comparados com os dados de química mineral e de ensaios tecnológicos. Esse confronto tem como objetivo avaliar a influência dos aspectos petrográficos no comportamento físico, físico-mecânico e na alterabilidade química das rochas ornamentais estudadas.

Tabela 9: Principais características petrográficas.

Mineralogia (%)	Am. 1	Am. 2	Am. 3	Am. 4.1	Am. 4.2	MÉDIA
Quartzo	20	10	5	17	17	
Plagioclasio	23	10	5	15	20	
Feldspato Potássico	25	11	5	15	20	
Carbonato	10	5	5	3	5	
Opacos	8	2	1	2	2	
Clorita	5	10	15	5	5	
Epidoto	5	3	10	3	3	
Biotita	2	2	2	5	5	
Anfíbólio	2	37	45	30	20	
Argilominerais		10	7	5	3	
TOTAL (%)	100	100	100	100	100	
Extrutura	Foliação Milonítica	Foliação Milonítica	Foliação Milonítica	Foliação Milonítica	Foliação Milonítica	
Textura	Granoblástica	Granonematoblástica	Nematoblástica	Nematogranoblástica	Granonematoblástica	
Cor	Rosada	Cinza a verde claro	Verde escuro	Verde escuro a rosa	Verde escuro a rosa	
Granulação (mm)						
Variação	0,1 - 2	0,1 - 3	0,1 - 3	0,5 -4	0,5 -4	
Predominância	0,5 - 1	0,5 - 1	0,5 - 1	1-2	1-2	
Microfissuras/mm²	0,56	0,7	0,65	0,4	0,45	0,552
Microfissuras (%)						
Intragrãos Vazios	5	8	10	10	10	8,6
Intragrãos Preenchidos	10	20	20	25	25	20
Intergrãos Vazio	25	25	25	25	25	25
Intergrãos Preenchidos	60	47	45	40	40	46,4
Alteração mineral						
Plagioclásio	Baixa	média	alta	média a alta	média a alta	
Biotita	média	média a alta	média a alta	média a alta	média a alta	
Contatos (%)						
Planos	2	5	5	5	3	20
Serrilhados	70	80	65	75	75	57
Côncavos-convexos	28	15	30	20	22	23
Classificação Petrográfica	Fds. Milonito	Fds. Amp. Milonito	Amp. Milonito	Amp. Fds. Milonito	Amp. Fds. Milonito	

A amostra exibe uma matriz fina de quartzo e feldspato, apresentando cristais de anfibólio preservados, que apresentam inclusões de minerais opacos. Além disso, há fraturas preenchidas por carbonato ou clorita, indicando que estes são tardios à formação da rocha original, bem como alguns cristais angulosos de quartzo e feldspato. A matriz, de coloração verde, indica um domínio dos minerais de Anfibólio.

Nas lâminas, a cor, em resposta à variação composicional (Figura 34), varia desde incolor (Am. 1) até esverdeada (Am.3) nas regiões ricas em anfibólio. A granulação geral é predominante de fina a média, com grãos variando de 0,1 até 3 mm, textura granonematoblastica inequigranular, com foliação marcada pelos minerais prismáticos e tabulares como anfibólio e clorita.



Figura 34: Variação composicional das lâminas petrográficas

Nas regiões incolores das lâminas (Figura 35 – Am. 1), sob luz natural, observa-se um domínio de minerais de quartzo (25%), plagioclásio (23%), feldspato potássico (25%), com menores quantidades de minerais opacos (8%), clorita (5%), epidoto (2%) e biotita (2%). Em uma fase mais tardia, carbonatos (10%) são observados preenchendo as discontinuidades.

Nas porções máficas (Figura 35 – Am. 3), domina o anfibólio (45%), acompanhada por quantidades menores de clorita (15%), epidoto (10%), argilominerais (7%), quartzo (5%), plagioclásio (5%), feldspato potássico (5%) e carbonato (5%), este último provavelmente de formação tardia.

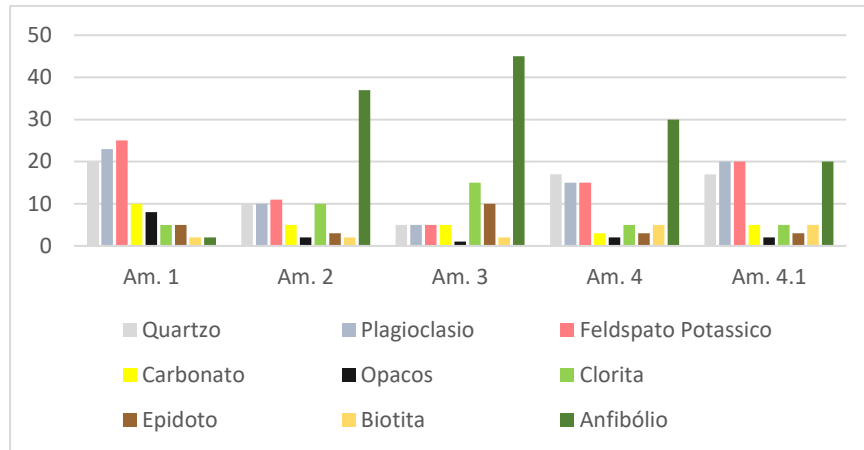


Figura 35: Relações de quantidades minerais nas lâminas estudadas.

O anfibólio apresenta uma orientação que resulta em uma textura nematoblástica, provavelmente devido a processos tectônicos. Esses minerais exibem coloração verde-escuro, com grãos de granulação média entre 2 a 3 mm, sendo inequigranulares e anédricos. Os contatos entre estes são principalmente planos e sugerem uma formação posterior à cinemática. As microfissuras, de densidade média a alta, são predominantemente intragranulares.

Nos plagioclásios, destaca-se uma granulação fina a média-fina e inequigranular, com contatos côncavos-convexo ou serrilhados. Observa-se a presença de maclas albíticas e, ocasionalmente, pertitas. As microfissuras apresentam densidade média e são principalmente intergranulares, frequentemente acompanhadas por uma "massa de recristalização" intersticial, resultante de epidotização. Os plagioclásios, por vezes, são substituídos por epidotos, mostrando um médio grau de alteração.

O quartzo nas amostras exibe foliação resultante de processos tectônicos, caracterizada por extinção ondulante, deformação, cominuição dos cristais e recristalização. Os grãos, em geral, apresentam granulação fina a média-fina e são inequigranulares, variando de subédricos a anédricos com contatos predominantemente côncavo-serrilhados. As microfissuras têm densidade baixa e são principalmente intergranulares. O quartzo demonstra bom entrelaçamento com outros minerais, como plagioclásio e calcita, e apresenta um grau de alteração fraco.

O feldspato potássico ocorre associado ao plagioclásio e quartzo, compondo uma matriz fina, de minerais cominuídos. Os grãos têm granulação fina a média-fina, e são inequigranulares, com contatos serrilhados-planos. As microfissuras têm densidade média, sendo encontrada principalmente intergrãos. Apresenta grau de alteração médio, onde estes minerais, encontram-se alterados para argilominerais.

Quanto ao microfissuramento, o milotito apresenta uma densidade média de microfissuras de aproximadamente $0,552/\text{mm}^2$, caracterizando um grau geral de microfissuramento considerado baixo ($< 1/\text{mm}^2$).

As microfissuras são observadas tanto intragranulares, quando esta ocorre no meio dos grãos, quanto intergranulares, quando ocorre entre os cristais. Cerca de 28,6% das microfissuras estão contidas dentro dos cristais, das quais aproximadamente 8,6% estão sem preenchimento e 20% são preenchidas com materiais variados, como carbonato e clorita. Em maior volume observa-se microfissuras intergrãos com cerca de 71,4% das quais 25% estão sem preenchimento, e 46,4% são descontinuidades preenchidas, por clorita, carbonato e argilominerais. Apesar da grande quantidade fissuras, estas estão em sua maioria preenchidas, evitando fatores como porosidade e absorção de água.

Por fim, observa-se que a predominância de contatos é do tipo côncavo-convexo e serrilhado, totalizando aproximadamente 80% dos contatos, refletindo uma boa interação entre cristais de feldspato alcalino, plagioclásio e quartzo compondo uma fina matriz cominuída. Os restantes 20% dos contatos são do tipo plano, ocorrendo principalmente entre cristais de anfibólio e clorita juntamente a matriz. Por vezes, os cristais de clorita também exibem relações de contato variando de côncavo-convexo a plano em escalas locais.

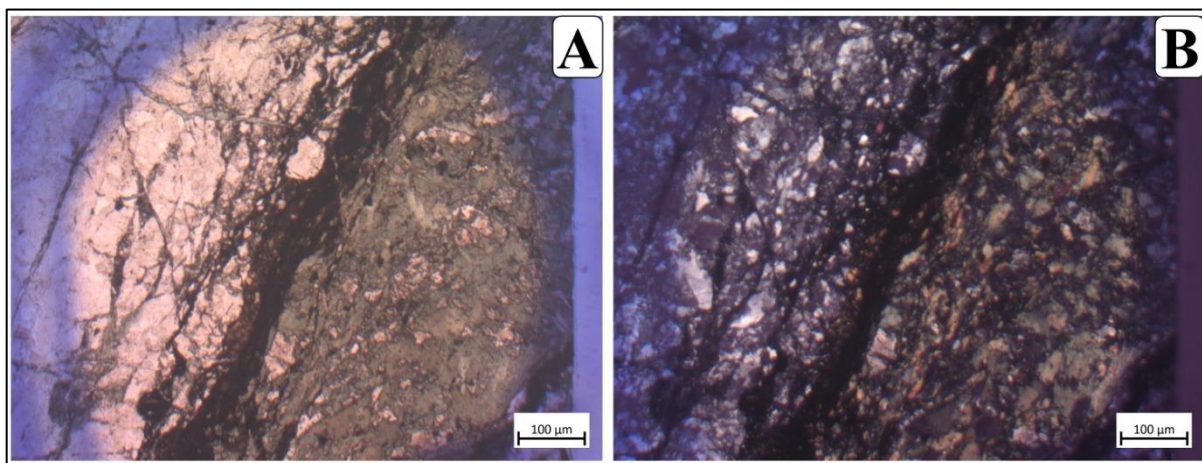


Figura 36: Variação composicional entre regiões incolores, predomínio de qtz. e fds., e região esverdeada, predomínios de amp. A: Luz Natural; B: Luz ortoscópica

4.6 Química mineral

Nesta seção, serão apresentados minerais representativos da rocha, escolhidos com base nas análises de microscopia óptica para investigação da química mineral por meio de MEV-EDS. Os campos de interesse de cada lâmina foram selecionados para identificar minerais não

determinados anteriormente pela microscopia óptica. Os espectros resultantes foram comparados com dados do Laboratório Microanalítico de Ciências da Terra e Planetárias da Universidade McGill para a caracterização mineral. Os minerais identificados incluem anfibólios, plagioclásios, biotita, clorita, titanita, pirita, calcopirita, feldspato alcalino e calcita.

4.6.1 Anfibólio

Estes minerais são inossilatos de cadeia dupla e apresentam como fórmula química geral $W_{0-1}X_2Y_5Z_8O_{22}(OH,F)_2$, onde W, X, Y e Z representam as possíveis ocupações para os sítios cristalográficos (Klein & Dutrow, 2012), que podem ser ocupados e/ou substituídos por uma variedade de elementos químicos, conforme expresso na Tabela 10.

Tabela 10: Ocupação/substituição dos sítios do anfibólio. (Fonte: Klein & Dutrow, 2012)

Ocupações dos Sítios	Elementos químicos	Sítios Cristalográficos
W	Na ⁺ e K ⁺	A
X	Ca ²⁺ , Na ⁺ , Mn ²⁺ , Fe ²⁺ , Mg ²⁺ e Li ⁺	M4
Y	Mn ²⁺ , Fe ²⁺ , Mg ²⁺ , Fe ³⁺ , Al ³⁺ , e Ti ⁴⁺	Sítios octaédricos M1, M2 e M3
Z	Si ⁴⁺ e Al ³⁺	Sítios tetraédricos

O sítio A tem coordenação 10 a 12 com oxigênio e (OH) e aloja principalmente Na e eventualmente pequenas quantidades de K. O sítio M4 tem coordenação 6 a 8 e aloja cátions do tipo X. Os octaedros M1, M2 e M3, acomodam cátions do tipo Y e compartilham arestas formando bandas octaédricas paralelas a c. M1 e M3 são coordenados por quatro oxigênios e dois grupos (OH, F), enquanto M2 é coordenado por seis oxigênios (Klein & Dutrow, 2012). A estrutura cristalográfica dos anfibólios encontra-se representada pela figura 37.

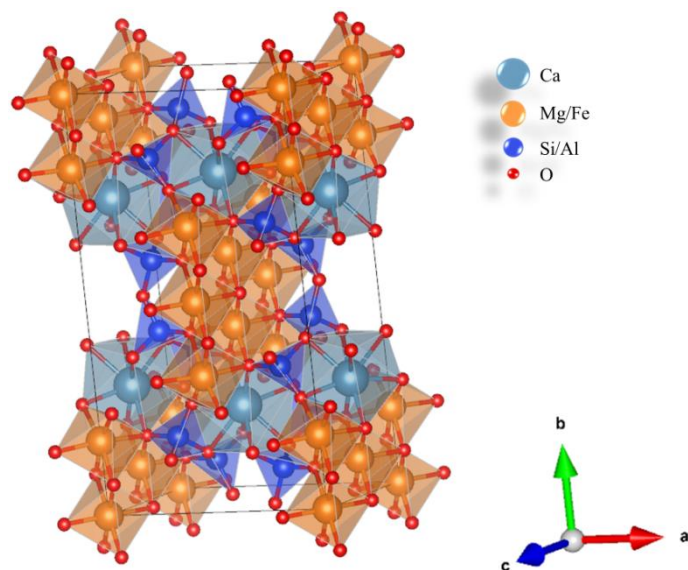


Figura 37: Estrutura cristalina do anfibólio. Fonte: American Mineralogist Crystal Structure Database.

No ensaio para caracterização da química mineral, verificou-se que os anfibólios estudados apresentam os seguintes elementos: O, Si, Al, Mg, Ca e Fe (Figura 38), em ordem de abundância. Na e K, representados na fórmula por W ocupando o sítio A, não foram detectados nas análises, podendo concluir a ausência destes elementos na fórmula química do mineral. A análise sugere que o cálcio (Ca), representado por X, ocupa o sítio M4. O magnésio (Mg) e o ferro (Fe) representados por Y, possivelmente estão ocupando os sítios octaédricos (M1, M2 e M3). Por fim, o silício (Si) e o alumínio (Al), representado na fórmula pela letra Z, ocupam os sítios tetraédricos.

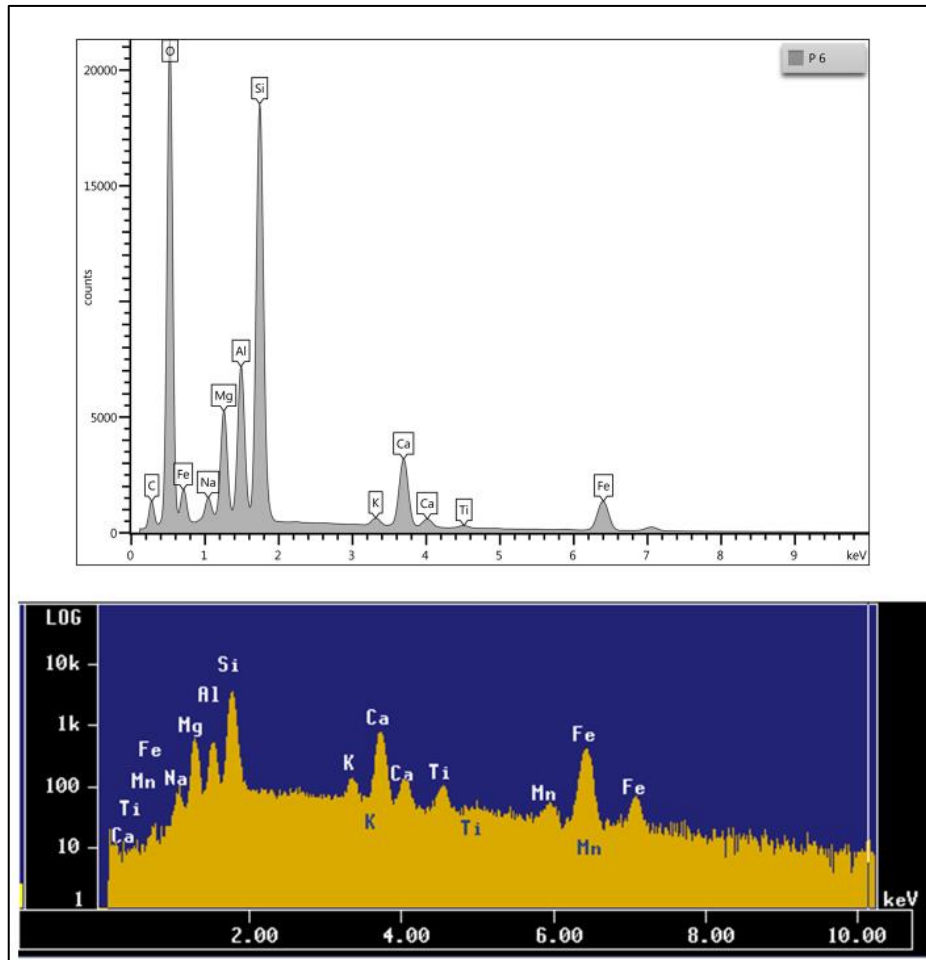


Figura 38: Espectro do anfíbólio obtido no ensaio MEV/EDS(superior), comparados com dados do Laboratório Microanalítico de Ciências da Terra e Planetárias da Universidade McGill (inferior).

Com base nessas observações, pode-se inferir que o mineral em estudo possui a fórmula química $\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5(\text{Si,Al})_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$. Essa fórmula sugere uma composição química mineral típica de anfíbólios cálcicos.

4.6.2 Plagioclásio

Estes minerais são tectossilicatos e apresentam como fórmula química geral $\text{Na}_{1-x}\text{Ca}_x(\text{Si}_{3-x}\text{Al}_{x+1})\text{O}_8$, com x variando entre 0 e 1. A variação de x na fórmula química sugere uma série contínua de soluções sólidas entre albita e anortita, onde o cálcio e o sódio substituem-se parcialmente.

Nestes minerais, o sítio M apresenta coordenação de 6 a 8 com oxigênios, o que permite a acomodação de cátions maiores, como sódio (Na) e cálcio (Ca). O sítio tetraédrico, está em coordenação com quatro oxigênios e é responsável por alojar os elementos silício (Si) e

alumínio (Al)(Deer *et al.*, 2013). A estrutura cristalográfica dos plagioclásios encontra-se representada pela Figura 39.

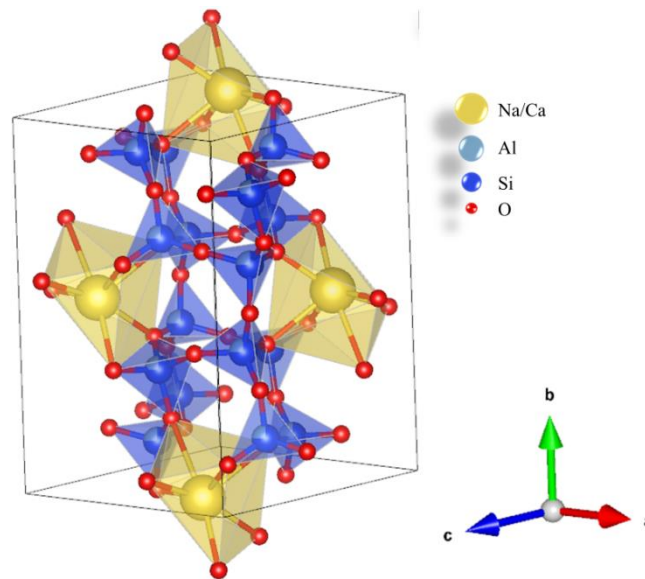


Figura 39: Estrutura cristalina do plagioclásio. (Fonte: American Mineralogist Crystal Structure Database).

No ensaio de caracterização da química mineral, o componente estudado apresentou uma predominância dos elementos Si, Al e Na, em ordem de abundância (Figura 40). A análise revelou que o sódio, como o maior elemento, ocupa o sítio cúbico. O alumínio e o silício, devido a seus raios iônicos semelhantes, ocupam os sítios tetraédricos, formando quatro ligações na estrutura cristalina do mineral.

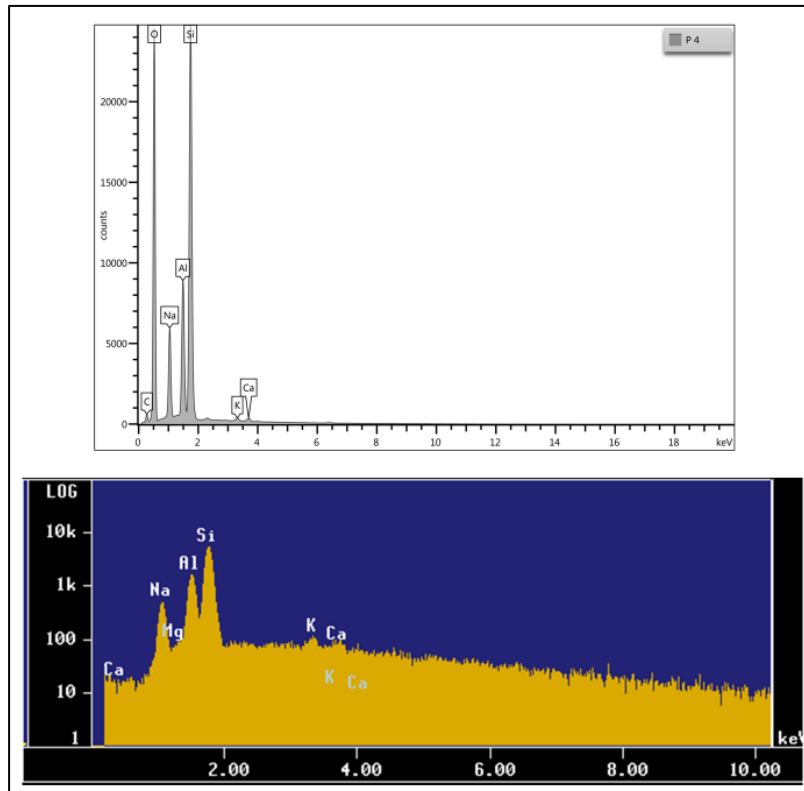


Figura 40: Espectro do plagioclásio obtido no ensaio MEV/EDS(superior), comparados com dados do Laboratório Microanalítico de Ciências da Terra e Planetárias da Universidade McGill (inferior).

Com base nessas observações, verificou-se que o mineral apresenta uma predominância de sódio (Na) em relação ao cálcio (Ca), sugerindo que o componente principal é provavelmente a albita, com a fórmula química $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$. No entanto, como não foi realizada uma análise quantitativa, não é possível determinar com exatidão a proporção desses elementos no mineral e, conseqüentemente, sua posição específica dentro da série contínua entre albita e anortita.

4.6.3 Biotita

Na rocha estudada, este mineral encontra-se frequentemente sendo substituído pela clorita. Trata-se de um filossilicato com fórmula química geral $\text{K}(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$.

A estrutura deste mineral consiste em camadas bidimensionais, onde folhas de octaedros contendo Mg e Fe estão intercaladas entre duas camadas compostas por tetraedros de Si e Al polymerizados, formando uma estrutura do tipo T-O-T. A folha octaédrica (tipo O) é composta por octaedros de $(\text{Fe}, \text{Mg}) (\text{OH})_2$, posicionados entre as folhas de tetraedros (tipo T), que são constituídas por tetraedros de $(\text{Si}, \text{Al}) \text{O}_4$, compartilhando três dos quatro oxigênios com tetraedros vizinhos. As camadas T-O-T são interligadas por átomos em coordenação 12,

predominantemente de K, mas também podem incluir Na, Rb, Cs, Ca, Ba e Li (Navarro *et al.*, 2017) (Figura 41).

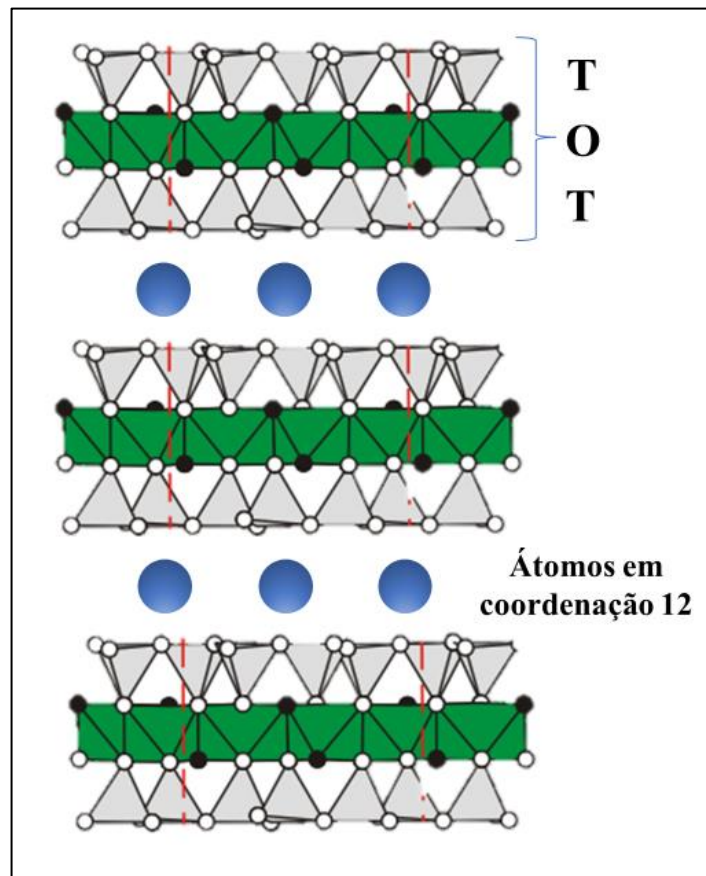


Figura 41: Estrutura cristalina da biotita. (Fonte: Navarro *et al.*, 2017)

Durante a caracterização da química mineral, a biotita apresenta uma predominância dos seguintes elementos: Si, Al, Mg, K e Fe, em ordem decrescente de abundância, conforme indicado na Figura 42. A análise sugere que o potássio (K), o maior elemento, ocupa a posição entre as camadas T-O-T. O magnésio (Mg) e o ferro (Fe) ocupam os sítios octaédricos, compondo a folha O. Já o alumínio (Al) e o silício (Si) estão localizados nos sítios tetraédricos, formando a folha T.

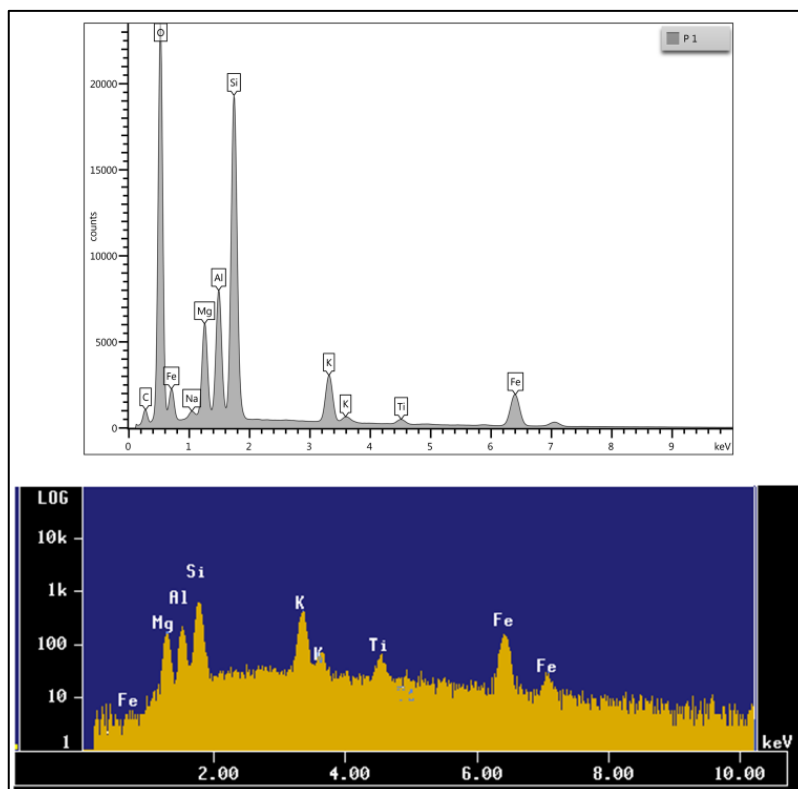


Figura 42: Espectro da biotita obtido no ensaio MEV/EDS (superior), comparados com dados do Laboratório Microanalítico de Ciências da Terra e Planetárias da Universidade McGill (inferior).

Com base nessas observações, pode-se determinar que o mineral em estudo possui uma fórmula química característica das biotitas representada por: $K(Mg,Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$. Onde os elementos são organizados em camadas com folhas de tetraedros de silício e alumínio intercaladas com folhas de octaedros ocupados por íons de Mg e Fe. Com o elemento K, presente, interligando estas camadas.

4.6.4 Clorita

Este é um grupo de filossilicatos, que ocorre em todos os tipos de rochas de maneira secundária, provavelmente como produto de alteração da biotita e/ou do anfibólio, e apresenta fórmula química geral $A_{5-6}Z_4O_{10}(OH)_8$, onde A e Z representam os possíveis ocupantes nos diferentes sítios cristalográficos (USP, 2024), conforme indicado na Tabela 11.

Tabela 11: Ocupação/substituição dos sítios da clorita. (Fonte: USP, 2024)

Ocupações dos Sítios	Elementos químicos	Sítios
A	Al, Fe ²⁺ , Fe ³⁺ , Li, Mg, Mn, Ni,	Octaédricos
Z	Al, Si, Fe ³⁺ .	Tetraédricos

A estrutura deste mineral consiste em camadas bidimensionais, onde folhas de octaedros, ocupadas por átomos de A, estão intercaladas entre duas camadas compostas por tetraedros de elementos representados por Z, formando uma estrutura do tipo T-O-T+O. A folha octaédrica (tipo O) é composta de octaedros ocupados por átomos de A, posicionados entre as folhas de tetraedros (tipo T), que são constituídas por tetraedros de elementos representados por Z, compartilhando três dos quatro oxigênios com tetraedros vizinhos, resultando em uma proporção Z: Oxigênio de 2:5. Entre as camadas T-O-T, ocorre outra folha O, gerando a estrutura T-O-T+O. Em algumas cloritas, cátions podem estar presentes entre as camadas T-O-T e O, enquanto em outras o empilhamento dos estratos é desordenado (Navarro *et al.*, 2017) (Figura 43).

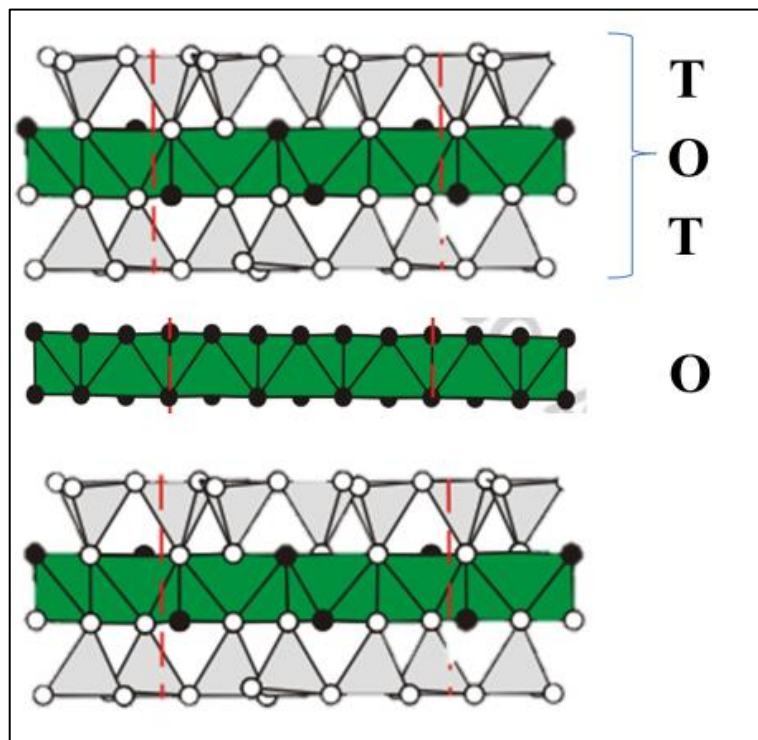


Figura 43: Estrutura cristalina da clorita (Fonte: Navarro *et al.*, 2017).

No ensaio para caracterização da química mineral, o componente estudado apresentou uma predominância dos elementos Si, Al, Mg e Fe, em ordem de abundância (Figura 44). A análise sugere que o magnésio (Mg) e o ferro (Fe), representados por A, ocupam majoritariamente os sítios octaédricos, formando as folhas do tipo O. O alumínio (Al) e o silício (Si), representados por Z, ocupam os sítios tetraédricos, sendo responsáveis por formar as folhas do tipo T.

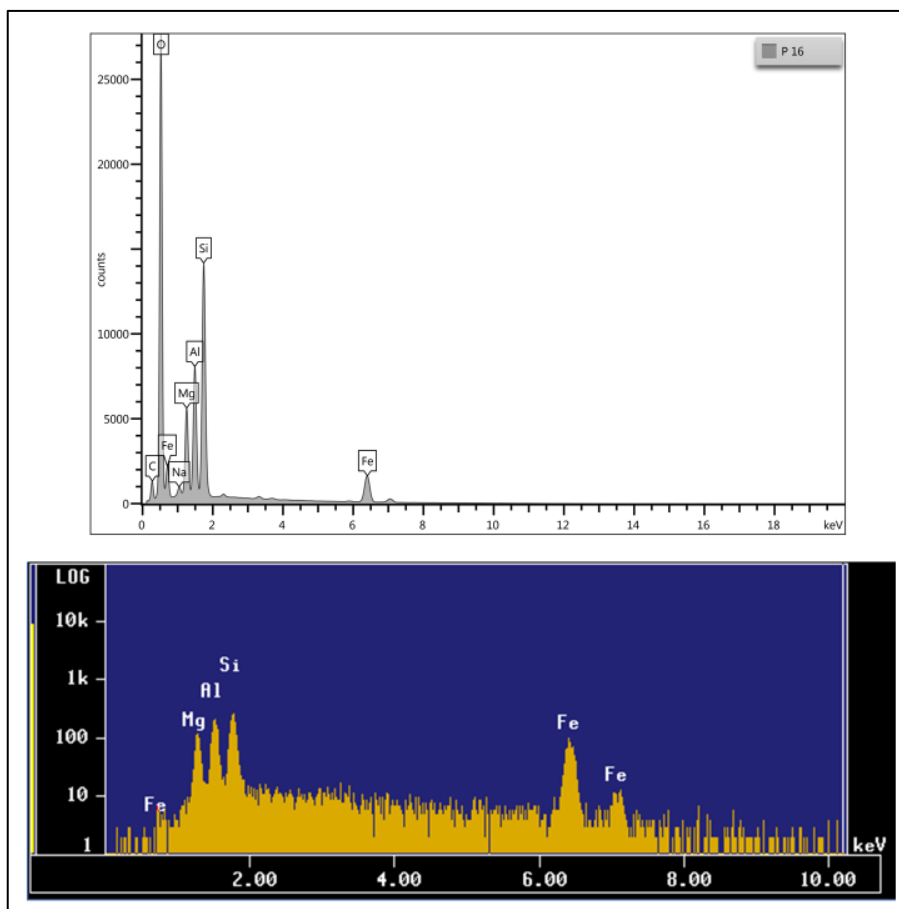


Figura 44: Espectro da clorita, obtido no ensaio MEV/EDS (superior), comparados com dados do Laboratório Microanalítico de Ciências da Terra e Planetárias da Universidade McGill (inferior).

Com base nessas observações, pode-se inferir que o mineral em estudo possui uma fórmula química aproximada de $(\text{Mg,Fe})_6(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$. Essa fórmula sugere uma estrutura mineral típica das cloritas, onde os elementos são organizados em camadas de tetraedros de silício e alumínio intercaladas com camadas de octaedros ocupados por íons de Mg e Fe.

4.6.5 Feldspato alcalino

O feldspato alcalino é um tectossilicato que ocorre de maneira disseminada na rocha estudada e muitas vezes apresentam-se alterados para argilominerais. A fórmula química deste mineral pode variar entre KAlSi_3O_8 no microclinio e ortoclásio até $(\text{K,Na})\text{AlSi}_3\text{O}_8$ na sanidina.

A estrutura deste mineral consiste em tetraedros unidos formando anéis com quatro componentes. Esta união é composta por um esqueleto com grandes interstícios, que são ocupados por átomos de K e Na, em coordenação 9. Esta estrutura pode ser considerada como uma rede tridimensional destes anéis, formando lâminas paralelas ao plano que contém os eixos

a e c. Cada lâmina é constituída por três anéis paralelos entre si (Navarro *et al.*, 2017) (Figura 45).

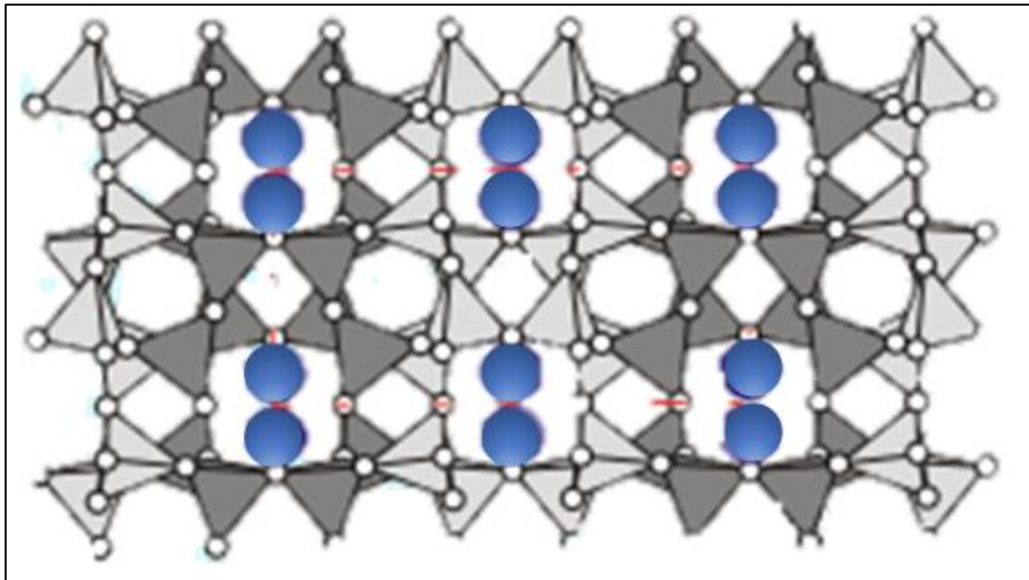


Figura 45: Estrutura cristalina do feldspato alcalino (Fonte: Navarro *et al.*, 2017).

No ensaio para caracterização da química mineral, o componente estudado apresentou uma predominância dos elementos Si, Al e K em ordem de abundância (Figura 46). A análise sugere que o potássio (K), devido ao seu maior raio iônico, ocupa os interstícios entre os anéis de tetraedros. O alumínio (Al) e o silício (Si), com seus raios iônicos semelhantes, ocupam os sítios tetraédricos, formando anéis em torno do potássio.

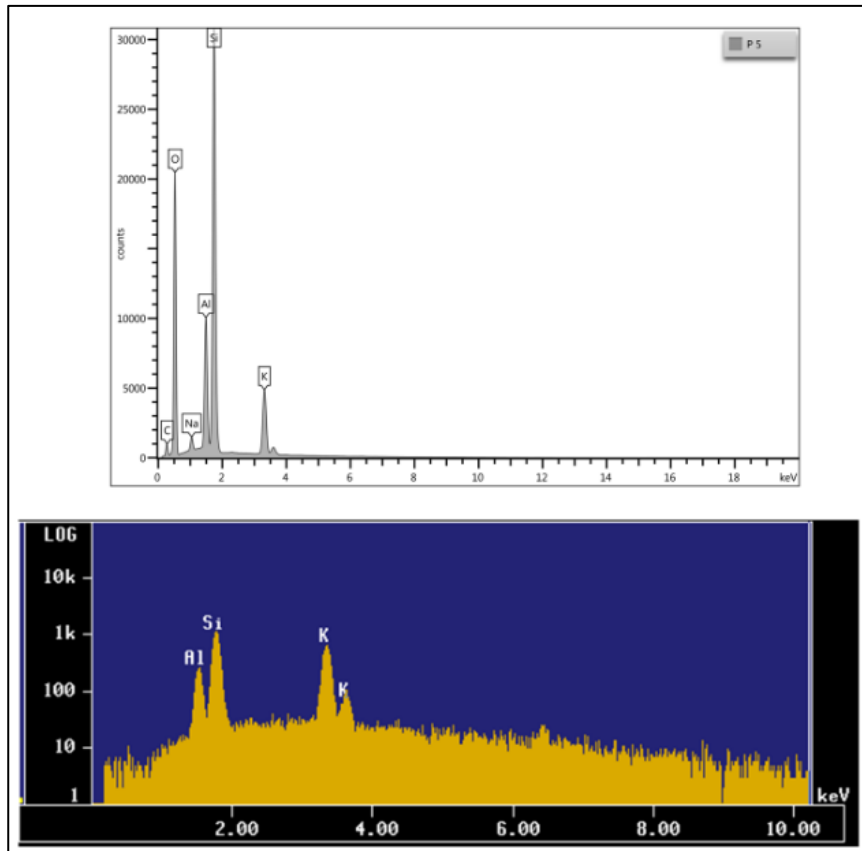


Figura 46: Espectro do feldspato alcalino, obtido no ensaio MEV/EDS(superior), comparados com dados do Laboratório Microanalítico de Ciências da Terra e Planetárias da Universidade McGill (inferior).

Com base nessas observações, pode-se inferir que o feldspato alcalino em estudo possui uma fórmula química aproximada de KAlSi_3O_8 . Esta fórmula sugere que o mineral é um feldspato potássico, onde o arranjo cristalino do mineral é organizado em forma de anéis de tetraedros de Si e Al, com o elemento K no meio destes, encadeado em forma de lâminas paralelas.

4.6.6 Sulfetos

Os minerais deste ocorre como pirita e calcopirita. Estes minerais, sendo as mais comuns dos sulfetos, podem ser gerados em vários ambientes sejam eles por processos magmáticos, metamórficos e sedimentares, podendo estar presentes até em meteoritos. A pirita apresenta fórmula química FeS_2 , enquanto a calcopirita apresenta fórmula química CuFeS_2 .

4.6.6.1 Pirita

Na estrutura da pirita, cada átomo de Fe encontra-se em coordenação octaédrica com os átomos de S, e os átomos de S encontram-se coordenada por três átomos de Fe, compondo um arranjo triangular si (Navarro *et al.*, 2017).

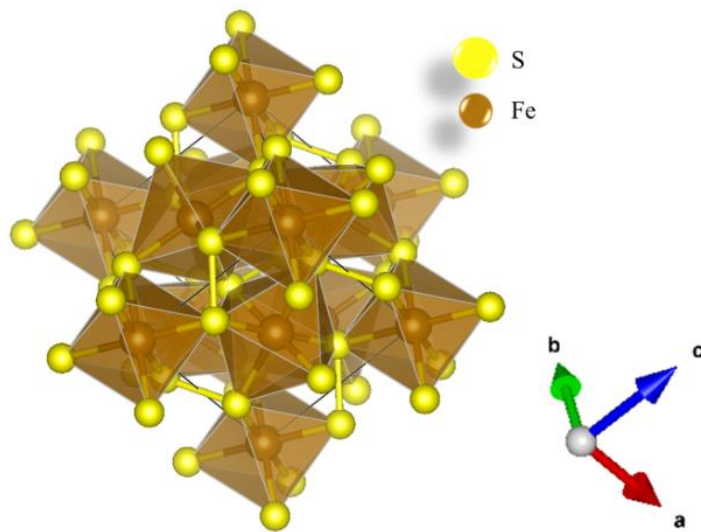


Figura 47: Estrutura cristalina da pirita. (Fonte: American Mineralogist Crystal Structure Database).

A análise química sugere uma predominância dos elementos Fe e S (Figura 48). O Fe ocupando os sítios octaédricos em coordenação com 6 S, enquanto o S apresenta-se em coordenação triangular com 3 Fe. A partir disso pode-se inferir uma fórmula típica da pirita, representada por FeS_2 .

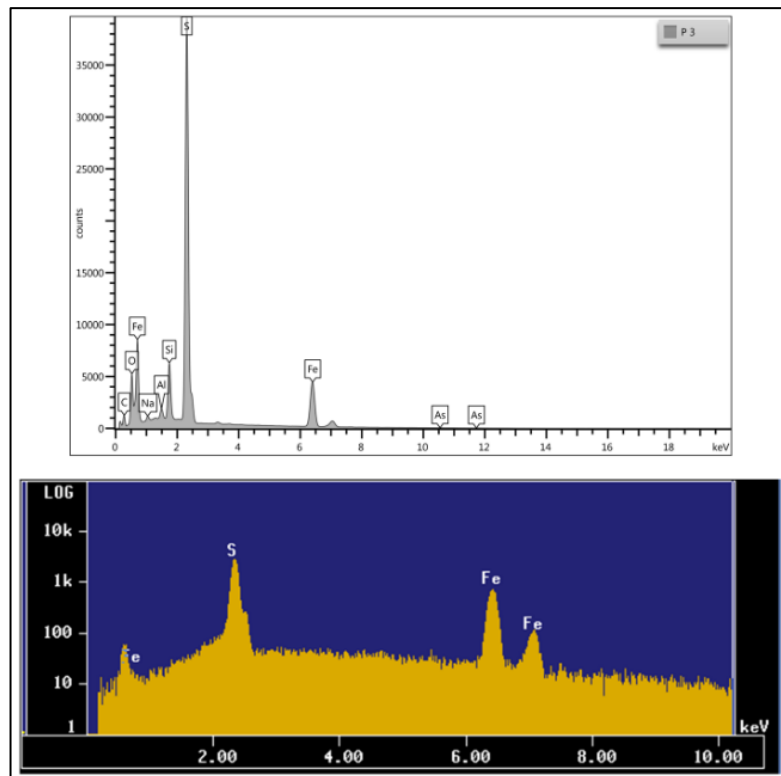


Figura 48: Espectro da pirita obtido no ensaio MEV/EDS (superior), comparados com dados do Laboratório Microanalítico de Ciências da Terra e Planetárias da Universidade McGill (inferior).

4.6.6.2 Calcopirita

Na estrutura da calcopirita, as posições de Cu e Fe são alternadas em malhas sucessivas ao longo do eixo c, com os átomos de S organizados em camadas de um arranjo cúbico denso. Cada átomo de Cu e de Fe está cercado por 4 átomos de S (formando tetraedros), enquanto cada átomo de S está em coordenação tetraédrica, sendo rodeado por 2 átomos de Cu e 2 átomos de Fe (Navarro *et al.*, 2017).

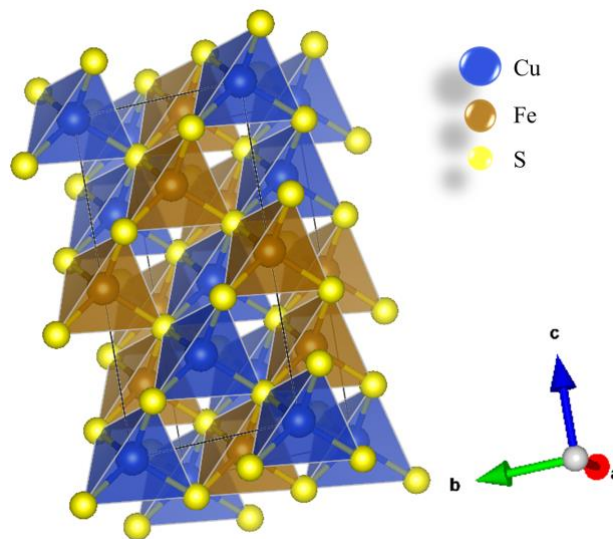


Figura 49: Estrutura cristalina da calcopirita. (Fonte: American Mineralogist Crystal Structure Database).

A análise química sugere uma predominância dos elementos S, Cu e Fe. O S ocupando os sítios tetraédricos em coordenação com dois Fe e dois Cu. Enquanto o Cu e Fe apresenta-se em apresenta-se cercado por quatro átomos de S. A partir disso pode-se inferir uma fórmula típica da calcopirita, representada por CuFeS_2 .

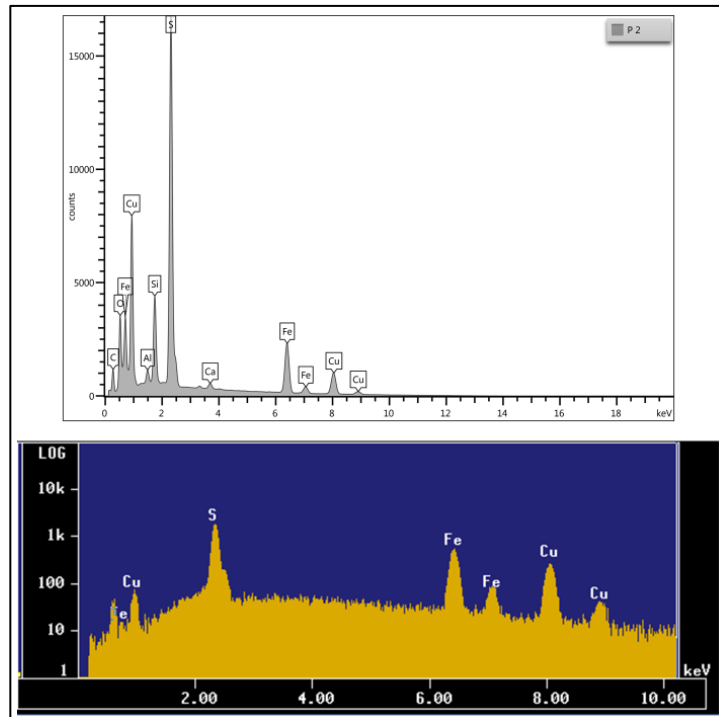


Figura 50: Espectro da calcopirita obtido no ensaio MEV/EDS (superior), comparados com dados do Laboratório Microanalítico de Ciências da Terra e Planetárias da Universidade McGill (inferior).

4.6.7 Calcita

A calcita é o principal carbonato, e podem ocorrer em todos os tipos de rocha. Tem como formula química geral CaCO_3 . A calcita é identificada pela sua clivagem romboédrica, dureza e pela característica distintiva em relação à dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$): efervescência no ácido clorídrico frio(USP, 2024).

A calcita possui uma estrutura cristalina trigonal, que pertence ao sistema cristalino hexagonal. Os cristais de calcita frequentemente se apresentam em formas romboédricas, prismáticas, escalenoédricas e tabulares. A estrutura da calcita é composta por íons de cálcio (Ca) e grupos de carbonato (CO_3), onde cada íon de cálcio está rodeado por seis oxigênios dos grupos carbonato, formando uma rede tridimensional (Figura 51).

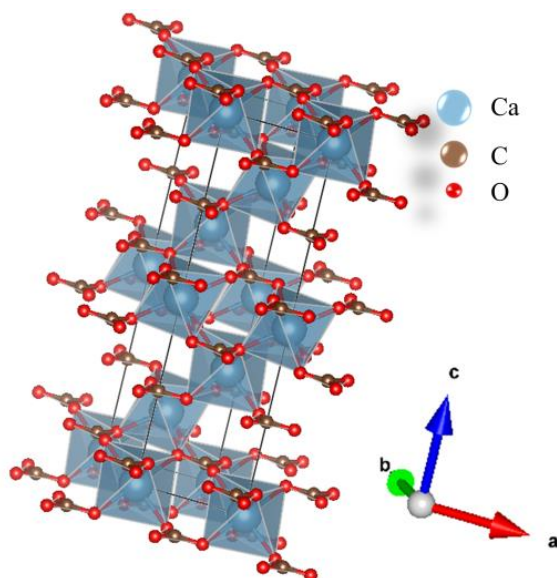


Figura 51: Estrutura cristalina da calcita. . (Fonte: American Mineralogist Crystal Structure Database)

A análise química sugere uma predominância dos elementos O, Ca e C (Figura 52). O C juntamente com o oxigênio, sugere a formação dos grupos de carbonato, CO_3 , enquanto o Ca encontra-se rodeado por oxigênios de CO_3 . A partir disso pode-se inferir a fórmula química típica da calcita: CaCO_3 .

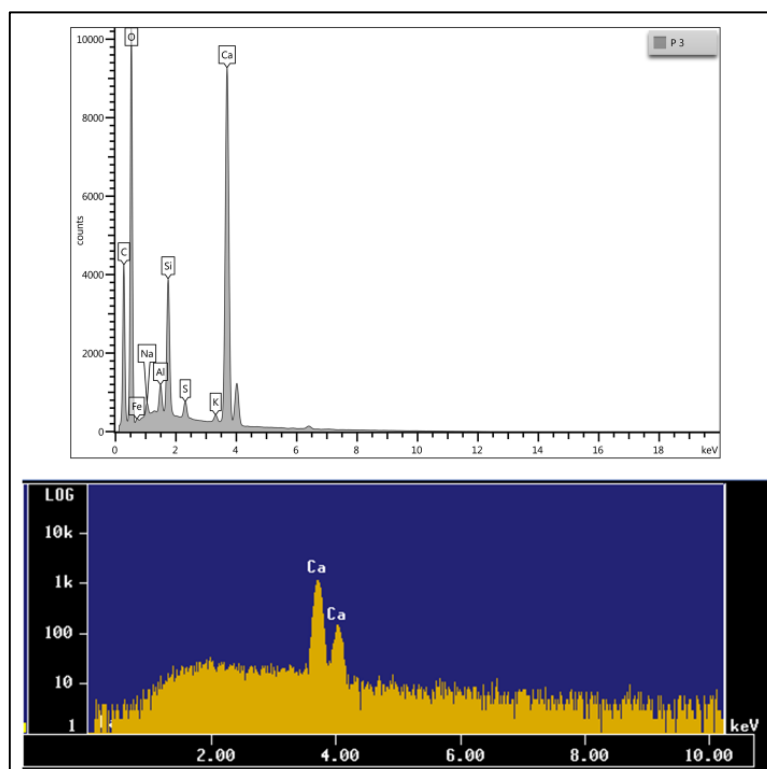
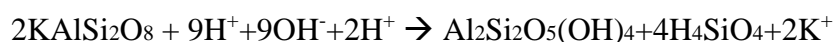


Figura 52: Espectro da calcita obtido no ensaio MEV/EDS(superior), comparados com dados do Laboratório Microanalítico de Ciências da Terra e Planetárias da Universidade McGill (inferior).

4.6.8 Implicações da química mineral nas rochas ornamentais

A partir da química dos minerais estudados observa-se uma maior predominância dos elementos Ca, Mg, Fe, K, Na e Si. Dos quais alguns destes, podem ser críticos para o uso da rocha como ornamento e revestimento.

A presença de minerais ricos em K na rocha, como o feldspato potássico, pode implicar tanto em possíveis reações químicas que alteram a durabilidade da rocha quanto em suas propriedades estéticas. Por exemplo, quando a rocha é exposta à água, como em ambientes externos, os minerais mais suscetíveis podem, ao longo do tempo, sofrer processos de hidrólise, onde os principais reagentes são H⁺ e OH⁻, provenientes da quebra da molécula de água, conforme a fórmula (Rezende et al., 2011) a seguir:



Onde,

KAlSi₂O₈ é o feldspato potássico,

Al₂Si₂O₅(OH)₄ é o produto gerado, caulinita

Essas reações podem desencadear efeitos expressivos no uso da rocha ao longo do tempo, resultando em produtos que alteram a qualidade física da rocha, bem como suas cores. A rocha pode se tornar mais friável e esbranquiçada, comprometendo suas propriedades estéticas e estruturais.

Além disso presença de minerais ricos em ferro na rocha, como a biotita e sulfetos, pode implicar tanto em possíveis reações químicas que alteram a durabilidade da rocha quanto em suas propriedades estéticas. Por exemplo, quando a rocha é exposta ao oxigênio e à água, como em ambientes externos, os minerais mais suscetíveis podem, ao longo do tempo, sofrer processos de oxidação. Nesse processo, o ferro presente nos minerais reage com o oxigênio e a água, resultando em produtos com ferro oxidado, conforme formula (Rezende et al., 2011) a seguir:



Onde,

Fe²⁺ é o ferro ferroso,

Fe³⁺ é o ferro férrico, oxidado, produto da alteração.

Essas reações podem desencadear efeitos expressivos no uso da rocha ao longo do tempo, resultando em produtos que alteram a qualidade física da rocha, bem como suas cores. A rocha pode se tornar mais friável e adquirir uma coloração avermelhada ou amarelada, comprometendo suas propriedades estéticas e estruturais.

Somado a isso presença de calcita na rocha, pode implicar, também, em possíveis reações químicas que alteram as propriedades físicas/mecânicas. Quando essa rocha é exposta a água, especialmente em ambientes externos, os minerais mais suscetíveis podem, ao longo do tempo, sofrer processos de dissolução. A dissolução consiste na solubilização direta de alguns minerais por ácidos. Os carbonatos são minerais especialmente suscetíveis a esse tipo de reação. Em contato com água pura, a dissolução dos carbonatos é mínima. Entretanto, na presença de CO₂ dissolvido na água, ocorre a seguinte reação (Rezende et al., 2011):



Essa reação pode comprometer a durabilidade da rocha, visto que estes minerais podem se diluir implicar no aumento expressivo de porosidade e microfissuras.

A presença e a predominância de certos elementos e minerais na rocha, têm implicações significativas para sua durabilidade e propriedades estéticas quando utilizada como material ornamental e de revestimento. Reações químicas específicas, como hidrólise, oxidação e dissolução, são desencadeadas pela exposição a fatores ambientais como água, oxigênio e outros produtos contendo ácido em sua composição, resultando em alterações físicas e químicas na rocha. Esses processos podem comprometer a integridade estrutural da rocha, tornando-a mais friável, aumentando a porosidade, causando descoloração e diminuindo sua resistência mecânica, podendo assim, precisar de tratamentos específicos antes de ser utilizada.

4.7 Caracterização tecnológica

O estudo em questão visou determinar características tecnológicas físico-mecânicas de rochas da região do município de Araguaçu no Tocantins, para determinar a favorabilidade de seu uso como rochas ornamentais e revestimento. Essas análises permitem avaliar condições tais como atrito, impacto, umidade entre outros fatores, quando aplicados em obras civis.

Nesta sessão, foram conduzidos estudos centrados no desempenho físico-mecânico. O foco principal foi a busca por seus limites de resistência, compreendendo atrito, impacto, umidade, esforços compressivos, assim como o comportamento em relação às condições térmicas. Estes estudos podem estar diretamente relacionados com sua composição mineral e condição de alteração dos mesmos.

Os resultados aqui utilizados foram obtidos através do laboratório de caracterização mineral localizado na FACI - Faculdade de Tecnologia Cachoeiro de Itapemirim, foram finalizados no dia 15 de março de 2024. A Tabela 12 demonstra os valores obtidos nos ensaios realizados, e quando comparados com valores da bibliografia, revelam que o material exibem propriedades físico mecânicas como densidade aparente, porosidade aparente, absorção d'água, resistência ao congelamento e degelo, resistência à compressão uniaxial, resistência à flexão(3 e 4 pontos), desgaste abrasivo de Amsler, resistência ao impacto de corpo duro e dilatação térmica linear, capazes de caracterizar o material com bom desempenho para seu uso como rocha ornamental e revestimento.

Tabela 12: Resultado dos ensaios de caracterização tecnológica

Ensaio/Material		Verde Araguaçu		
Índices Físicos	Condições Ensaio	Seco	saturado	
		Massa específica aparente (g/cm ³)	2,720	2,730
		Porosidade aparente (%)	0,83	
		Absorção d'água (%)	0.30	
	Resistência à Compressão Uniaxial (MPa)	121,92		
	Resistência à Compressão Uniaxial (MPa) Pós congelamento-degelo	118,15		
	Resistência à Flexão 3 Pontos (MPa)	17,2		
	Resistência à Flexão 4 Pontos (MPa)	11,74		
	Desgaste Abrasivo Amsler (mm)	0,039		
	Resistência ao Impacto de Corpo Duro(cm)	66		
	Dilatação térmica linear (10 ⁻³ mm/m°C)	Aquecimento	3,30	
		Resfriamento	3,12	

4.7.1 Índices Físicos - NBR 15845/2015 – Parte 2.

É de primordial importância compreender as propriedades físicas das rochas para uso ornamental, pois essas características têm um impacto direto no seu comportamento físico e mecânico.

Para esta etapa do estudo foram calculados valores de **massa específica aparente**, que trata da relação entre massa e volume, **porosidade**, que indica o percentual de espaços vazios nos corpos estudados, e **absorção de água**, que mostra a quantidade de líquido que é capaz de ocupar vazios da rocha estudada.

O resumo dos resultados obtidos para essa etapa do estudo está sintetizado na Tabela 13. Para uma melhor compreensão dos índices físicos foi necessário comparar com valores da literatura e correlacionar com microfissuramento, sendo estas representadas graficamente nas Figuras 53 e 54.

Tabela 13: resultados dos índices físicos e sua comparação com valores da bibliografia

Índices Físicos	Condições Ensaio	Frazão e Farjallat (1995)	ASTM C-615 (1992).	ABNT NBR-15844 (2015)	Resultados
	Massa específica aparente seca (g/cm ³)	>2,55	>2,56	>2,55	2,730
	Massa específica aparente saturada (g/cm ³)	n.e.	n.e.	n.e.	2,720
	Porosidade aparente (%)	<1,0	n.e.	<1,0	0,83
	Absorção d'água (%)	<0,4	<0,4	<0,4	0.30

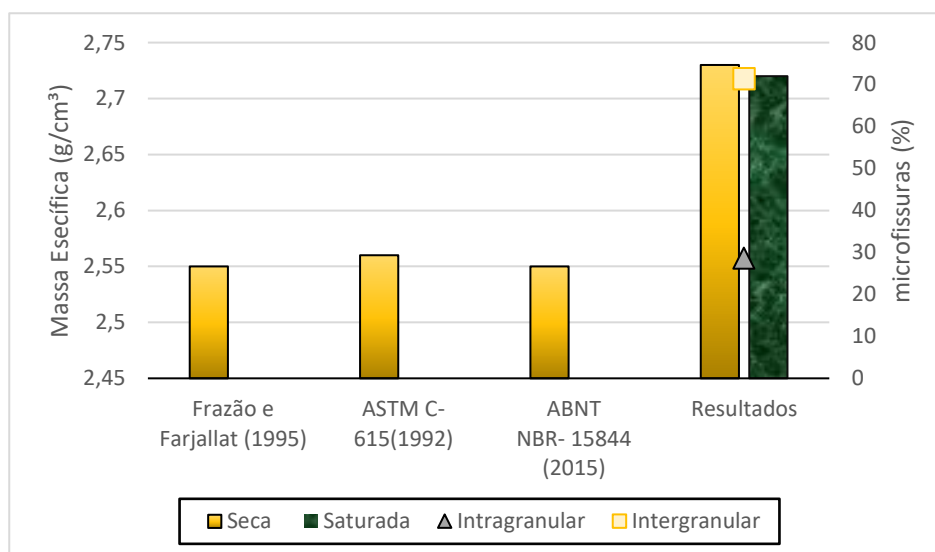


Figura 53: Resultados de massa específica aparente para rocha estudada comparados ao microfissuramento.

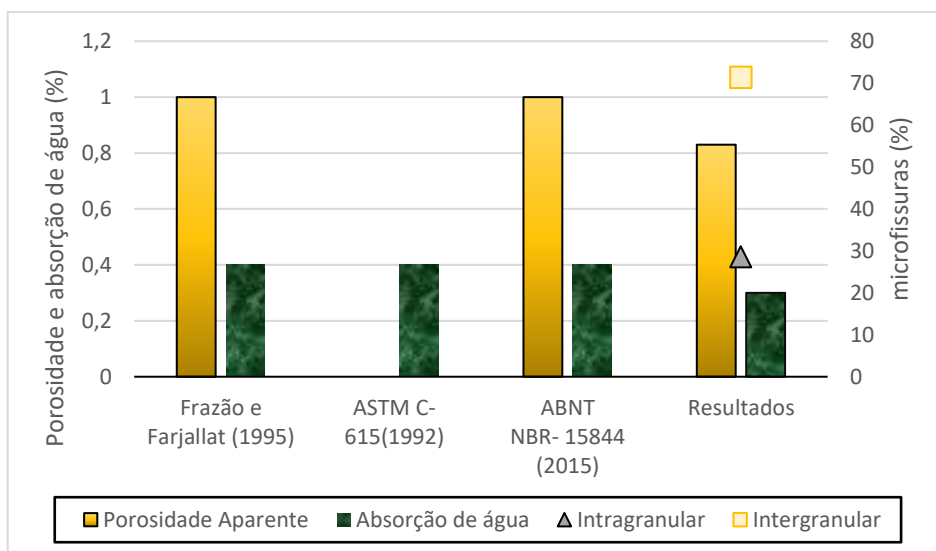


Figura 54: Resultados de porosidade aparente e absorção d'água para a rocha estudada.

A massa específica aparente seca apresentou resultado de $2,73 \text{ g/cm}^3$, enquanto a massa específica aparente saturada revelou valor de $2,72 \text{ g/cm}^3$. A porosidade aparente foi de 0,83% e a absorção de água mostrou-se com 0,30%.

Os valores de densidade aparente, conforme mostrado na Figura 53 e 54, estão dentro dos padrões recomendados por Frazão e Farjallat (1995), ASTM C-615 (1992) e NBR-15844 (2015). Esses resultados podem ser atribuídos à presença de minerais acessórios com ferro na composição ferro, como pirita e calcopirita, e à predominância de minerais ferro-magnesianos como anfibólio e clorita, na composição da rocha, os quais contribuem para aumentar sua densidade. Esses aspectos estão de acordo com dados de pesquisas existentes, que mostram que a densidade de uma rocha está diretamente relacionada ao seu conteúdo e composição mineral, e inversamente proporcional ao microfissuramento e porosidade.

A porosidade aparente e a absorção de água demonstram que a rocha se encontra dentro dos valores limites da literatura. Este resultado deve-se à textura muito fina a média da rocha, que reduz significativamente os espaços vazios entre os grãos e, conseqüentemente, sua capacidade de absorver água.

Além disso, as fraturas presentes muitas vezes estão preenchidas por minerais como carbonato e clorita, que ajudam a diminuir a porosidade da rocha. A cloritização da biotita, na rocha, desempenha um papel importante, não apenas preenchendo fraturas e reduzindo porosidade, mas também melhorando a coesão geral entre os minerais.

4.7.2 Resistência a compressão uniaxial - NBR 15845/2015 – Parte 5

O ensaio de compressão uniaxial consiste na determinação da resistência dos materiais a uma tensão de ruptura quando este é submetido a uma carga. Este índice representa a qualidade mecânica da rocha, onde os valores obtidos indicam a resistência do material ao esforço mecânico compressivo, representado pelo máximo de tensão que a rocha pode suportar antes de se romper. Os valores elevados de resistência a compressão dão-se, geralmente, quando se têm valores baixos de porosidade e alto de resistência a flexão.

Os valores mínimos de resistência à compressão uniaxial aceitáveis são determinados por Frazão & Farjallat (1995) como maior ou igual a 100,00Mpa, pela ASTM C-615 (1992) superior ou igual a 131,0Mpa e pela ABNT NBR (2015) que sugerem valores superiores a 100Mpa. O gráfico das Figuras 55 e 56, correlaciona o resultado obtido para a rocha de estudo, juntamente com os valores da literatura, correlacionado, respectivamente, com a porosidade aparente e microfissuramento.

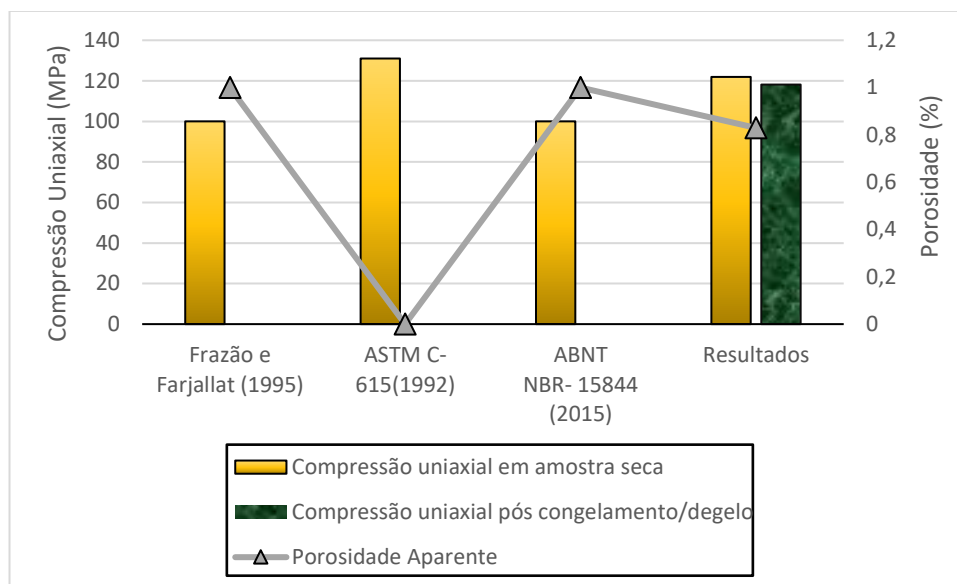


Figura 55: Relação dos valores médios da resistência à compressão nas condições seca e após o congelamento e degelo comparados com a porosidade.

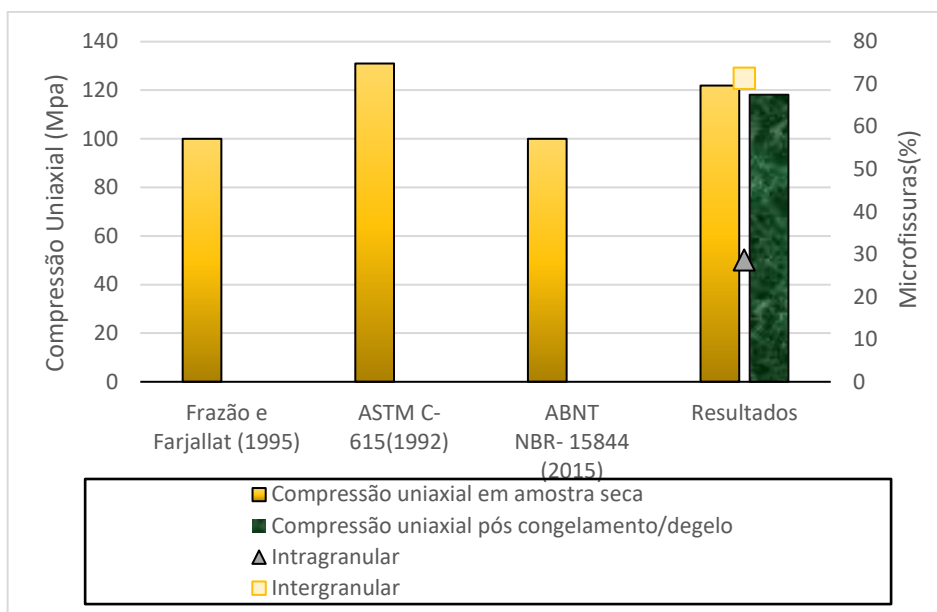


Figura 56: Relação dos valores médios da resistência à compressão nas condições seca e após o congelamento e degelo comparados com as microfissuras.

O valor da resistência à compressão uniaxial da amostra seca foi de 121,92 MPa, enquanto após o processo de congelamento/descongelamento, a resistência foi de 118,15 MPa. Como ilustrado na Figura 55 e 56, esses valores estão dentro dos padrões recomendados por Frazão & Farjallat (1995) e ABNT NBR (2015). No entanto, os resultados não atendem aos critérios da norma ASTM C-615 (1992), que exige uma diferença superior a 7,45% para conformidade com seus padrões.

Com base nos resultados deste ensaio, observou-se que a amostra apresentou menor resistência após o processo de congelamento/descongelamento em comparação com a amostra seca. Ambos os corpos de prova eram homogêneos, sem grandes diferenças mineralógicas, microfissuras ou variações na granulação.

A redução da resistência pode ser atribuída à dilatação térmica dos cristais intergranulares durante o congelamento e descongelamento, o que possivelmente aumentou a porosidade e resultou em uma diminuição na resistência. Além disso, a presença de água nos poros da rocha durante o congelamento, que se expande e cria tensões internas, também contribuiu para a redução da resistência. Essas tensões podem levar à formação ou propagação de microfissuras, diminuindo assim a resistência da amostra.

4.7.3 Resistência a flexão em 3 pontos - NBR 15845/2015 – Parte 6

Este ensaio visa avaliar como a rocha resiste a esforços de flexão e tração combinados. Ele determina a tensão mínima ou a máxima flexão que leva à ruptura de um bloco ou placa de

rocha sob cargas de compressão e/ou tração. Essa análise é crucial para entender o comportamento estrutural da rocha em situações práticas, especialmente para projetos que exigem alta resistência e estabilidade sob diferentes tipos de carga. Uma das principais propriedades que influenciam na resistência a flexão é a granulação, quanto menor ela for, mais resistente será a rocha.

Os valores mínimos de resistência a flexão sugeridos por Frazão & Farjallat (1995) são maiores ou iguais 10 Mpa, pela Norma ASTM C-99(1992) 10,34Mpa e pela NBR-15844(2015) sugerem-se valores mínimos de 10Mpa. O gráfico da figura 48, correlaciona o resultado obtido para a rocha de estudo, juntamente com os valores da literatura, e relacionados aos seus valores de porosidade.

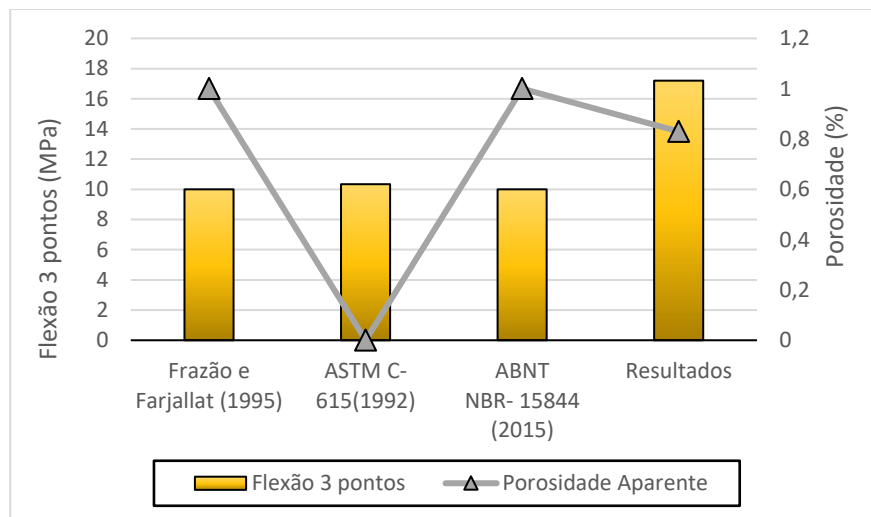


Figura 57: Relação dos valores médios da resistência à Flexão por 3 pontos, comparados a porosidade aparente

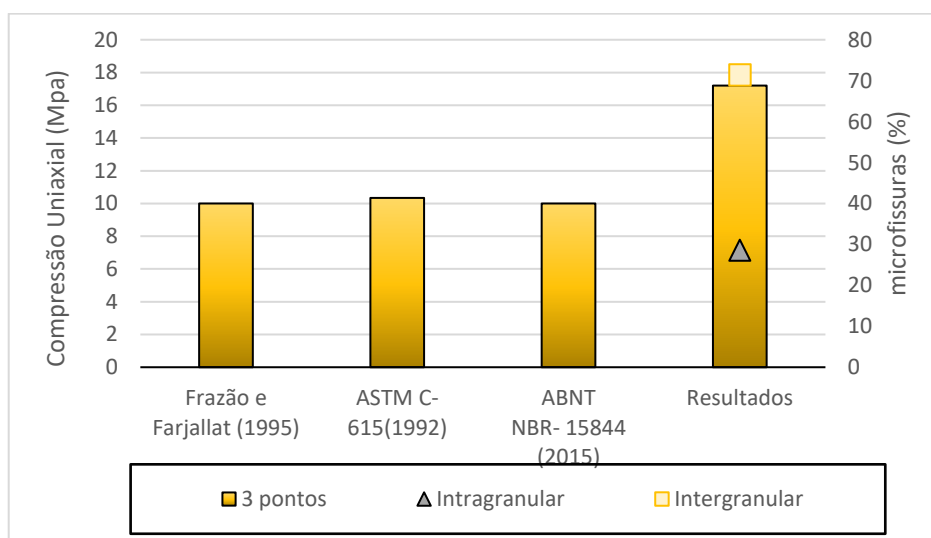


Figura 58: Relação dos valores médios da resistência à Flexão por 3 pontos, comparados ao microfissuramento.

O ensaio de resistência à flexão por três pontos resultou em um valor de 17,2 MPa. Como evidenciado nas Figuras 57 e 58, esse valor está consideravelmente acima das recomendações da ABNT NBR 2015, Frazão & Farjallat (1995) e ASTM (1992) para esse tipo de ensaio. Essa alta resistência pode ser atribuída às diferenças granulométricas observadas na amostra. Além dos cristais de granulação média, compostos por anfibólios, a rocha também apresenta uma matriz fina de quartzo, feldspatos e, preenchendo as microfissuras, carbonato e clorita contribuindo para uma maior resistência do material.

A presença de anfibólios na rocha aumenta a tenacidade e a capacidade de absorção de energia durante a flexão, reduzindo a propagação de microfissuras. A matriz fina de quartzo e feldspatos proporciona coesão adicional, enquanto o carbonato preenche e estabiliza eventuais microfissuras, impedindo sua propagação sob carga.

4.7.4 Resistência a flexão em 4 pontos - NBR 15845/2015 – Parte 7

Este ensaio visa determinar a resistência à flexão sob momento constante de placas de rocha usadas como revestimento em construções, empregando um método de carregamento em quatro pontos. Durante o teste, as seções compressivas estão posicionadas entre os dois pontos de carga central, sujeitas a ações combinadas de compressão e tração no estado seco. Os resultados obtidos permitem, posteriormente, calcular a área e a espessura mínima necessária para suportar os esforços de flexão das placas de rochas em aplicações de revestimento de fachadas.

A ABNT NBR 15844/2015 sugere um valor mínimo para resistência a flexão em 4 pontos maior ou igual a 8,0Mpa, já o valor mínimo exigido pela norma C-615 da ASTM (1992) é de 10 MPa e o valor médio sugerido por Frazão & Farjallat (1995) é de 10 Mpa. O gráfico da Figura 59, correlaciona o resultado obtido para a rocha de estudo, juntamente com os valores da literatura, e relacionados aos seus valores de porosidade.

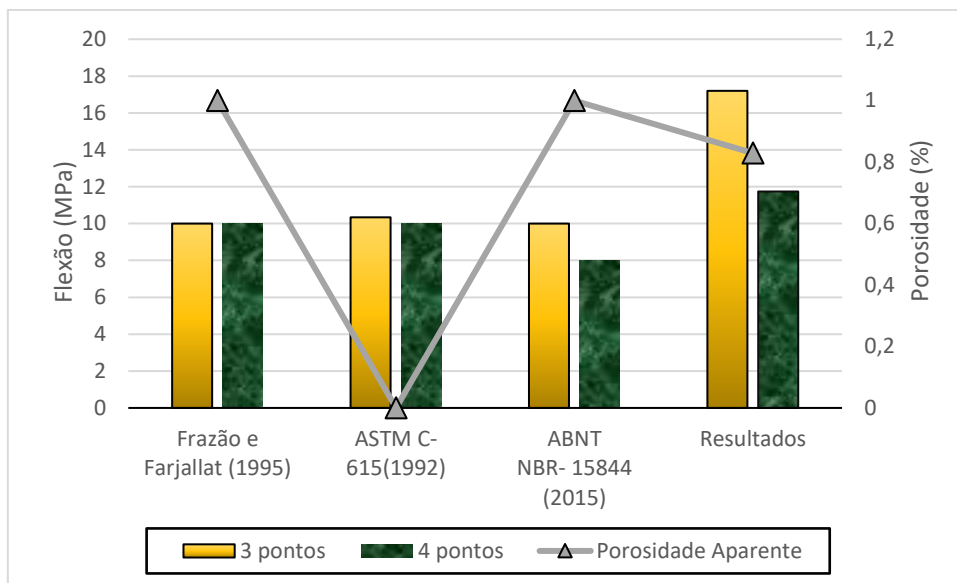


Figura 59: Relação dos valores médios da resistência à Flexão por 3 pontos e 4 pontos, comparados a porosidade aparente.

O ensaio de resistência à flexão por quatro pontos resultou em um valor de 11,74 MPa. Como evidenciado na Figura 59, esse valor está acima das recomendações da ABNT NBR 2015, Frazão & Farjallat (1995) e ASTM (1992). Possivelmente, o valor encontra-se dentro do padrão pelo mesmo motivo da flexão em três pontos, que considera a heterogeneidade de granulação das amostras, constatando assim uma coesão mineral, juntamente com possível cominuição dos minerais de quartzo e feldspato.

Essa coesão mineral favorece a resistência à flexão da rocha, pois a presença de granulação heterogênea permite uma distribuição mais uniforme das tensões durante o ensaio.

4.7.5 Desgaste abrasivo de Amsler – NBR 12042/2012

O ensaio em questão leva em questão a resistência de desgaste de uma rocha quando submetida a abrasão. Esta propriedade está diretamente ligada a sua composição mineralógica, grau de dureza, granulação, arranjo e coesão dos minerais. A abrasão, neste ensaio, é dimensionada pelo desgaste superficial, em milímetros, por atrito sofrido pelas placas pétreas com a realização de percurso de 1000 metros sobre um disco de aço com areia. O valor do desgaste abrasivo possui uma relação inversamente proporcional ao teor de quartzo, ou seja, quanto maior a quantidade de quartzo (dureza 7 na escala de Mohs) menor será o desgaste.

O valor sugerido por Frazão & Farjallat (1995) para o desgaste de Amsler é menor ou igual a 1,0 mm, já o valor sugerido na Norma ABNT NBR 15844/2015 também é $\leq 1,0$ mm. O

gráfico da Figura 60, correlaciona o resultado obtido para a rocha de estudo, juntamente com os valores da literatura, e relacionados aos seus valores de porcentagem de quartzo.

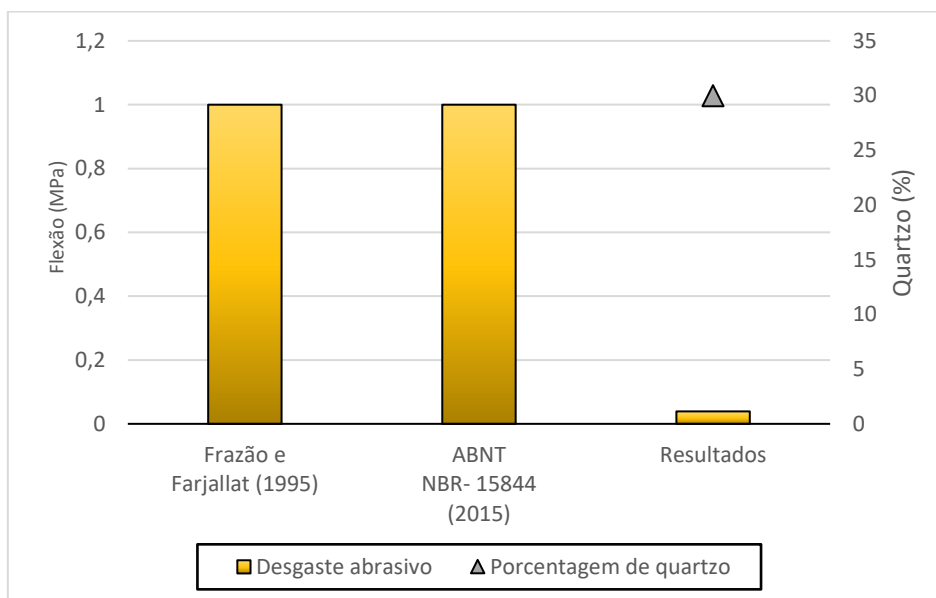


Figura 60: Relação dos valores médios do desgaste abrasivo, comparados a porcentagem de quartzo.

O ensaio resultou em um valor de 0,039 mm relacionado ao desgaste abrasivo de Amsler. Conforme evidenciado na Figura 60, o valor resultante está consideravelmente abaixo dos valores limítrofes sugeridos por Frazão & Farjallat (1995) e ABNT NBR 15844/2015. Possivelmente, o valor em questão se dá pelo arranjo mineral composto principalmente por quartzo.

O quartzo, com dureza 7 na Escala de Mohs, confere à rocha uma alta resistência ao desgaste abrasivo. Além disso, a distribuição uniforme dos grãos de quartzo e sua boa cimentação contribuem para a coesão da rocha, reduzindo a probabilidade de fratura ou desagregação sob condições abrasivas.

Outro fator importante é a baixa porosidade da rocha, que implica em menos pontos de fraqueza, região onde poderia propiciar o desgaste. A presença de outros minerais resistentes, como feldspatos e minerais opacos, também pode aumentar a resistência ao desgaste abrasivo.

4.7.6 Dilatação térmica linear

Esse parâmetro indica como as dimensões do material mudam, ou seja, dilatam ou contraem com a mudança de temperatura. Estes, dilatam quando são aquecidos e contraem quando são resfriados.

O valor sugerido por Frazão & Farjallat (1995) para o coeficiente de dilatação térmica linear é menor ou igual a $12,0 \times 10^{-3} \text{ mm/m}^\circ\text{C}$, enquanto o sugerido para ABNT NBR 15844/2015 é menor/igual a $8,0 \times 10^{-3} \text{ mm/m}^\circ\text{C}$. O Gráfico da Figura 61 correlaciona os resultados obtidos para o coeficiente de dilatação térmica juntamente com a porosidade aparente. Esses valores são confrontados com os valores limítrofes estabelecidos pela literatura.

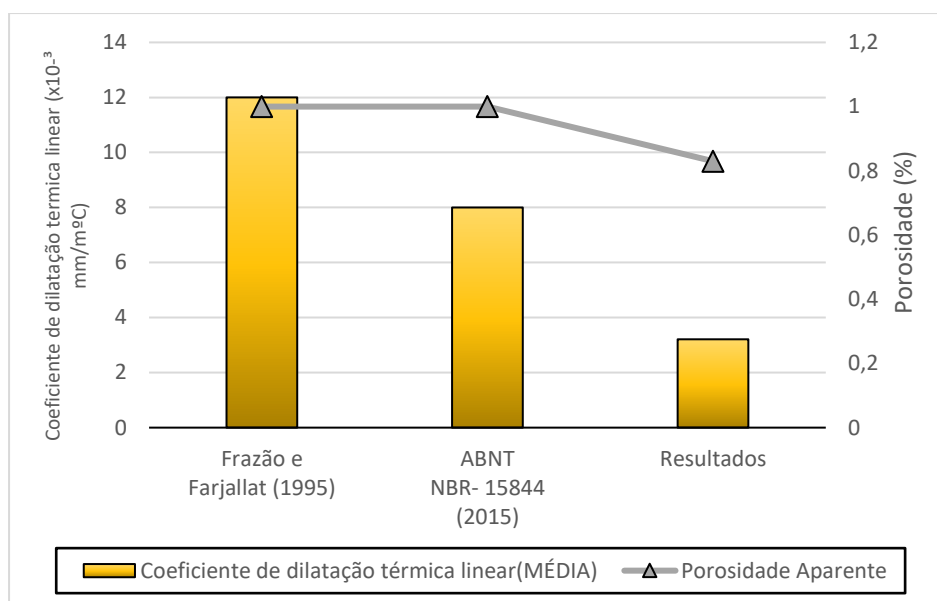


Figura 61: Relação dos valores médios do coeficiente de dilatação térmica linear, comparados a porosidade aparente.

O ensaio resultou em um valor médio de $3,21 \times 10^{-3} \text{ mm/m}^\circ\text{C}$ relacionado ao coeficiente de dilatação térmica linear. Conforme evidenciado no gráfico da Figura 61, o valor resultante está consideravelmente abaixo dos valores limítrofes sugeridos por Frazão & Farjallat (1995) e ABNT NBR 15844/2015.

A rocha demonstra bons condicionamentos físicos e mecânicos em relação ao coeficiente de dilatação térmica. Tal fato deve-se a diversos fatores, incluindo a diversidade em relação a composição mineralógica, que minimiza tensões internas causadas pela expansão diferencial de diferentes minerais. Além disso, a textura homogênea e a baixa porosidade contribuem para a estabilidade térmica, reduzindo o risco de microfissuras durante ciclos de aquecimento e resfriamento.

4.7.7 Resistência ao impacto de corpo duro

O ensaio de resistência ao impacto de corpo duro mede a altura mínima a partir da qual uma placa de material pétreo apresenta ruptura ou desenvolvimento de fissuras, sendo essa propriedade relacionada tanto com o arranjo dos minerais quanto com a estrutura do material. Esse teste simula a queda de objetos pesados sobre o material pétreo utilizado na construção civil.

O valor sugerido por Frazão & Farjallat (1995) para a resistência ao impacto é de 40 cm ou mais, enquanto a Norma ABNT NBR 15844/2015 recomenda um valor de até 30 cm. O gráfico da Figura 62 correlaciona os resultados obtidos para a ruptura na rocha em estudo com seus valores de fissuramentos, juntamente com os resultados de microfissuras por mm² obtidos na análise petrográfica. Esses valores são comparados com os limites estabelecidos na literatura.

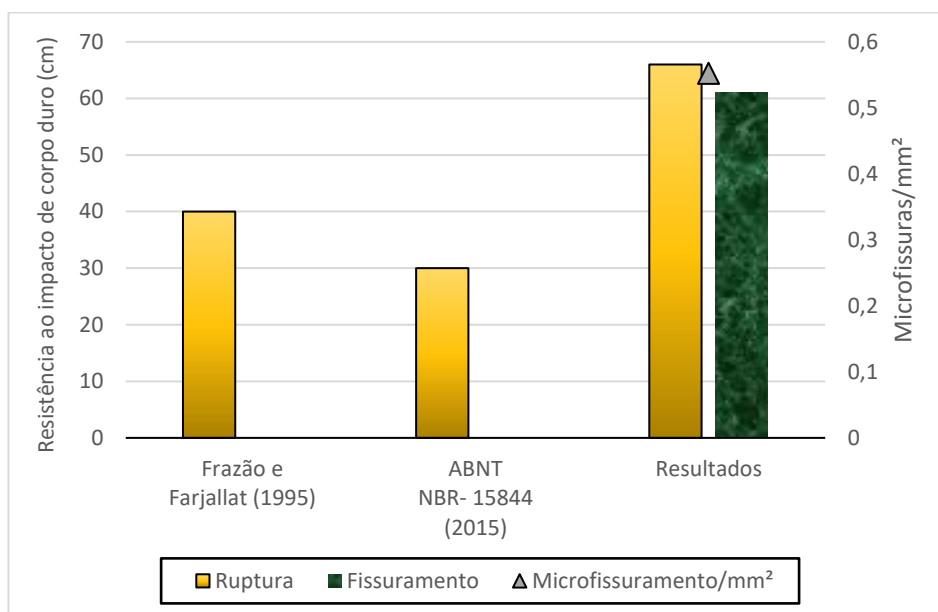


Figura 62: Relação dos valores médios da Resistência ao impacto de corpo duro, comparados com fissuramento e microfissuras por mm²

O ensaio de resistência ao impacto de corpo duro resultou em um valor de 66 cm de altura. Conforme evidenciado na Figura 62, esse valor está acima das recomendações da ABNT NBR-15844 (2015) e de Frazão & Farjallat (1995). Esse desempenho pode ser atribuído à coesão dos minerais presentes, especialmente uma matriz fina de quartzo e feldspato. Além disso, a presença de microfissuras preenchidas pode contribuir para o aumento da resistência ao impacto, já que, embora a rocha quebre preferencialmente ao longo das microfissuras, o preenchimento das discontinuidades ajuda a reforçar a estrutura do material.

5 CONCLUSÃO

A análise geoambiental revelou que a região estudada possui um clima tropical de savana, caracterizado por um período chuvoso no verão e seco no inverno. O relevo é predominantemente plano a suavemente ondulado, com solos majoritariamente constituídos por Latossolos e Plintossolos. O uso da terra é principalmente voltado para pastagens destinadas à criação de gado e áreas de formação savânica. No que diz respeito à hidrografia, a região está inserida no aquífero fraturado centro-sul, pertencendo à bacia hidrográfica do rio Formoso. Os principais cursos d'água são: Córrego Barreiro, Córrego Pindaíba, Córrego Cedro e Rio Pias.

A partir do mapeamento litoestrutural permitiu-se uma diferenciação, na escala de 1:30.000, das unidades litológicas em ordem estratigráficas descritas por: Formação Xambioá, Formação Água Bonita, Depósitos detrito lateríticos, além de uma zona de cisalhamento relacionados ao milonito identificada com potencial para rocha ornamental. As estruturas identificadas concluem que a área em questão recebe componentes de esforços tanto da Faixa Brasília que resulta em estruturas predominantemente NE-SW, juntamente com componentes da Faixa Araguaia que resulta em estruturas N-S.

A análise petrográfica permitiu identificar a variação composicional e textural da rocha potencialmente utilizável como material ornamental. A rocha foi classificada como anfibólio-feldspato milonito ou feldspato-anfibólio milonito, apresentando coloração que varia do verde ao rosa. Fraturas irregulares preenchidas por carbonato são visíveis em toda a rocha, que possui uma estrutura foliada e de natureza milonítica. Mineralogicamente, a rocha é composta por quartzo (15%), plagioclásio (14%), feldspato potássico (15%) e anfibólio (22%), além de quantidades menores de clorita (10%), epidoto (6%), biotita (1%), minerais opacos (4%), argilominerais (4%) e carbonatos (8%).

A análise da química mineral revelou possíveis reações, como hidrólise, oxidação e dissolução, que podem ocorrer quando este material é exposto a água, oxigênio, produtos de limpeza e outros ácidos. Portanto, ao utilizar a rocha em ambientes externos, onde está sujeita à chuva e outras reações químicas, é essencial aplicar proteções, como resinas, para mitigar os processos de hidrólise, oxidação e dissolução. Isso ajudará a aumentar a durabilidade da rocha e prevenir possíveis manchas.

Os índices físicos indicam que os parâmetros resultantes estão de acordo com os requisitos estabelecidos pelas normas ABNT NBR 15844/2015, ASTM C-615 e Frazão & Farjallat (1995). Dessa forma, os resultados de densidade aparente, porosidade e absorção de água qualificam a rocha para uso como revestimento externo ou em áreas úmidas.

A resistência à compressão uniaxial da rocha, medida antes do processo de congelamento e degelo, atende aos parâmetros estabelecidos pelas normas ABNT NBR 15844/2015, ASTM C-615 e Frazão & Farjallat (1995). No entanto, após o congelamento e degelo, a rocha não cumpriu os parâmetros da ASTM C-615 (1992), que exige uma variação de resistência superior a 7,45% para conformidade. Apesar disso, a rocha é adequada para uso em condições onde não ocorrem congelamento e degelo, sendo recomendada para aplicações que envolvem esforços de compressão, como pisos.

O módulo de ruptura (3 e 4 pontos) está dentro dos parâmetros estabelecidos pelas normas ABNT NBR 15844/2015, ASTM C-615 e Frazão & Farjallat (1995). Isso sugere que a rocha pode ser utilizada em diversas aplicações, como bancadas, mesas, fachadas e degraus.

O ensaio de desgaste abrasivo apresentou ótimos resultados em comparação com os padrões estabelecidos pelas normas ABNT NBR 15844/2015, ASTM C-615 e Frazão & Farjallat (1995). O baixo valor de desgaste abrasivo obtido sugere que a rocha possui excelentes propriedades mecânicas para aplicações que exigem alta resistência ao desgaste, como pavimentação, revestimentos de alto tráfego e componentes estruturais expostos a abrasão constante.

Os valores de dilatação térmica estão dentro dos padrões estabelecidos pelas normas ABNT NBR 15844/2015, ASTM C-615 e Frazão & Farjallat (1995). Esses valores conferem à rocha a adequação para uso em ambientes externos com grandes variações de temperatura, como fachadas e pisos externos.

Em relação à resistência ao impacto, a rocha ornamental em estudo apresentou um valor satisfatório, acima dos os parâmetros estipulados pela norma ABNT NBR 15844/2015 e Frazão & Farjallat (1995). Dessa forma, a rocha pode ser utilizada para diversas aplicações, como pisos, soleiras, degraus, mesas, balcões e pias

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F. F. M. *et al.* 1977. Províncias estruturais brasileiras. In: Simpósio de Geologia do Nordeste, 8., 1977, Campina Grande, PB. Atas... Campina Grande, PB: SBG Núcleo do Nordeste, 1977. p. 363-391. il. + mapa.

ALMEIDA, F.F.M., HASUI, Y., BRITO NEVES, B.B., FUCK, R.A. 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth-Science Reviews*, 17(1-29). doi:10.1016/0012-8252(81)90003-9.

ALOS PALSAR: Alaska Satellite Facility (ASF). ALOS PALSAR Data. Disponível em: <https://asf.alaska.edu/datasets/daac/alos-palsar/>. Acesso em: 10 jan. 2024.

ARCANJO, J. B. A. 2011. Fotogeologia: Conceitos, métodos e aplicações. Salvador-Bahia: DEGEO - Departamento de Geologia, CPRM - Serviço Geológico do Brasil.

AMERICAN MINERALOGIST CRYSTAL STRUCTURE DATABASE. Disponível em: <https://rruff.geo.arizona.edu/AMS/amcsd.php>. Acesso em: 01/07/2024

American Society for Testing and Materials - ASTM (C 615). 1992: Standard Specification for Granite Dimension Stone.

American Society for Testing and Materials – ASTM 1990: “Standard Test Method for Laboratory Determination of Pulse Velocities and Ultrasonic Elastic Constants of Rock – D2845”. Philadelphia, USA.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS (ABIROCHAS). Rochas Ornamentais. Disponível em: <http://www.abirochas.com.br/rochas-ornamentais>. Acesso em: 21 jun. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). 2015. NBR 15844: Rochas para revestimento — Requisitos para granitos. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). 2015. NBR 15845-1: Rochas para revestimento — Requisitos e métodos de ensaio — Parte 1: Análise petrográfica. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). 2015. NBR 15845-2: Rochas para revestimento — Requisitos e métodos de ensaio — Parte 2: Determinação da densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). 2015. NBR 15845-3: Rochas para revestimento — Requisitos e métodos de ensaio — Parte 3: Determinação do coeficiente de dilatação térmica linear. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). 2015. NBR 15845-4: Rochas para revestimento — Requisitos e métodos de ensaio — Parte 4: Determinação da resistência ao congelamento e degelo. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). 2015. NBR 15845-5: Rochas para revestimento — Requisitos e métodos de ensaio — Parte 5: Determinação da resistência à compressão uniaxial. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). 2015. NBR 15845-6: Rochas para revestimento — Requisitos e métodos de ensaio — Parte 6: Determinação do módulo de ruptura (flexão por carregamento em três pontos). Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). 2015. NBR 15845-7: Rochas para revestimento — Requisitos e métodos de ensaio — Parte 7: Determinação da resistência à flexão por carregamento em quatro pontos. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). 2015. NBR 15845-8: Rochas para revestimento — Requisitos e métodos de ensaio — Parte 8: Determinação da resistência ao impacto de corpo duro. Rio de Janeiro.

BAPTISTA, M. B.; CARTNER-DYER, R. Ocorrência singular de sedimentos mediopaleozóicos no Centro-Oeste de Goiás. Notas Preliminares – DGM, n. 133, 1966. 11 p.

COSTA, A. P. L. 2000. Granulitos de Chorozinho (NE do Ceará): Levantamento Geológico e Caracterização Tecnológica como Rochas Ornamentais. Trabalho de conclusão de curso. Centro de Ciências. Departamento de Geologia. Universidade Federal do Ceará – UFC. Fortaleza – Ceará. 64p. 2000.

CURTO, J.B., VIDOTTI, R.M., FUCK, R.A., BLAKELY, R.J., ALVARENGA, C.J.S., DANTAS, E.L. 2014. The tectonic evolution of the Transbrasiliiano Lineament in northern Paraná Basin, Brazil, as inferred from aeromagnetic data. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 119:1-19.

DANTAS, E. L.; JOST, H.; FUCK, R. A.; BROD, J. A.; PIMENTEL, M. M.; MENESES, P. R. Proveniência e idade deposicional de sequências metavulcano-sedimentares da região de

Santa Terezinha de Goiás, baseada em dados isotópicos Sm-Nd e U-Pb em monocristal de zircão. Revista Brasileira de Geociências, v. 31, p. 329-334, 2001.

DANTAS, E. L.; ARAÚJO FILHO, J. O.; OLIVEIRA, C. G.; CHIARINI, M. F. N.; FUCK, R. A.; DE SORDI, D. A.; ALMEIDA, T. Programa Geologia do Brasil (PGB/LGB) – Carta Geológica. Relatório final da Folha SD.22-X-D-I – Porangatu, Estado de Goiás. Escala 1:100.000. Brasília: UnB/CPRM, 2006.

DARDENNE, M. A. 2000. The Brasília Fold Belt. In: CORDANI, U.G. (Ed.) *et al.* Tectonic Evolution of South America. Rio de Janeiro: 31st International Geological Congress, 2000. p.231-263. ISBN 8590148211.

DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J. An introduction to rock forming minerals. 1 ed. London, Longman Group Ltd. 528 p. 1966.

DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J. Rock forming minerals: orth- and ring silicates. (Vol. 1) London, Longman Group Ltd. 919p. 1972.

DEL GADO, I. M. et al. Geologia do Escudo Atlântico. In: BIZZI, L. A. et al. (Ed). Geologia, tectônica e Recursos Minerais do Brasil: Textos, mapas e SIG. Brasília: CPRM, 2003. p. 227-334.

EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Dados Espaciais. Disponível em: <https://www.embrapa.br/dados-espaciais>. Acesso em: 25 jan. 2024.

ESRI. 2020. ArcMap Versão 10.8. Redlands, CA, EUA.

FRASCA, A. A. S.; LACERDA FILHO. 2010. Mapa Geológico da Folha Alvorada (SC.22-Z-D), Estado do Tocantins. Escala 1:250.000. Goiânia: CPRM. Disponível em: http://geobank.sa.cprm.gov.br/pls/publico/geobank.download.downloadlayouts?p_webmap=N.

FRASCA, A.A.S. 2015. Amálgamas do W-Gondwana na Província Tocantins. UnB, Tese de Doutorado, 172 p.

FRAZÃO, E. B. e FARJALLAT, J. E. S. Caracterização das Principais Rochas Silicatadas Brasileiras Usadas como Pedras de Revestimento. I Congresso internacional de Pedra Natural. Lisboa-Portugal. p. 47-58, 1995.

FUCK, R. A. 1994. Faixa Brasília e a Compartimentação Tectônica na Província Tocantins. In: Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, 4., 1994, Brasília. Anais... Brasília: SBG, 1994. p.184-187.

FUCK, R.A., PIMENTEL, M.M., D'EL-REY SILVA, L.J.H. 1994. Compartimentação tectônica na porção oriental da Província Tocantins. In: 38º Congresso Brasileiro de Geologia, Resumos Expandidos, 1994, pp. 215-216.

GUERRA, Saulo Rios *et al.* 2018. Rochas Ornamentais: História, Geologia e Aplicações. Revista Brasileira de Geociências, vol. 48, n. 3, p. 487-500.

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Geociências - Todos os Produtos. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/todos-os-produtos-geociencias.html>. Acesso em: 15 fev. 2024.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). CBERS - China-Brazil Earth Resources Satellite: Imagens. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br>. Acesso em: 20 jan. 2024.

ISRM. 1977. Suggested methods for the quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses. In: Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. 15, 1977.

Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA). ALOS World 3D (AW3D) Global Digital Surface Model (DSM). Disponível em: <https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/index.htm>. Acesso em: 21 jan. 2024.

JUNGES, S.L., PIMENTEL, M.M., DANTAS, E.L., LAUX, J.H. 2003. New ID-TIMS U-Pb ages in the western portion of the Mara Rosa Arc: two hundred million years of arc building. In: IV South American Symposium on Isotope Geology, Short Papers, 2003, pp.198-201.

JUNGES, S.L., PIMENTEL, M.M., MORAES, R. 2002. Nd isotopic study of the Neoproterozoic Mara Rosa Arc, central Brazil: implications for the evolution of the Brasília Belt. *Precambrian Research*, 117(1-2):101-108.

KLEIN, Cornelis; DUTROW, Barbara. Manual de Ciência dos Minerais. 23.ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. Tradução e revisão técnica por Rualdo Menegat.LAUX, J.H., PIMENTEL, M.M., DANTAS, E.L., ARMSTRONG, R., ARMELE, A., NILSON, A.A. 2004. Mafic magmatism associated with the Goiás magmatic arc in the Anicuns region, Goiás, central

Brazil: Sm-Nd isotopes and new ID-TIMS and SHRIMP U-Pb data. *Journal of South American Earth Sciences*, 16:599-614.

LAUX, J.H., PIMENTEL, M.M., DANTAS, E.L., ARMSTRONG, R., JUNGES, S.L. 2005. Two Neoproterozoic juvenile magmatic arcs in the Brasília Belt, central Brazil. *Precambrian Research*, 135:395-421.

LEAL, L. R. B. 2023. Petrografia e classificação de rochas ornamentais. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Ceará.

LIMA, R. P. M. & OLIVEIRA, E. P. 2004. Estruturação e Evolução Geotectônica do Cráton do São Francisco. Salvador: SBG-Núcleo Bahia-Sergipe, 2004. p. 1-27.

LU CAS, F. R. A.; MOU RA, C. A. V. Estudo de proveniência sedimentar em quartzitos do Cinturão Araguaia na região de Colméia-Pequizeiro Tocantins, 2006. (Apresentação de Trabalho/ Seminário).

MAGALHÃES, J.R., VIDOTTI, R.M., BLUM, M.L.B., HACKSPACHER, P.C., FERNANDES, L.A.D. 2020. A evolução neotectônica do Lineamento Transbrasiliano na Bacia do Paraná, Brasil. *Brazilian Journal of Geology*, 50:1-19.

MARTINS, F. R.; CARNEIRO, J. S. M.; SILVA, E. R.; MENEGHINI, P. F. V.; SANTOS, D. R. V.; GOLLMAN, K.; LACERDA FILHO, J. V.; SILVA, J. O. Interpretação geofísica-geológica dos lineamentos estruturais do Arco Magmático de Goiás (Arenópolis), Brasil Central. In: Anais do 49º Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro-RJ, p. 1041, 2018.

MATOS, F.A., PIMENTEL, M.M., DANTAS, E.L., PEREIRA, L., ARMSTRONG, R. 2004. Chronology of the Bonfim Metamorphic Complex and its bearing on the tectonic evolution of the Brasília Belt. In: VII South American Symposium on Isotope Geology, Short Papers, 2004, pp.258-260.

MESQUITA, M. P. S. de. Composição, Estruturas, Propriedades Tecnológicas e Alterabilidade dos Granitos Ornamentais do Stock Morrinho, Santa Quitéria (CE) 2002. Tese de doutoramento. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. São Paulo, 171p, 2002.

MICROANALYTICAL LABORATORY OF EARTH AND PLANETARY SCIENCES AT MCGILL UNIVERSITY. Disponível em: <<https://www.mcgill.ca/eps/microanalysis-laboratory>>. Acesso em: [01/07/2024].

MOURA, C. A. V. 2018. Rochas Ornamentais: Um Guia Completo. Fortaleza: Editora UFC.

MOREIRA, Maria Luiza Osório et al. Geologia do estado de Goiás e do Distrito Federal: Texto explicativo do mapa geológico do Estado de Goiás e Distrito Federal. Escala 1:500.000. Goiânia: CPRM/SIC-FUN MINERAL, 2008. p.34-90.

NAVARRO, Guillermo Rafael B., *et al.* Livro de Referência de Minerais Comuns e Economicamente Relevantes: Filossilicatos. Museu de Minerais, Minérios e Rochas 'Prof. Dr. Heinz Ebert', 2017.

OLIVEIRA, C. G.; OLIVEIRA, F. B.; DANTAS, E. L.; FUCK, R. A.; ALMEIDA, T. 2006. Programa Geologia do Brasil (PGB/LGB) - Carta Geológica na escala 1:100.000. Relatório Final da Folha SD.22-Z-B-I – Campinorte. Brasília: CPRM – Serviço Geológico do Brasil.

PIMENTEL, M. M.; FUCK, R. A.; JOST, H.; FERREIRA FILHO, C. F.; ARAÚJO, S. M. The basement of the Brasília fold belt and the Goiás magmatic arc. In: CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D. A. (Eds.). Tectonic Evolution of South America. Rio de Janeiro: [s.n.], 2000. p. 195-229.

RESENDE, M.; CURI, N.; KER, J. C.; REZENDE, S. B. Mineralogia de solos brasileiros: interpretação e aplicações. 2. ed. rev. e ampl. Lavras, MG: Editora UFLA, 2011. 201 p.

SCHOBENHAUS, C. et al. (Coord.). Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo. Folha Goiás - SD-22. Goiás: DNPM, 1975.

SOUZA, João Olímpio; MORETON, Luiz Carlos. Xambioá, folha SB.22- Z-B: Estados do Pará e Tocantins. Escala 1:250.000. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB). Brasília: CPRM, 84p. 1995.

ANEXOS

ANEXO I - Densidade aparente, porosidade aparente e absorção d'água (NBR 15845/2015 – Parte 2).

CP	PESO (g)			Massa Específica (g/cm ³)		Porosidade (%)	Absorção d'água (%)
	n°	Sub (A)	Sat (B)	Seco ©	Seca		
1	278,49	440,55	439,49	2,71	2,72	0,65	0,24
2	273,22	429,30	428,42	2,74	2,75	0,56	0,21
3	258,03	408,12	406,92	2,71	2,72	0,80	0,29
4	278,06	439,15	438,01	2,72	2,73	0,71	0,26
5	265,82	420,27	419,00	2,71	2,72	0,82	0,30
6	291,87	461,81	460,45	2,71	2,72	0,80	0,30
7	278,54	437,23	435,84	2,75	2,76	0,88	0,32
8	287,19	452,93	451,36	2,72	2,73	0,95	0,35
9	252,50	398,55	397,10	2,72	2,73	0,99	0,37
10	252,66	399,50	397,90	2,71	2,72	1,09	0,40
Valores Médios:				2,72	2,73	0,83	0,30
Desvio Padrão:				0,014	0,014	0,159	0,059
Coefficiente de Variação:				0,005	0,005	0,193	0,194

Fórmulas utilizadas:

$$\text{massa específica seca} = C / (B - A)$$

$$\text{massa específica saturada} = B / (B - A)$$

$$\text{porosidade} = (B-C) / (B-A) \times 100$$

$$\text{absorção d'água} = (B-C) / C \times 100$$

ANEXO II- Resistência ao congelamento e degelo (NBR 15845/2015 – Parte 4).

	Corpo-de-prova	Dimensões dos corpos-de-prova (cm)			Carga de Ruptura	Tensão de Ruptura	
	nº	altura	aresta b	aresta d	(kN)	(Mpa)	
Após congelamento	1	6,98	7,02	6,97	588,65	120,31	
	2	7,01	6,99	7,02	605,27	123,35	
	3	6,99	7,00	6,99	605,74	123,80	
	4	7,00	6,99	7,00	597,31	122,07	
	5	6,98	7,02	7,00	602,13	122,53	
	6	7,01	6,99	7,02	475,12	96,83	
	Média (T após congelamento e degelo):						118,15
	Desvio Padrão:						10,52
Coefficiente de Variação:						0,09	
Média Compressão Uniaxial Natural						121,92	
K = (T congelamento e degelo)/(T natural) :						0,97	

OBS: Amostra seca (X)

Taxa de carregamento = 202,5 KN/min

ANEXO IV- Módulo de ruptura (flexão por carregamento em 3 pontos) (NBR 15845/2015 – Parte 6).

C P	Dimensões dos corpos-de-prova (mm)										Distância entre cutelos (L) (mm)	Força kN	Tensão MPa
	espessura (d)				média d	largura (b)				média b			
	1	2	3	4		1	2	3	4				
1	49,98	50,03	50,14	50,02	50,04	100,00	99,99	100,00	99,99	100,00	180	14,81	15,97
2	50,03	49,98	49,98	50,11	50,03	99,98	100,04	100,02	100,00	100,01	180	15,25	16,45
3	50,14	50,03	50,02	49,99	50,05	100,02	100,00	99,99	100,00	100,00	180	15,81	17,04
4	49,98	50,11	50,00	50,00	50,02	100,02	99,98	100,00	99,98	100,00	180	16,17	17,45
5	50,03	49,97	49,98	50,00	50,00	99,98	100,02	100,00	100,02	100,01	180	17,65	19,06
Média:					50,03					100,00		15,94	17,20
Desvio Padrão:					0,02					0,01		1,09	1,19
Coefficiente de Variação:					0,040					0,007		0,068	0,069

OBS: Amostra seca (X)
 Amostra saturada ()

$$\text{Tensão} = \frac{(3.F.L)}{(2.b.d^2)}$$

$$1\text{kN} = 101,971 \text{ kgf}$$

$$1\text{kgf} = 9,80665 \text{ N}$$

ANEXO V - Flexão por carregamento em 4 pontos (NBR 15845/2015 – Parte7).

C P	Dimensões dos corpos-de-prova (mm)										Distância entre cutelos (L) (mm)	Força kN	Tensão MPa
	espessura (d)				média d	largura (b)				média b			
	1	2	3	4		1	2	3	4				
1	29,99	30,03	30,02	29,99	30,01	100,02	100,00	99,98	99,99	100,00	360	4,12	12,35
2	30,02	29,99	30,00	29,98	30,00	100,00	100,03	100,00	99,98	100,00	360	4,04	12,12
3	30,00	30,00	30,02	30,00	30,01	99,97	100,01	99,97	99,99	99,99	360	3,56	10,68
4	29,98	30,04	29,98	30,02	30,01	100,01	99,98	100,02	100,00	100,00	360	3,72	11,16
5	30,02	29,99	30,00	29,97	30,00	100,00	99,97	100,00	100,00	99,99	360	3,97	11,91
Média:					30,00					100,00		3,88	11,64
Desvio Padrão:					0,005					0,007		0,234	0,703
Coefficiente de Variação :					0,018					0,007		6,031	6,037

OBS: Amostra seca (X)
Amostra saturada ()

$$\text{Tensão} = \frac{(3.F.L)}{(4.b.d^2)}$$

$$1\text{kN} = 101,971 \text{ kgf}$$

$$1\text{kgf} = 9,80665 \text{ N}$$

ANEXO VI - Resistência ao impacto de corpo duro (NBR 15845/2015 – Parte 8).

Corpos de prova					
CP Nº	Dimensões (cm)			Altura de queda (cm)	
	L	L	H	Fissuras	Ruptura
1	20,00	20,00	3,00	60,00	65,00
2	20,00	20,00	3,00	65,00	70,00
3	20,00	20,00	3,00	55,00	60,00
4	20,00	20,00	3,00	60,00	65,00
5	20,00	20,00	3,00	65,00	70,00
Valor Médio	20,00	20,00	3,00	61,00	66,00
Desvio Padrão	0,00	0,00	0,00	4,18	4,18
Coefficiente de Variação	0,00	0,00	0,00	0,07	6,34
Energia de Ruptura em Joules				5,982	6,472

OBS: Amostra seca (X)

ANEXO VII - Ensaio de resistência ao desgaste abrasivo Amsler (ABNT NBR 12042:2012).

CP N°	Massa (g)		Índice de resistência	Volume gasto (cm ³)	Desgaste por área (cm ³ /cm ²)
	Inicial	Final			
1	176,54	175,99	54,660	0,183	0,0042
2	179,77	179,23	55,711	0,179	0,0038
3	153,03	152,54	61,045	0,164	0,0037
Valor médio			57,139	0,175	0,0039
Desvio Padrão			3,424	0,010	0,0002
Coef. De Variação			5,992	5,814	6,2439

ANEXO VIII - Dilatação térmica linear (ABNT NBR 15845/2015 parte 3).

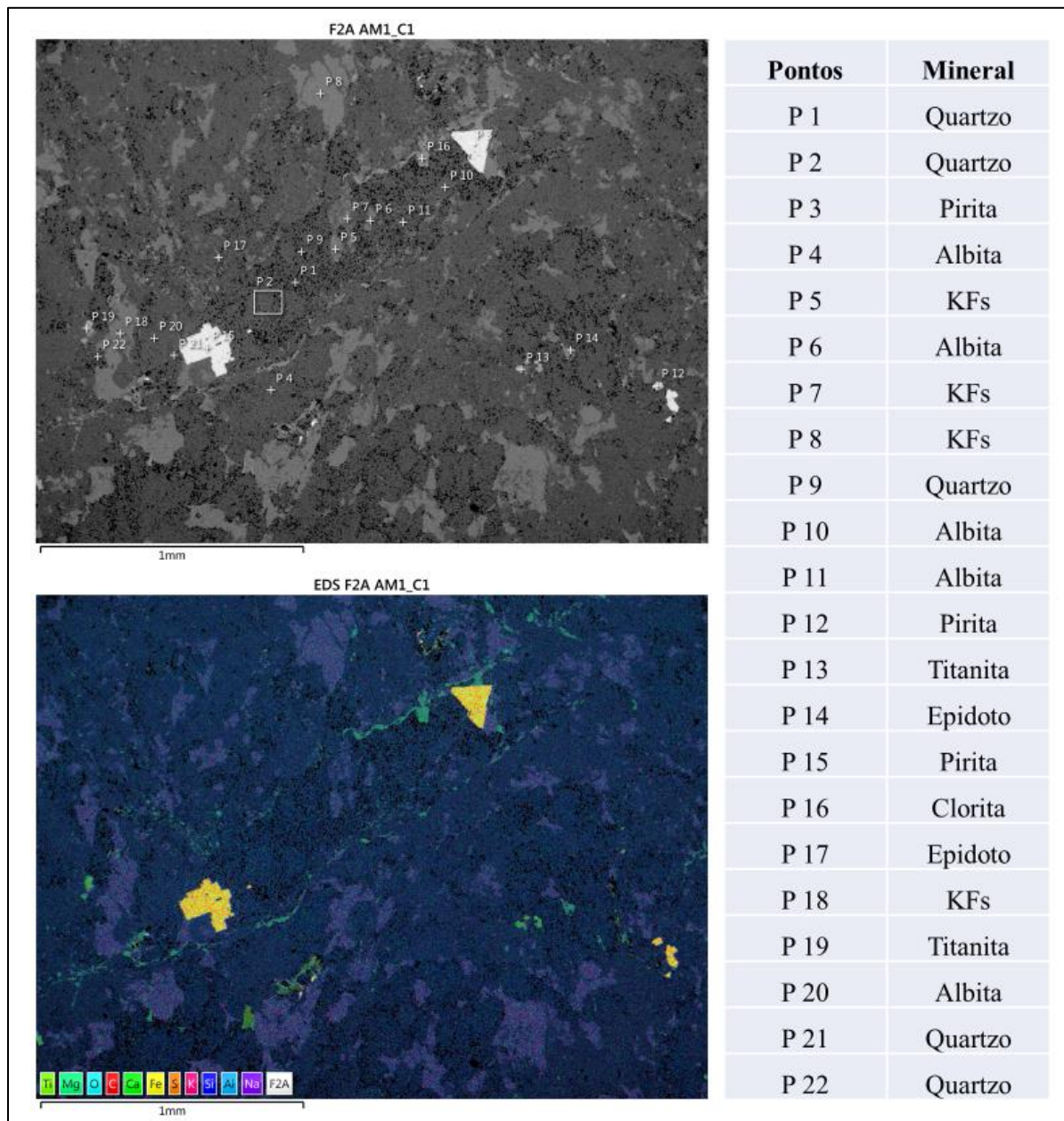
COEFICIENTE TÉRMICO LINEAR NO AQUECIMENTO

CP N°	L0 (10 ⁻² m)	ΔL (mm)	ΔT (° C)	β (10 ⁻ mm/m °C)
1	1,015	184	55,0	3,30
2	1,018	185	55,0	3,30
VALOR MÉDIO				3,30

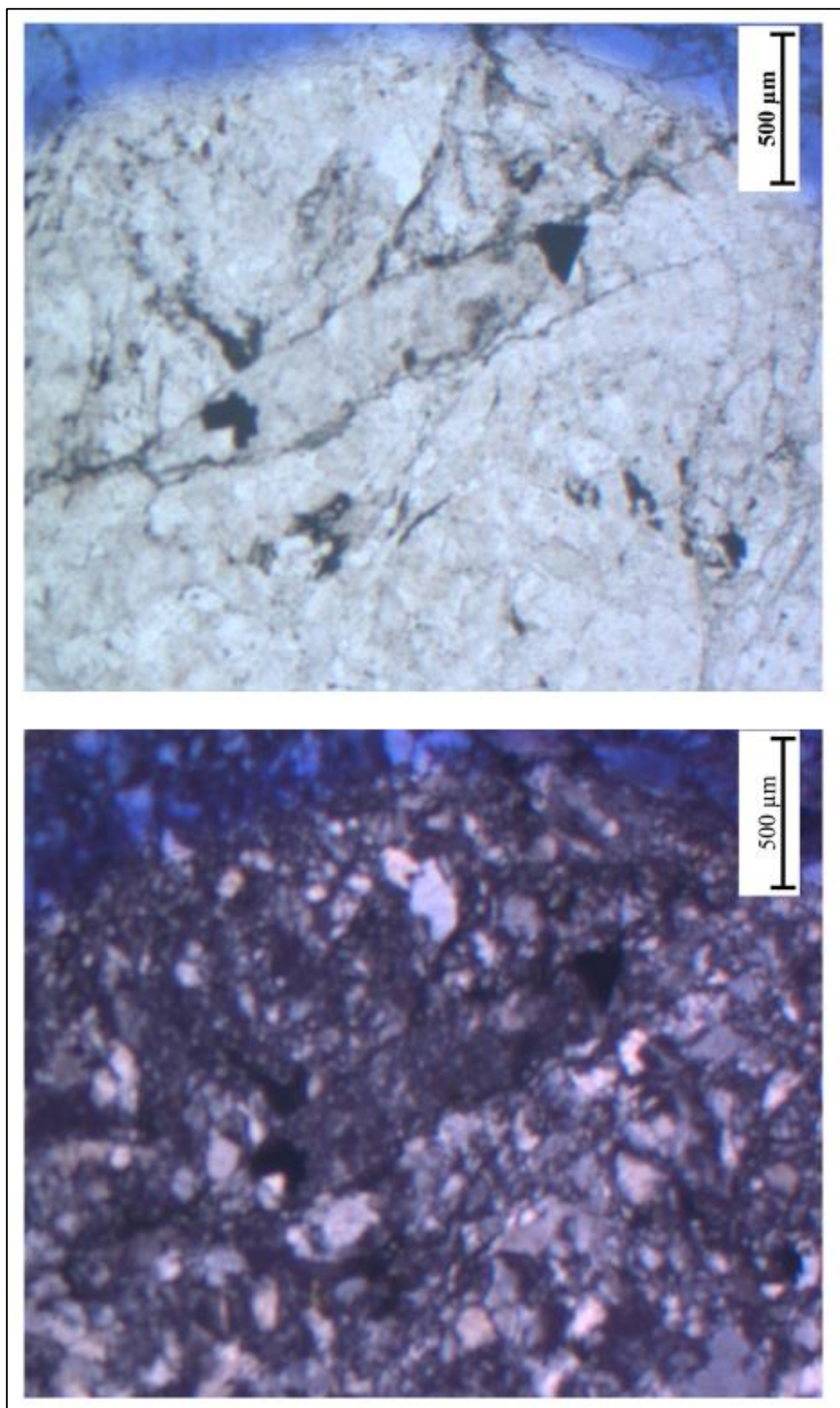
COEFICIENTE TÉRMICO LINEAR NO RESFRIAMENTO

CP N°	L0 (10 ⁻² m)	ΔL (mm)	ΔT (° C)	β (10 ⁻ mm/m °C)
1	1,015	174	55,0	3,12
2	1,018	175	55,0	3,12
VALOR MÉDIO				3,12

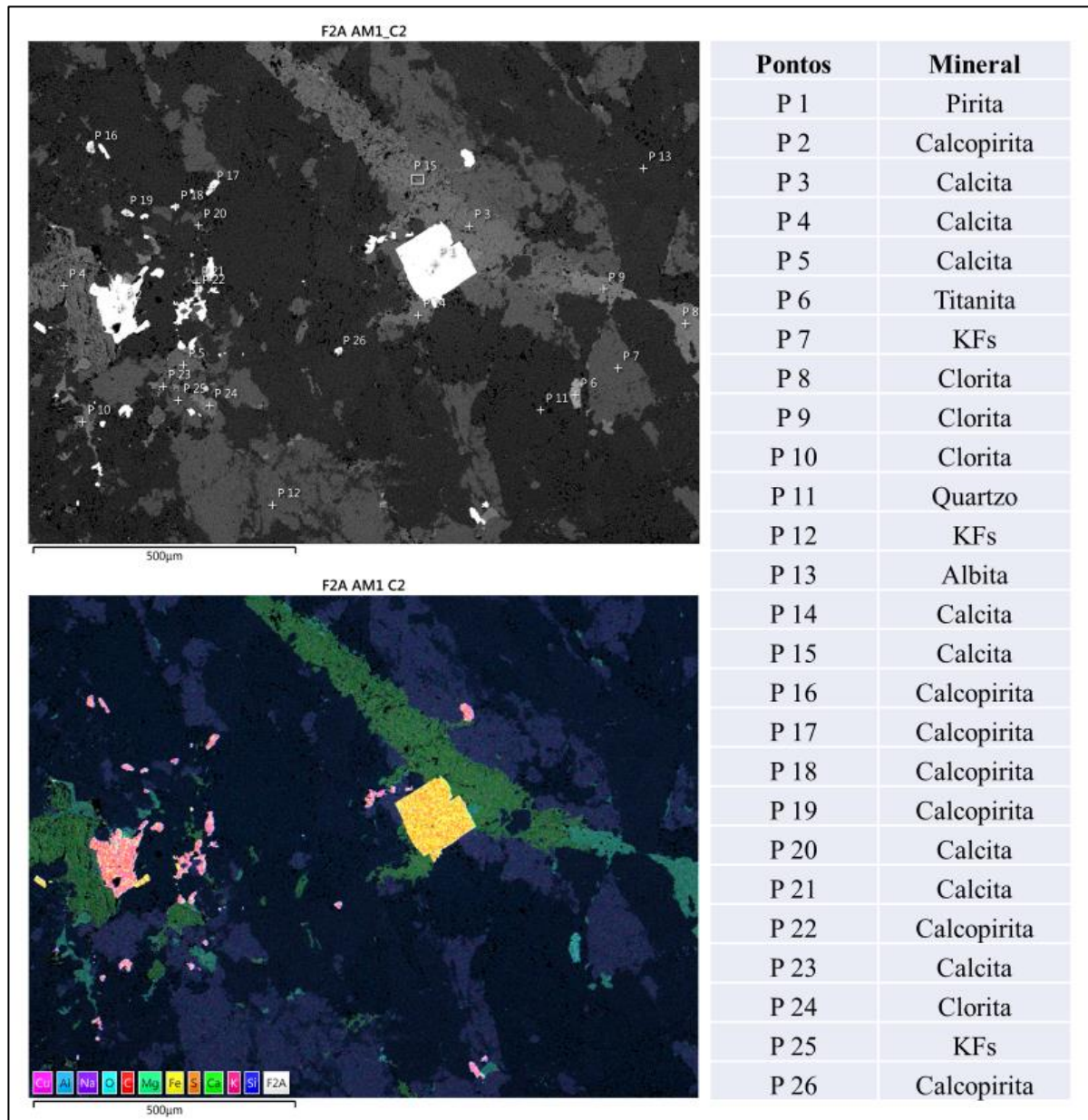
ANEXO IX – Mapa químico do campo 1 – Am. 1.



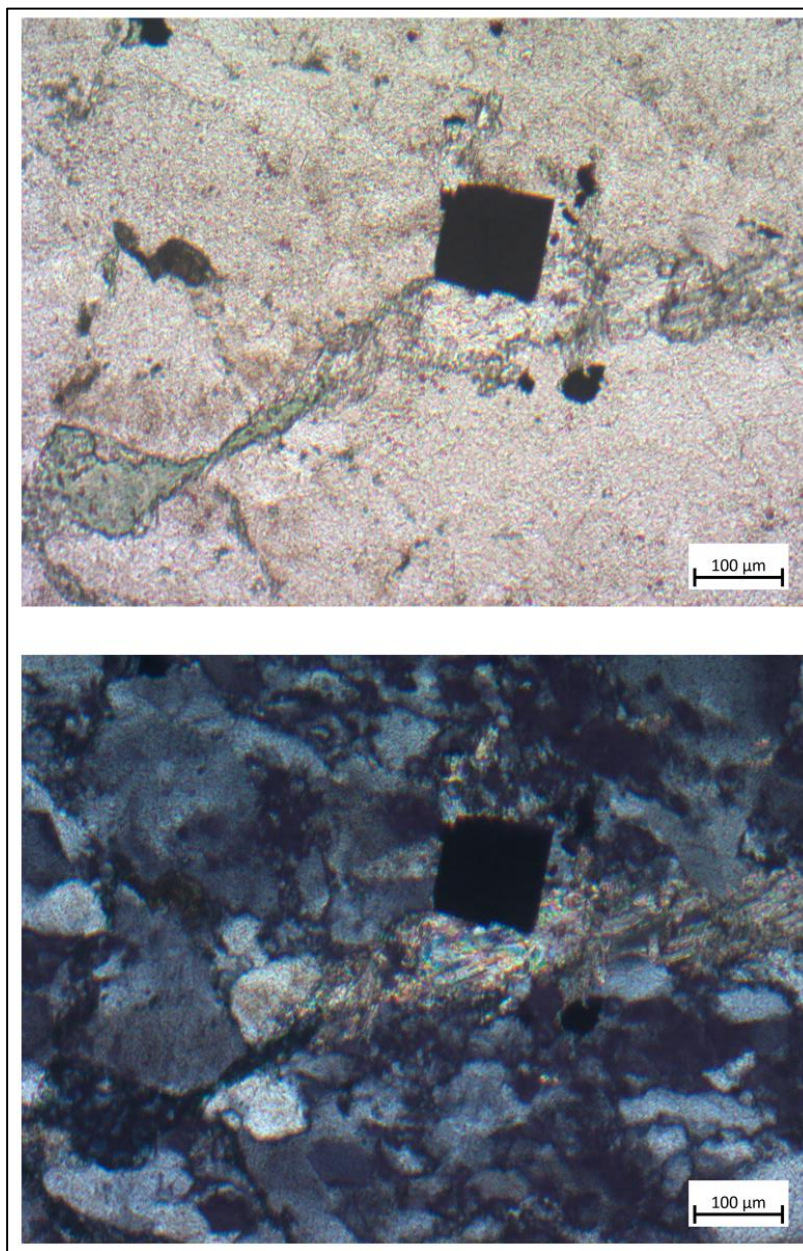
ANEXO X – Campo 1 – Am. 1, ao microscópio óptico. Luz natural (superior), Luz Ortoscópica (inferior).



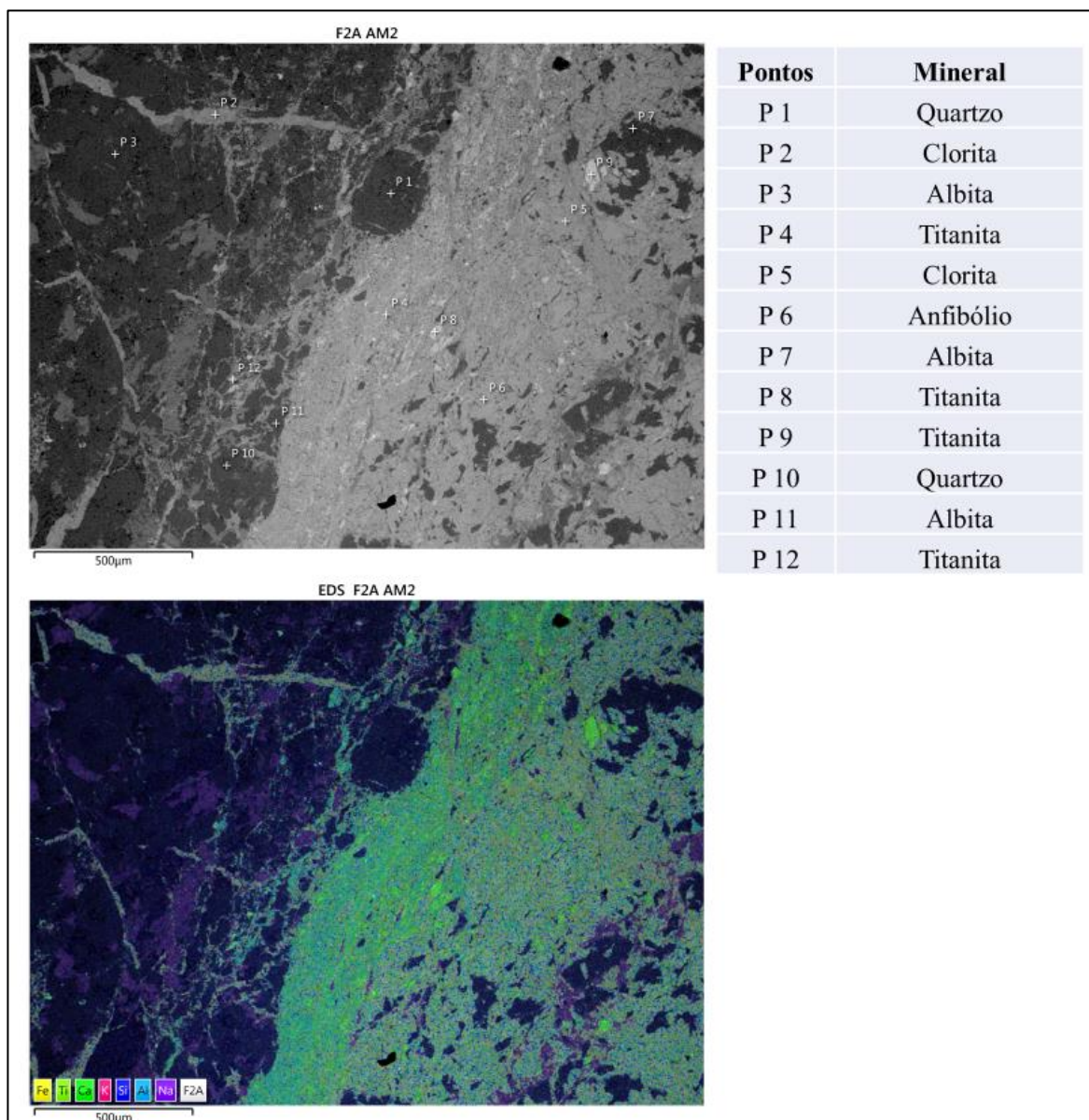
ANEXO XI - Mapa químico do campo 2 – Am. 1.



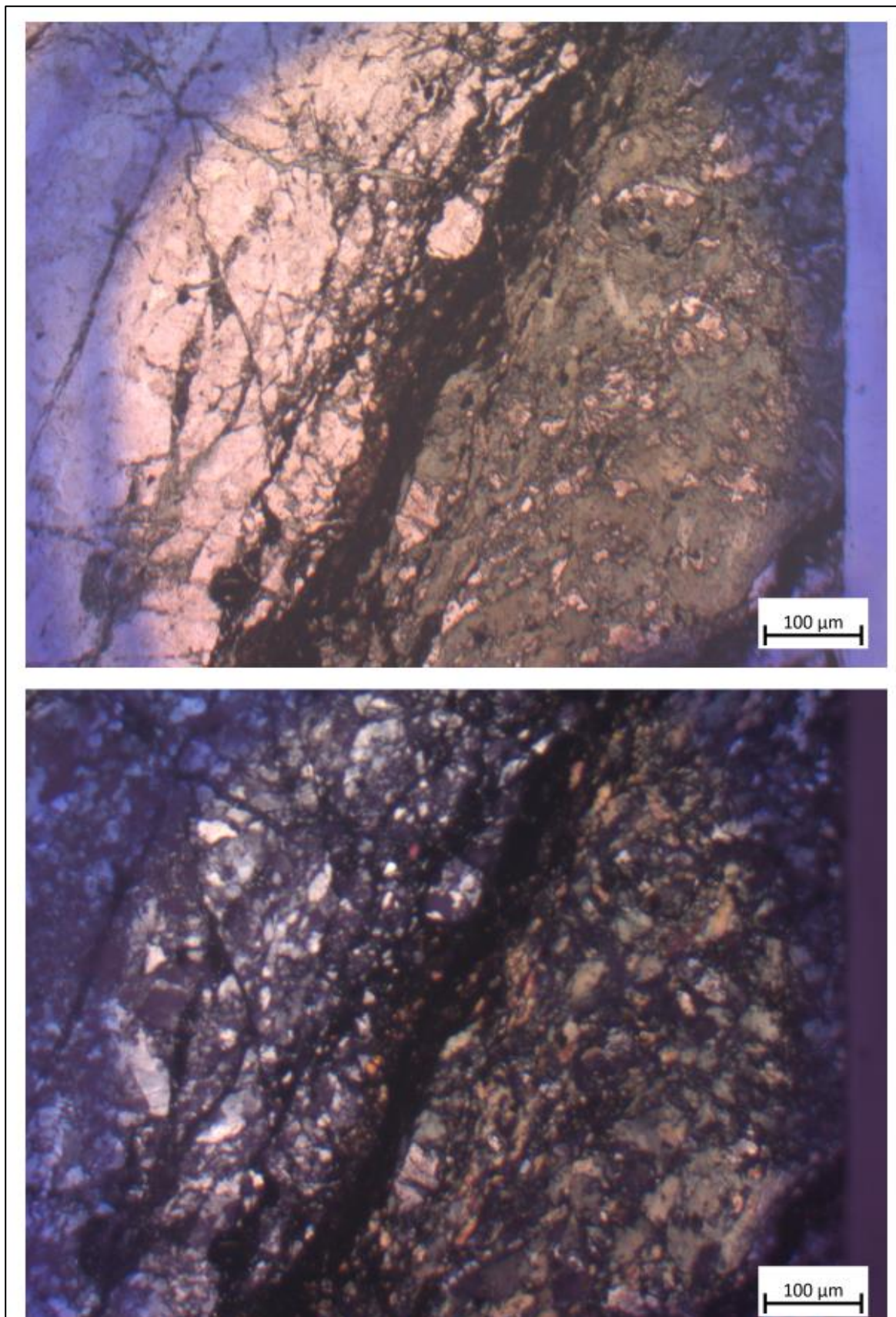
ANEXO XII – Campo 2 – Am. 1, ao microscópio óptico. Luz natural (superior), Luz Ortoscópica (inferior).



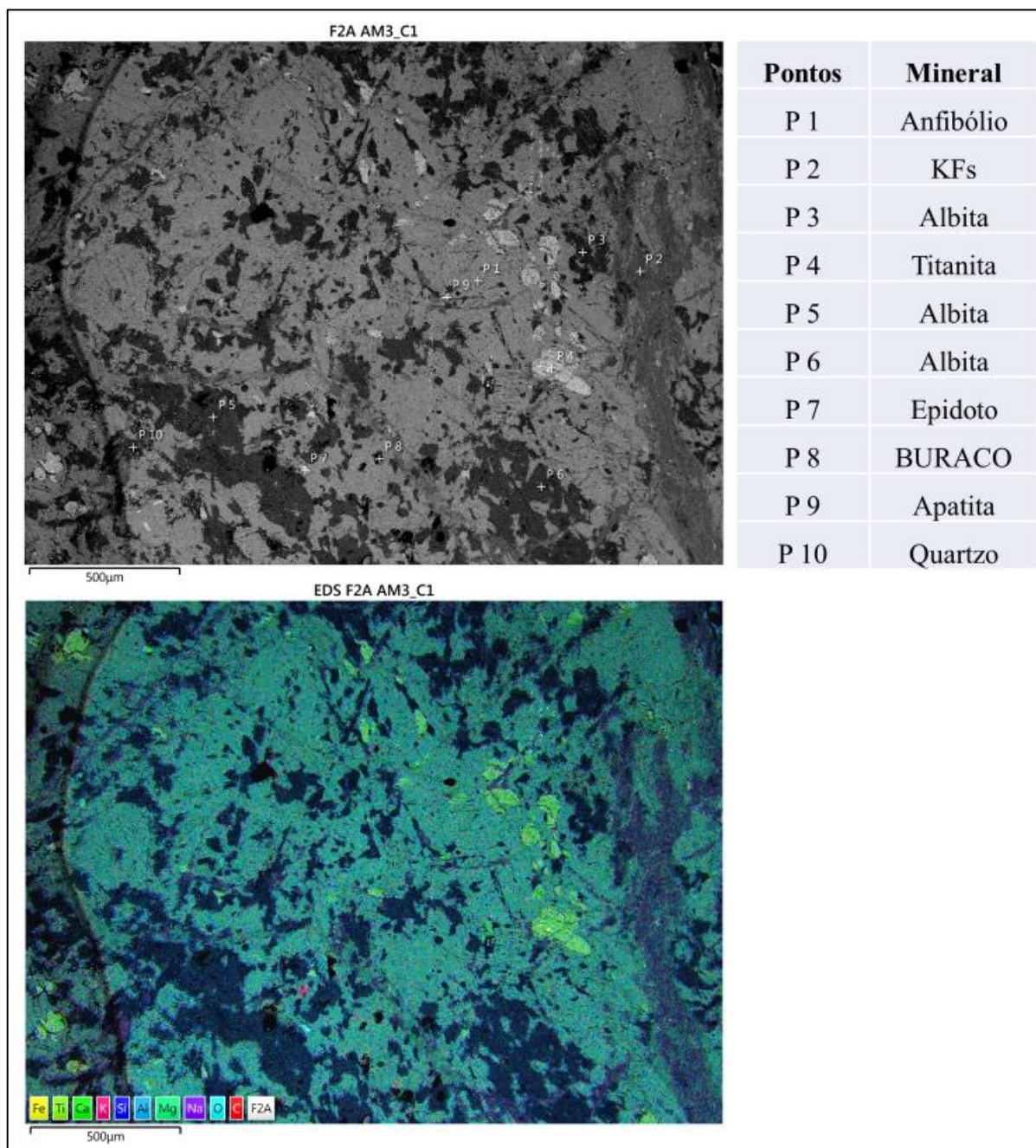
ANEXO XIII - Mapa químico da Am. 2 – Campo único.



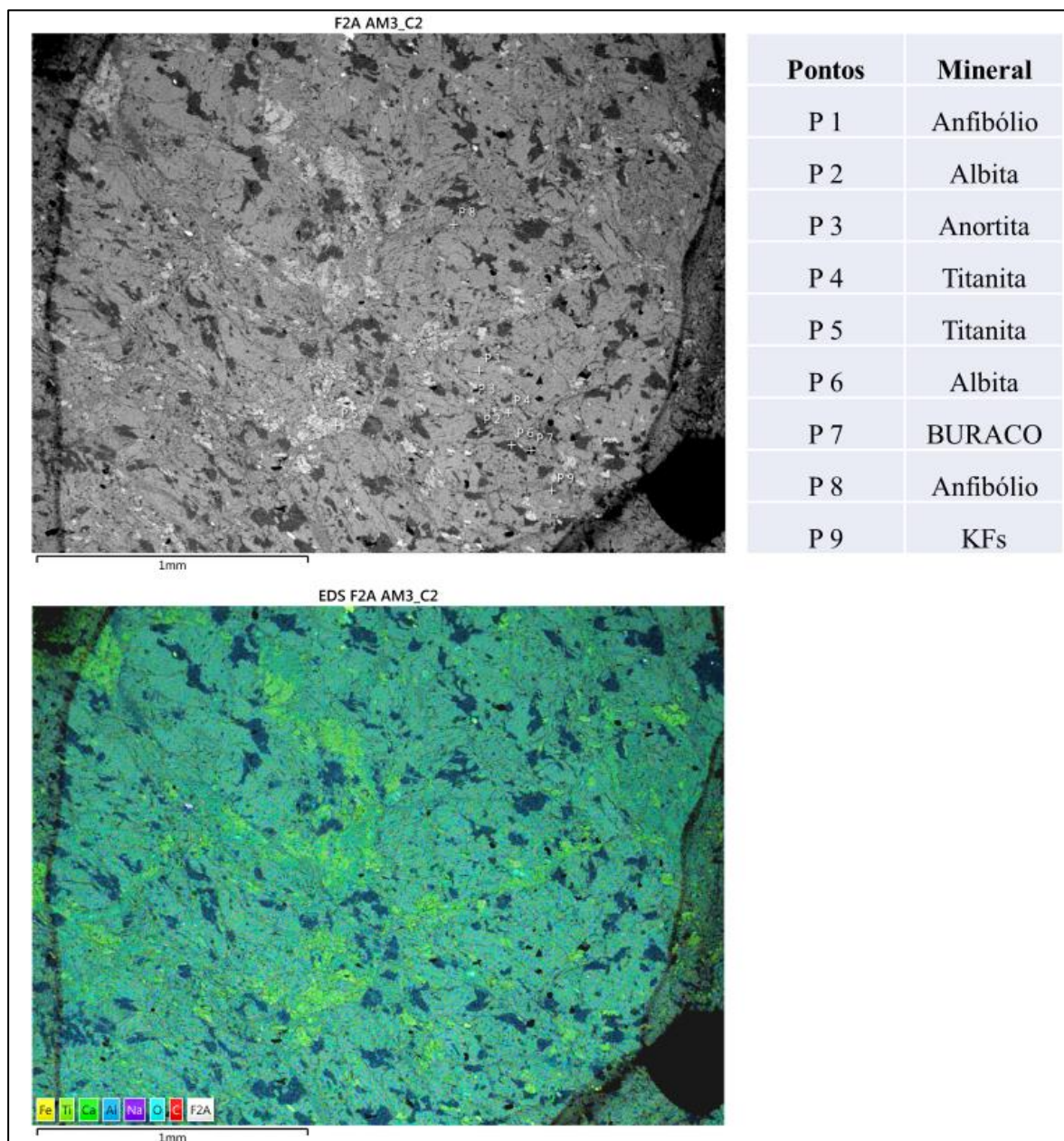
ANEXO XIV - Am. 2, ao microscópio óptico. Luz natural (superior), Luz Ortoscópica (inferior).



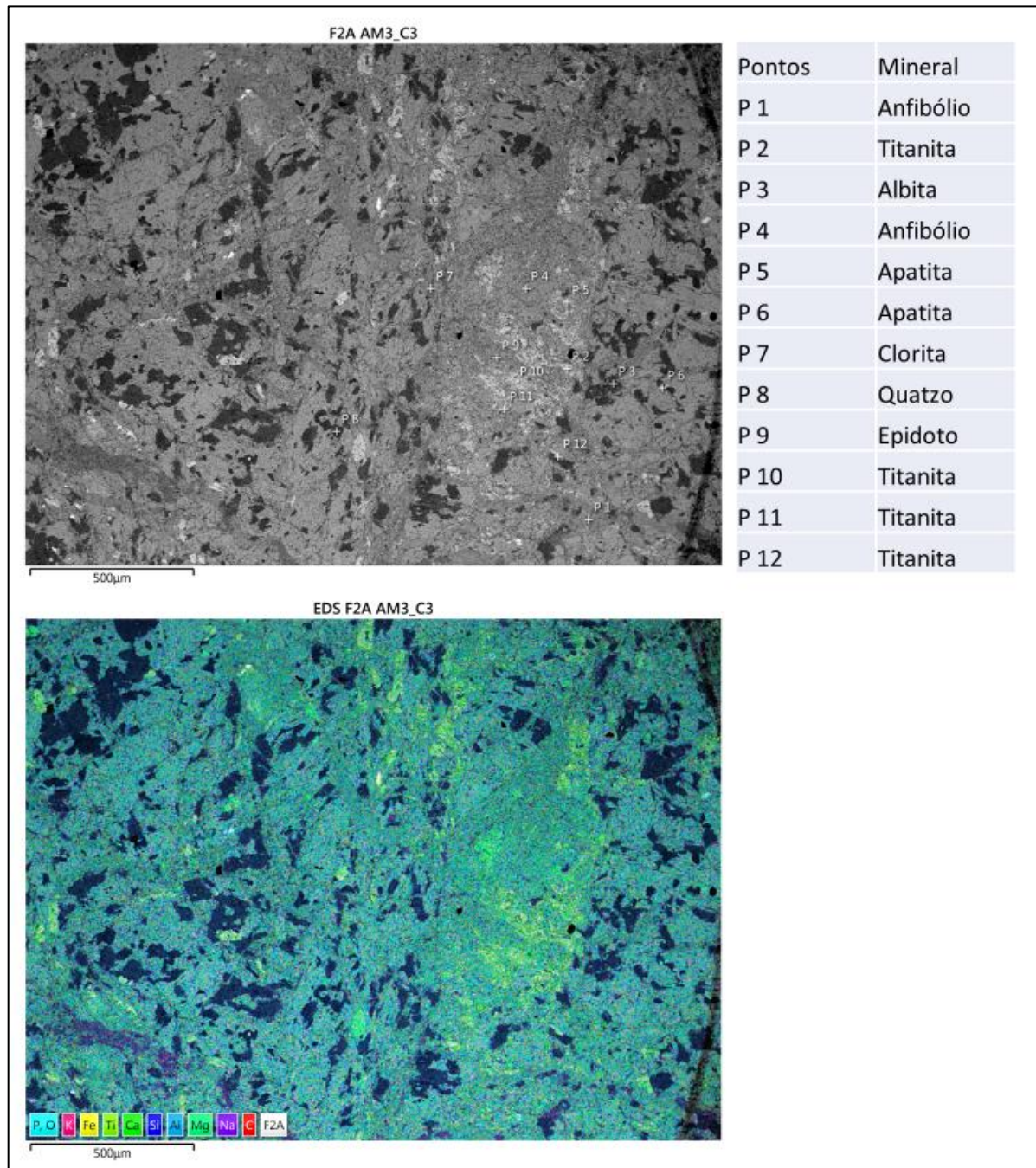
ANEXO XV - Mapa químico do campo 1 – Am. 3.



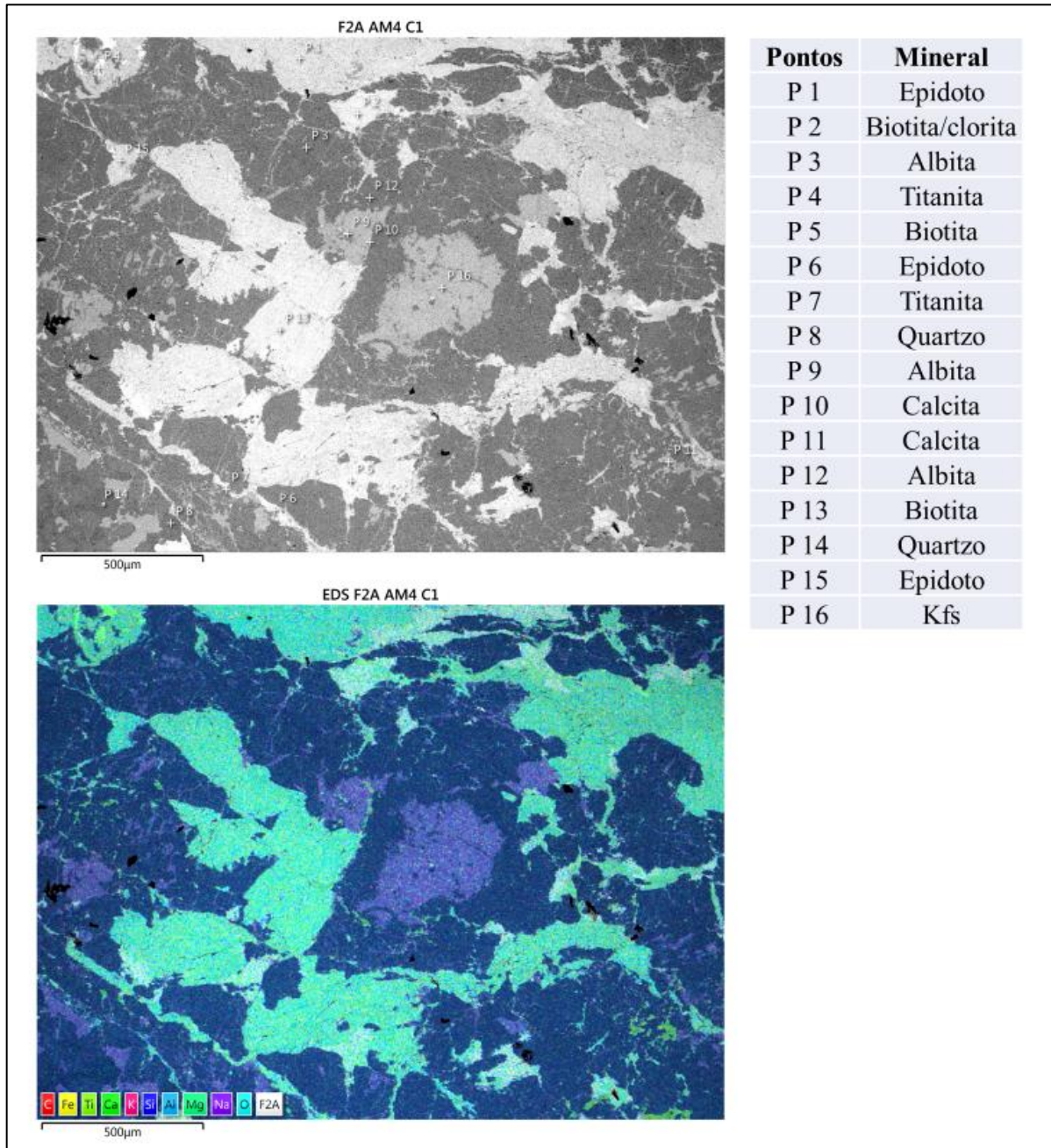
ANEXO XVI - Mapa químico do campo 3 – Am. 3.



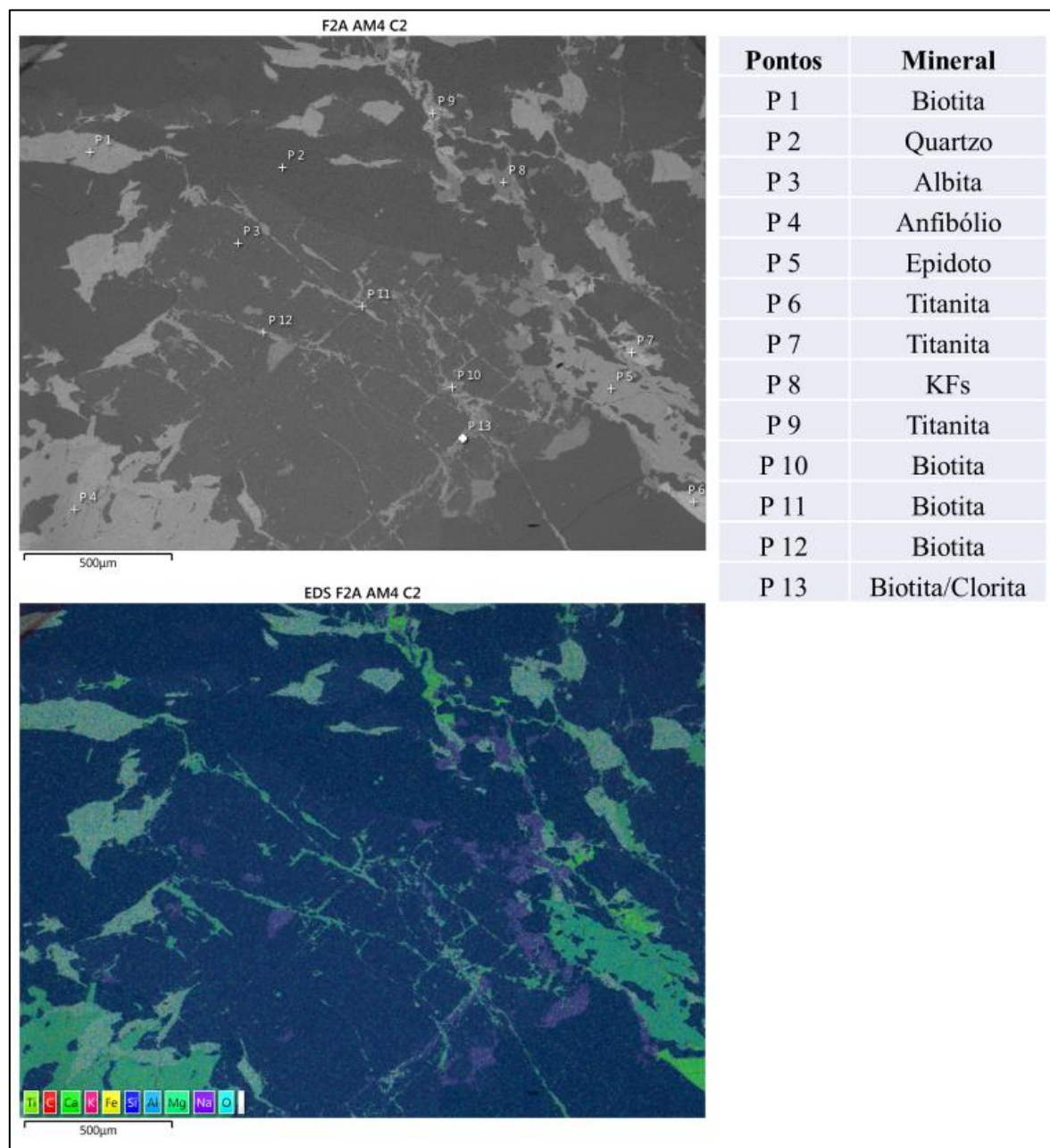
ANEXO XVII - Mapa químico do campo 3 – Am. 3.



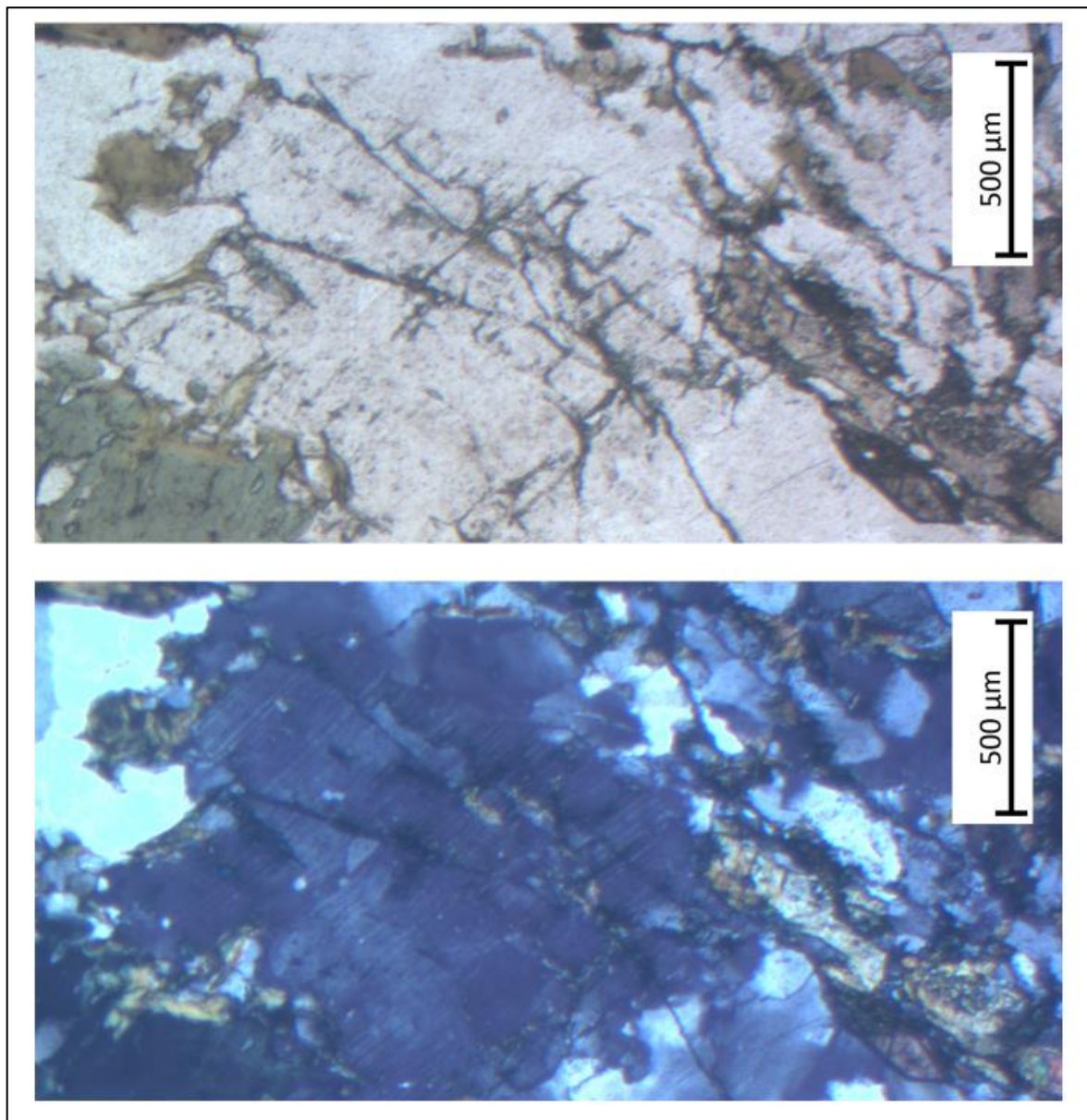
ANEXO XVIII - Mapa químico do campo 1 – Am. 4.



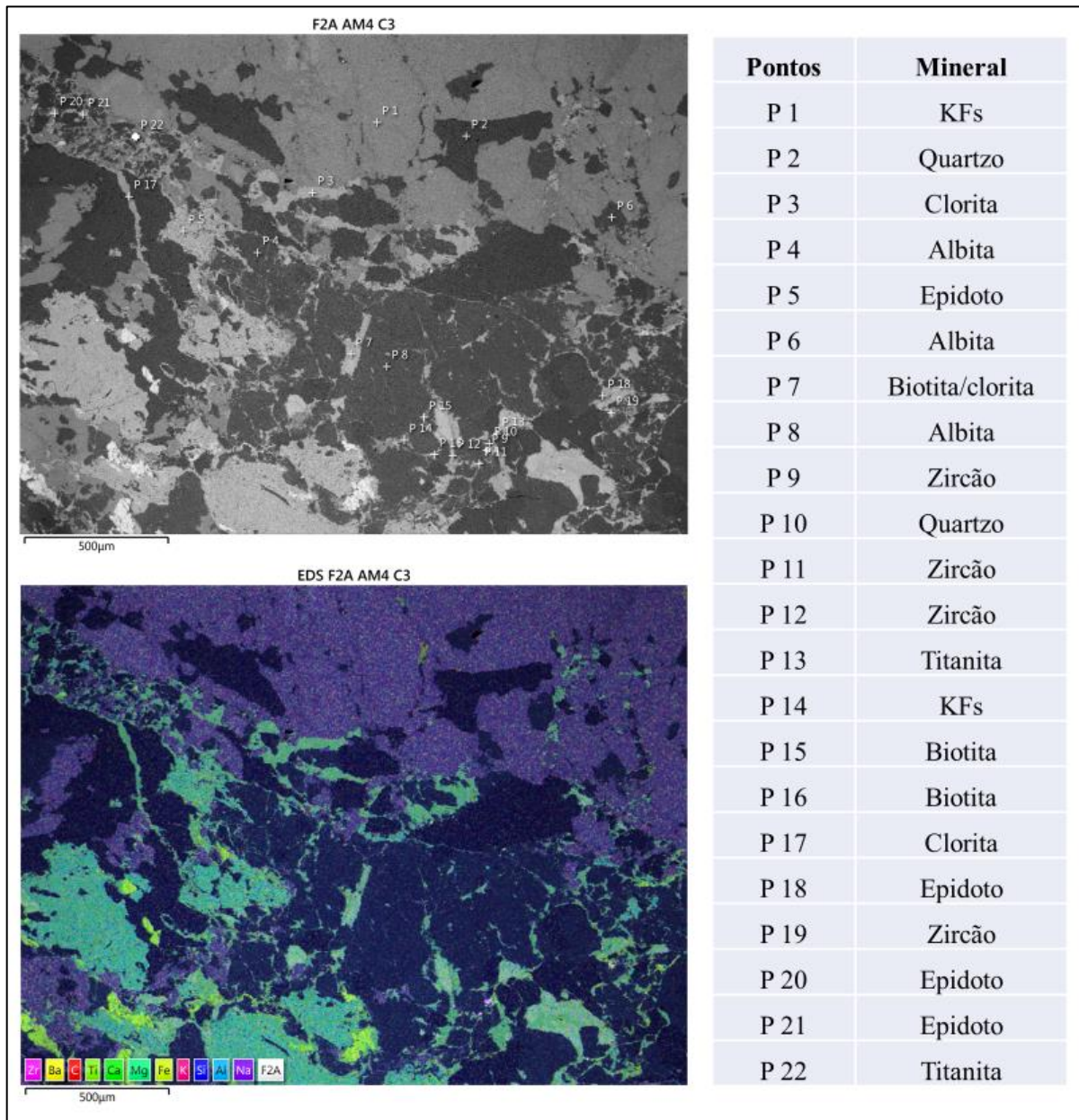
ANEXO XIX - Mapa químico do campo 2 – Am. 4.



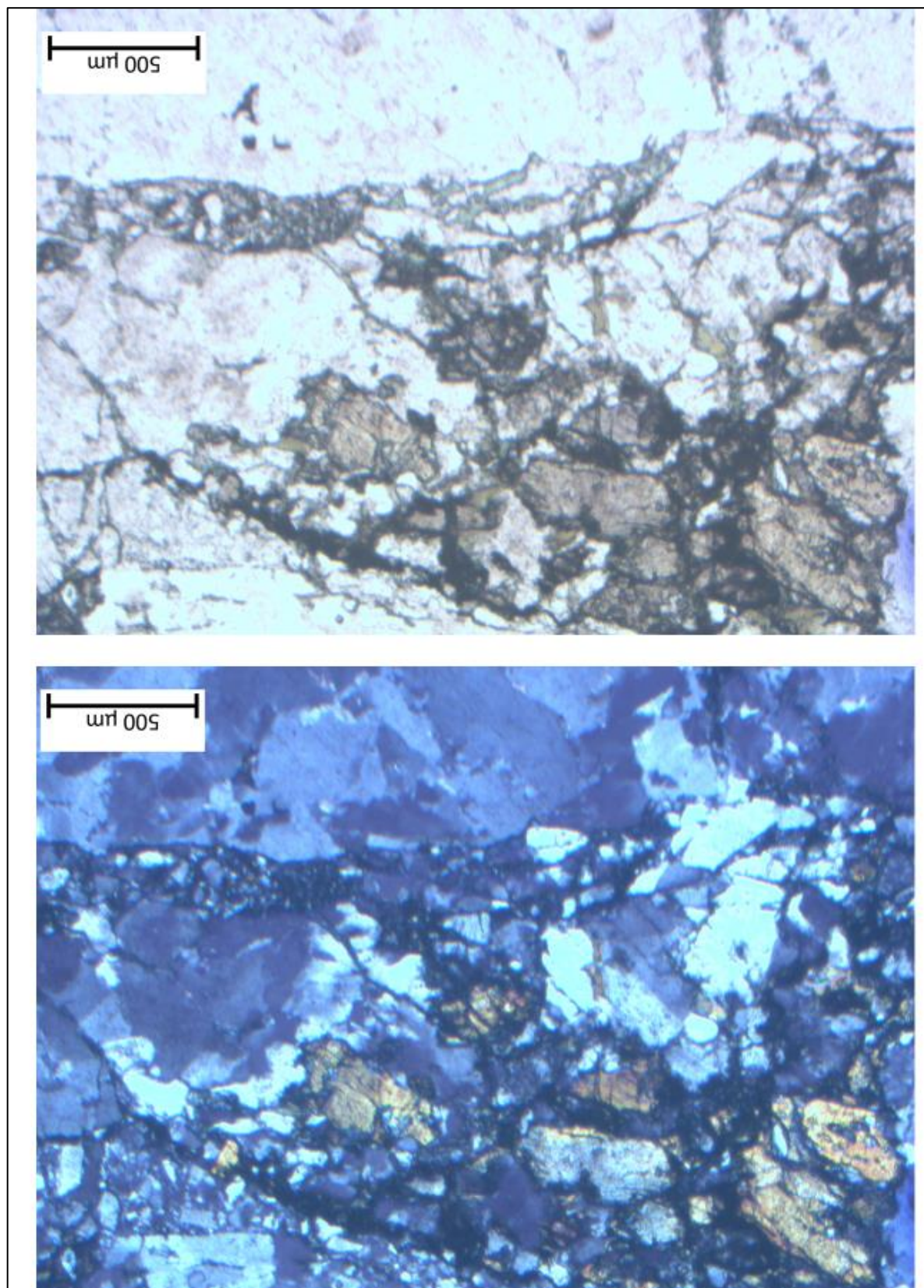
ANEXO XX – Campo 2 - Am. 4, ao microscópio óptico. Luz natural (superior), Luz Ortoscópica (inferior).



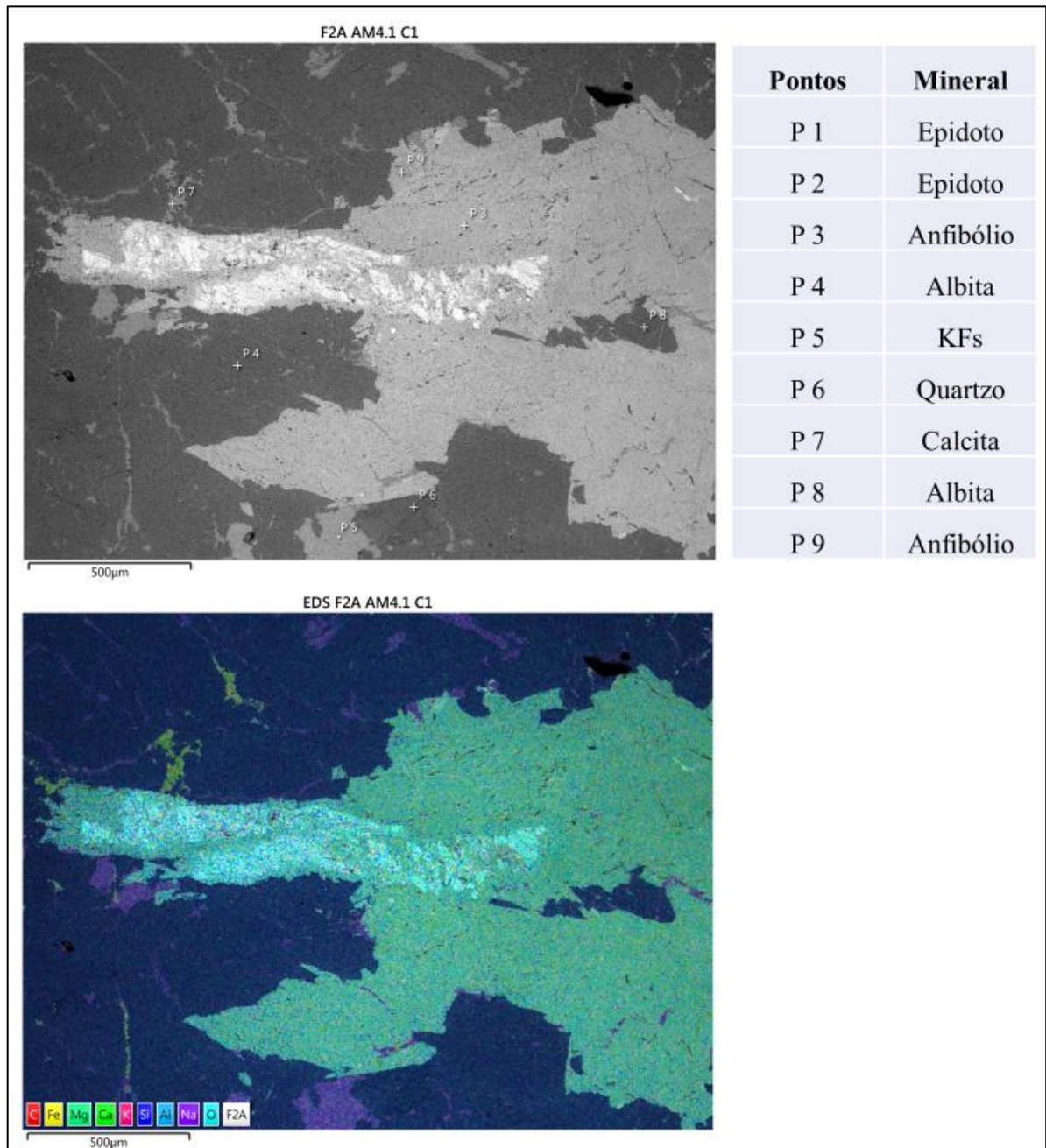
ANEXO XXI - Mapa químico do campo 3 – Am. 4.



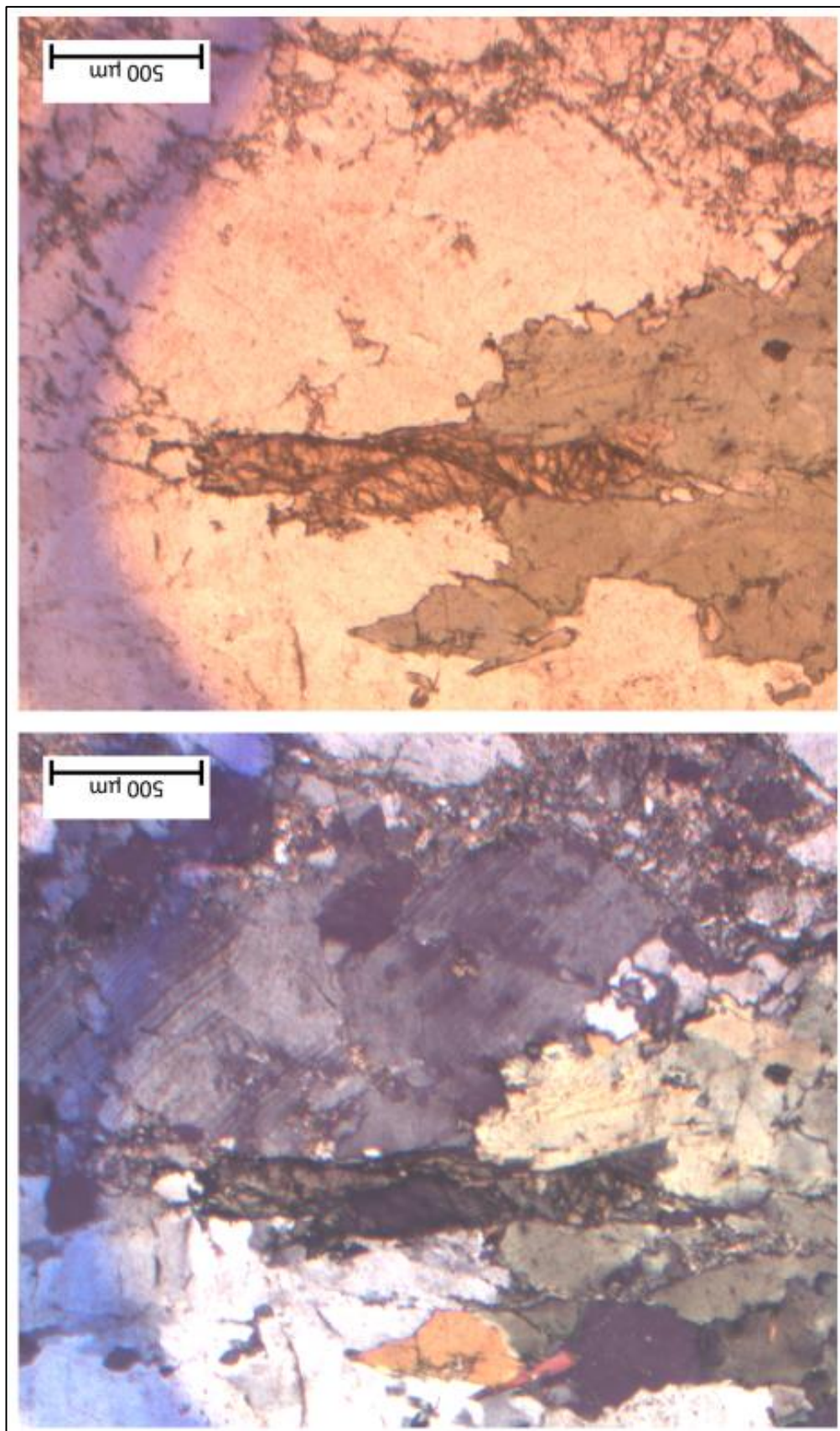
ANEXO XXII - Campo 3 - Am. 4, ao microscópio óptico. Luz natural (superior), Luz Ortoscópica (inferior).



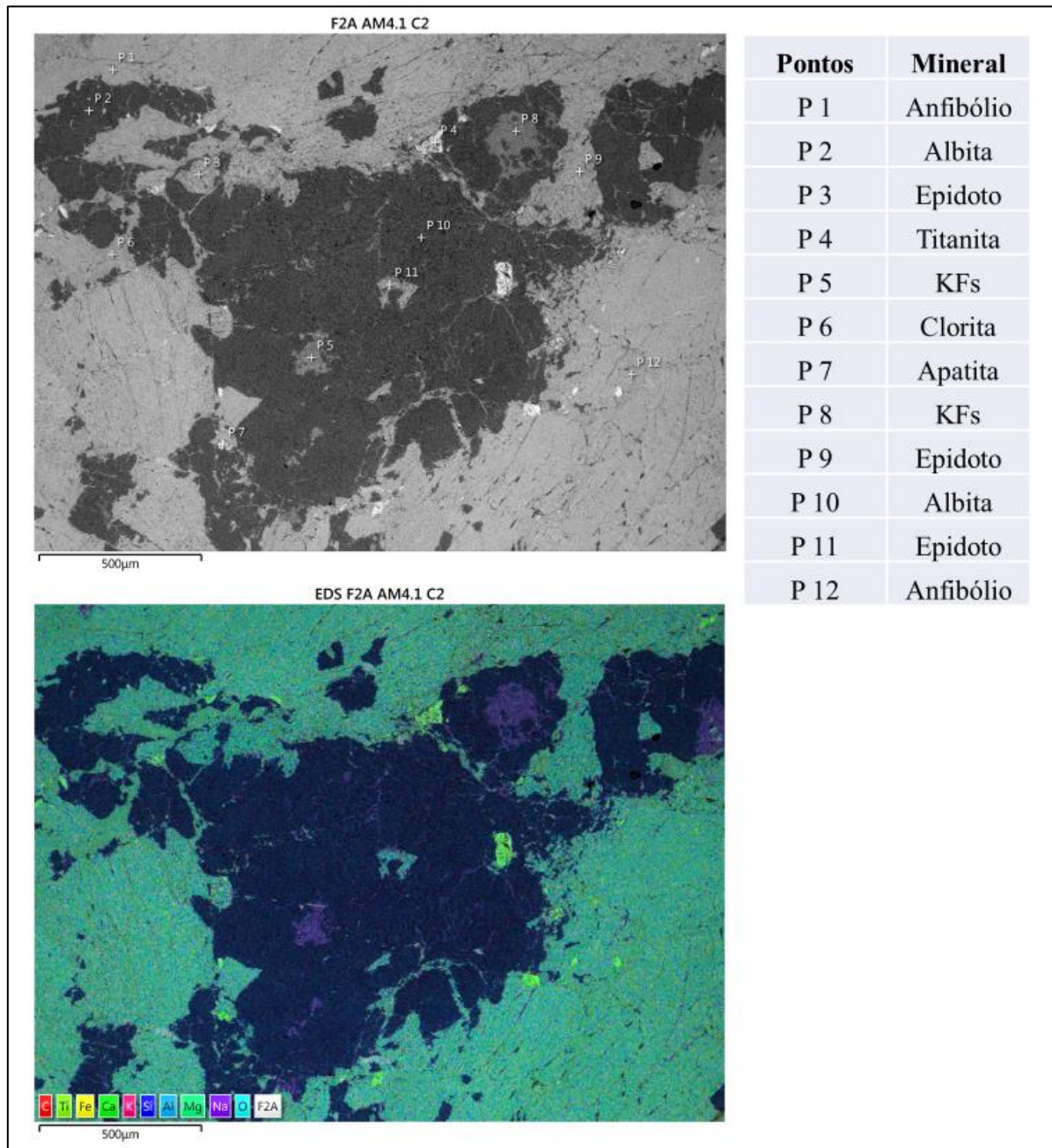
ANEXO XXIII - Mapa químico do campo 1 – Am. 4.1.



ANEXO XXIV - Campo 1 - Am. 4.1, ao microscópio óptico. Luz natural (superior), Luz Ortoscópica (inferior).



ANEXO XXV - Mapa químico do campo 2 – Am. 4.1.



ANEXO XXVI - Campo 2 - Am. 4.1, ao microscópio óptico. Luz natural (superior), Luz Ortoscópica (inferior).

