



Faculdade de Ciências e Tecnologia

Curso de Geologia

ADRIANY CASTRO BUENO

AMANDA MARTINS GOMES

**MAPEAMENTO GEOLÓGICO DE DETALHE E CARACTERIZAÇÃO
MINERALÓGICA EM CORPOS PEGMATÍTICOS DE CONDADO, MUNICÍPIO DE
QUIXERAMOBIM (CE)**

Aparecida de Goiânia

2025



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): Adriany Castro Bueno, Amanda Martins Gomes

Título do trabalho: MAPEAMENTO GEOLÓGICO DE DETALHE E CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA EM CORPOS PEGMATÍTICOS DE CONDADO, MUNICÍPIO DE QUIXERAMOBIM (CE)

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 01/12/2025, às 07:58, 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 **Adriany Castro Bueno, Discente**, em 10/12/2025, às 16:19, 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 **Amanda Martins Gomes, Discente**, em 10/12/2025, às 16:20, 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 **5794996** e o código CRC **715E5615**.

Referência: Processo nº 23070.059769/2025-72

SEI nº 5794996

ADRIANY CASTRO BUENO
AMANDA MARTINS GOMES

**MAPEAMENTO GEOLÓGICO DE DETALHE E CARACTERIZAÇÃO
MINERALÓGICA EM CORPOS PEGMATÍTICOS DE CONDADO, MUNICÍPIO DE
QUIXERAMOBIM (CE)**

Monografia apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologia como parte dos requisitos para a conclusão do curso de Geologia.

Orientador: Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto

Co-orientadora: Prof^a. Dr(a). Martha Noélia Lima

Aparecida de Goiânia

2025

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

Bueno, Adriany Castro

Mapeamento geológico de detalhe e caracterização mineralógica em
corpos pegmatíticos de Condado, município de Quixeramobim (CE)
[manuscrito] / Adriany Castro Bueno, Amanda Martins Gomes. - 2025.
77 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto; co
orientadora Dra. Martha Noélia Lima.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade
Federal de Goiás, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Geologia,
Aparecida de Goiânia, 2025.

Bibliografia. Apêndice.

Inclui siglas, mapas, fotografias, abreviaturas, tabelas, lista de
figuras, lista de tabelas.

1. Província Borborema. 2. Unidade Acopiara. 3. Granito
Banabuiú. 4. Pegmatitos. 5. Lítio. I. Gomes, Amanda Martins. II.
Nogueira Neto, José de Araújo, orient. III. Lima, Martha Noélia, co
orient. IV. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos dois dias do mês de dezembro do ano de 2025 iniciou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado “MAPEAMENTO GEOLÓGICO DE DETALHE E CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA EM CORPOS PEGMATÍTICOS DE CONDADO, MUNICÍPIO DE QUIXERAMOBIM (CE)”, de autoria de Adriany Castro Bueno e Amanda Martins Gomes, do curso de Geologia, da Faculdade de Ciências e Tecnologia 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. Marco Antônio Pires Paixão (IFG) e Profa. Dra. Débora Ezequiel Cavalcanti (FCT/UFG). Após a apresentação, a banca examinadora realizou a arguição das estudantes. Posteriormente, de forma reservada, a Banca Examinadora atribuiu a nota final de **nove vírgula sete (9,7)**, 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 **Jose De Araujo Nogueira Neto, Professor do Magistério Superior**, em 02/12/2025, às 19:25, 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 **Debora Ezequiel Cavalcanti, Professora do Magistério Superior**, em 04/12/2025, às 10:20, 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 **Marco Antônio Pires Paixão, Usuário Externo**, em 04/12/2025, às 10:44, 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 **5794984** e o código CRC **70946F45**.

Dedicamos esse trabalho a nossa família por todo apoio e amor incondicional durante nossa trajetória, e aos professores que nos inspiraram a chegar até aqui.

Agradecimentos

Agradecemos à Universidade Federal de Goiás, em especial ao curso de Bacharelado em Geologia, bem como a toda a equipe de professores, técnicos e servidores que contribuíram para a nossa formação e a realização deste Relatório de Conclusão de Curso.

Ao professor, Reinhardt Adolfo Fuck da Universidade de Brasília, nosso sincero agradecimento por custear o nosso trabalho de campo e as análises químicas necessárias para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

Nosso companheiro de campo, Levi. Muito obrigada por toda ajuda e parceria durante o trabalho de campo, você contribuiu muito, a cada marretada, a cada amostra e a cada dia. Lembraremos sempre de você com muito carinho e estamos torcendo pelo seu sucesso.

À família do professor Zeca, que com tanta hospitalidade nos recebeu em sua casa, obrigada Dona Maria e Rose, por cada cuidado e gentileza.

Nosso obrigada a toda a equipe do Centro Regional para o Desenvolvimento Tecnológico e Inovação - CRTI, que com toda paciência nos recebeu e colaborou nas análises técnicas, sempre dispostos a ajudar e esclarecer as dúvidas, em especial ao David, Anna, Itália, Gisane e Gerson.

Obrigada ao Me. Danilo Fuentes por sua disponibilidade e disposição em nos orientar quanto ao uso do software GCDKit, ferramenta essencial para o tratamento e interpretação dos nossos dados de química mineral.

Por fim, agradecemos ao nosso querido orientador, por ver em nós além de nossos próprios olhos. Obrigada pela oportunidade, apoio e incentivo, o senhor faz parte desse momento tão importante em nossas vidas.

Agradeço a meu Deus, que é a minha força e esteve comigo em todos os desafios, na formação acadêmica e ao longo da vida. Por me guardar e ajudar em cada campo, em cada prova e atividade. Quem tem me fortalecido para não desistir, especialmente durante a pandemia. Sou infinitamente grata por sua graça ter me alcançado.

Aos meus pais, Coraci e Ildefonso, por serem o meu apoio e inspiração. Obrigada por todo o esforço e dedicação para que eu pudesse estudar. Sou grata pela vida, educação e pelos constantes conselhos, esse TCC também é de vocês.

Aos meus amigos e colegas companheiros da geologia, em especial Otávio, Monique, Liandra, Nathália, Nínive, Sania, Emili, Julliany, Diullie, Gabriel, Glayce, Bruno e Victor, a amizade de vocês foi reconfortante durante toda essa jornada.

Fernanda, minha irmã querida, minha companheira de vida e trabalho, crescemos e juntas dividimos sonhos e muitas risadas. Você me apoiou e se dedicou para que todas as idas ao campo fossem possíveis, obrigada por você ser essa pessoa incrível que eu posso contar.

Adriany, minha companheira fiel desde o ensino médio, passando pela faculdade até o TCC. São 11 anos de amizade, apoio e incontáveis memórias, que guardarei com muito carinho em meu coração. Essa conquista é muito melhor ao seu lado, você é luz, incentivo e alegria nos momentos bons e difíceis dessa caminhada.

Ao meu grande amor, Jhonny Lucas, você esteve comigo desde o segundo ano da faculdade e viveu grande parte dessa jornada ao meu lado. Obrigada por dividir tudo comigo e me arrancar sorrisos quando eu só queria chorar, nada disso seria igual sem você. Eu pude contemplar todos os seus esforços por mim e pelo nosso casamento, você é uma benção na minha vida.

Amanda Martins Gomes

Dedico este trabalho e agradeço profundamente as duas mulheres mais importantes na minha vida, principalmente nesta longa jornada chamada graduação, minha mãe Rose e minha avó Alzira. Tenho absoluta certeza de que, sem vocês, tudo isso não passaria de um sonho que carrego comigo desde que entrei no meu curso técnico a 11 anos atrás.

Agradeço a Deus por me guiar no caminho certo e por me dar forças e saúde para concluir esta minha jornada, que me protegeu e me protege de todos os perigos, principalmente nas atividades de campo. Que tem me abençoado todos os dias da minha vida.

Agradeço de todo meu coração meus amigos de graduação que foram muito importantes pra mim. Um agradecimento especial para aqueles que sempre vou levar comigo e que torço por todo sucesso do mundo: Glayce Kelly, Nathália Melo, Julianny, Liandra, Nínive, Elifas, Gabriel Peixoto, Emili, Débora, Diullie, Bruno, Bruna e Victor. Não podia deixar de registrar meu agradecimento ao meu melhor amigo Otávio, que me apoia, me ajuda e é meu ombro amigo para todos os momentos.

Minha amiga e companheira Amanda, te agradeço por tudo o que tem feito e faz por mim a tantos anos. Só eu, você e Deus sabemos os desafios que enfrentamos até aqui. Desejo que Deus te abençoe sempre e que apesar do encerramento de mais esse ciclo em nossas vidas, que nossa amizade seja eterna, como a minha gratidão por ter você em minha vida durante esses onze anos.

Quero deixar um agradecimento especial para meu querido professor Marco Paixão, que despertou em mim o amor por esse curso e que é uma das minhas maiores inspirações nesta profissão.

Ao meu querido orientador Zeca, quero registrar mais uma vez minha gratidão por tudo o que pude construir com sua ajuda, amizade e cuidado. Considero o senhor como um segundo pai e será meu eterno orientador, independente do rumo que minha vida tomar. Deus o abençoe sempre e o retribua por todo bem que semeia.

Adriany Castro Bueno

“O ato mais corajoso é pensar por si mesma. Em voz alta.”

— Coco Chanel

RESUMO

A porção sudeste de Quixeramobim (CE), região de estudo do presente trabalho, situa - se no contexto geotectônico do Domínio Ceará Central (DCC) - Província Borborema (PB). O objetivo do trabalho é apresentar os resultados do mapeamento geológico de detalhe (1:10.000), realizado em área de aproximadamente 3,3 km², que permitiu o reconhecimento de três unidades litoestratigráficas (Unidade Acopiara, Granito Banabuiú e Pegmatitos), bem como caracterizar em termos petrográficos, litogeoquímicos e de química mineral as rochas da área. A primeira unidade corresponde ao embasamento gnáissico paleoproterozoico (Unidade Acopiara), representado por gnaisses parcialmente migmatizados, intercalados com anfibolitos e xistos. Estes litotipos apresentam foliação S_{n+1} com direção preferencial NE-SW e N-S de mergulhos médios a elevados para oeste. As associações minerais dessa unidade que incluem: anfibólio (Am) + quartzo (Qtz) + plagioclásio (Pl) \pm feldspato potássico (FK), sugerem metamorfismo em fácies anfibolito superior. A segunda unidade é representada por granitos neoproterozoicos (Granito Banabuiú), formada por granitos do tipo S, compostos por duas micas, classificados principalmente como monzogranitos, situados preferencialmente no campo da associação leucocrática, com caráter peraluminoso apresentando $M_s > B_t$. A terceira unidade corresponde aos pegmatitos paleozoicos, ocorrendo em dois corpos distintos na área, individualizados pela mineralogia e feições texturais: o primeiro, localizado na maior parte da área de estudo, exibindo textura pegmatítica característica e uma proporção modal significativa de feldspatos potássicos, o que confere aos mesmos uma cor rósea marcante, nestes, alguns corpos foram observados restos de “bolsões” metassomáticos, o segundo, concentrado na região noroeste da área, apresenta maior concentração de albita e biotita, em porções de composição diorítica, na qual as biotitas exibem textura “espinha de peixe”. Os corpos pegmatíticos mapeados apresentam minerais gemológicos como o berilo (água-marinha) e as variedades de turmalina (schorlita e elbaíta-rubelita), além de minerais litiníferos como a lepidolita. Os dados obtidos pelas análises geoquímicas de fotometria de chama e por meio do analisador portátil de lítio apontam concentrações significativas de óxido de lítio nos minerais presentes, como no caso da lepidolita com 42.725 ppm de Li, elbaíta-rubelita 23.890 ppm, muscovita 2.507 ppm, berilo 1.533 ppm, e na turmalina preta 371 ppm de Li.

Palavras-chave: Província Borborema, Unidade Acopiara, Granito Banabuiú, Pegmatitos, Lítio.

ABSTRACT

The southeastern portion of Quixeramobim (CE), the study area of this work, is situated within the geotectonic context of the Ceará Central Domain (DCC) of the Borborema Province (BP). The objective of this study is to present the results of detailed geological mapping (1:10,000), carried out over an area of approximately 3.3 km², which allowed the recognition of three lithostratigraphic units (Acopiara Unit, Banabuiú Granite, and Pegmatites), as well as the petrographic, lithogeochemical, and mineral-chemical characterization of the rocks in the area. The first unit corresponds to the Paleoproterozoic gneissic basement (Acopiara Unit), represented by partially migmatized gneisses interlayered with amphibolites and schists. These lithotypes exhibit an S_{n+1} foliation with preferred NE–SW and N–S orientations and moderate to steep dips towards the west. Mineral assemblages of this unit, including amphibole (Am) + quartz (Qtz) + plagioclase (Pl) ± K-feldspar (Kfs), suggest metamorphism in the upper amphibolite facies. The second unit is represented by Neoproterozoic granites (Banabuiú Granite), composed of S-type, two-mica granites, classified mainly as monzogranites, predominantly falling within the leucocratic association field, with a peraluminous character and showing Ms > Bt. The third unit corresponds to Paleozoic pegmatites, occurring as two distinct bodies in the area, distinguished by their mineralogy and textural features: the first, occupying most of the study area, displays characteristic pegmatitic texture and a significant modal proportion of K-feldspar, which imparts a marked pink coloration; in some bodies, remnants of metasomatic “pockets” were observed. The second, concentrated in the northwestern portion of the area, contains higher concentrations of albite and biotite, in dioritic-composition zones where biotite displays a “fishbone” texture. The mapped pegmatite bodies host gemological minerals such as beryl (aquamarine) and varieties of tourmaline (schorl and elbaite-rubellite), as well as lithium-bearing minerals such as lepidolite. Geochemical data obtained through flame photometry and a portable lithium analyzer indicate significant lithium oxide concentrations in the minerals analyzed, including 42,725 ppm Li in lepidolite, 23,890 ppm in elbaite-rubellite, 2,507 ppm in muscovite, 1,533 ppm in beryl, and 371 ppm Li in black tourmaline.

Keywords: Borborema Province, Acopiara Unit, Banabuiú Granite, Pegmatites, Lithium.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO.....	01
Figura 1.1: Mapa de localização e acesso à área (Fonte: Autoras).....	02
CAPÍTULO 2: MATERIAIS E MÉTODOS.....	03
Figura 2.1: Analisador portátil PEGASUSLIBS (modelo P-3Li) com cilindro de gás argônio, utilizado para análise do teor de lítio.....	07
CAPÍTULO 3: GEOLOGIA REGIONAL.....	08
Figura 3.1: Províncias estruturais do Brasil (Dias, 2022 modificado de IBGE, 2019).....	08
Figura 3.2: Mapa geológico regional da Folha Independência no Domínio Ceará Central, Subprovíncia Setentrional da Província Borborema (modificado de CAVALCANTE, 1999).....	10
Figura 3.3: Distribuição dos principais Domínios Geotectônicos no Estado do Ceará (extraído de Arthaud <i>et al.</i> , 1998).....	11
CAPÍTULO 4: LITOESTRATIGRAFIA.....	14
Figura 4.1: Mapa de zonas homólogas fotointerpretadas presentes na área de estudo (Fonte: Autoras)	14
Figura 4.2: Imagem de satélite da área de estudo com a delimitação das zonas homólogas apresentando características distintas em relação ao solo e à vegetação (Fonte: Autoras).....	15
Figura 4.3: Afloramentos de gnaiss presentes na área de estudo. A) afloramento de gnaiss cinza claro em lajedo apresentando transposição e interferência de dobras. B) Afloramento de gnaiss cinza claro em piso com bandamento gnáissico C) Afloramento de gnaiss em drenagem seca. C) Afloramento de gnaiss cinza escuro de granulação fina com alto ângulo de mergulho.....	16
Figura 4.4: A) Afloramento de gnaiss com cristais de quartzo estirados e alguns em formato de sigma. B) Afloramento em lajedo de gnaiss migmatizado. C) Bloco de gnaiss com intrusão de pegmatito. D) Afloramento de gnaiss com veio de quartzo).....	17
Figura 4.5: Afloramento em lajedo de gnaiss intercalado com anfíbolito. B) Afloramento de gnaiss com dobra isoclinal. C) Afloramento de xisto de cor cinza claro. D) Afloramento de gnaiss com <i>pods</i> de deformação.....	18

Figura 4.6: Afloramento de granito <i>in situ</i> e em blocos/matacões em drenagem seca. B) Afloramento de granito em lajedo de cor avermelhada. C) Afloramento do contato entre o granito e o gnaiss. D) Afloramento de granito <i>in situ</i> e como blocos/matacões na região leste da área de estudo.....	19
Figura 4.7: A) Afloramento de granito de granulação fina a média com fenocristais de feldspato potássico. B) Afloramento de granito com foliação de fluxo e xenólito de gnaiss.....	19
Figura 4.8: Afloramento de granito em lajedo com enclaves centimétricos. B) Afloramento de granito com veio de quartzo. C) Afloramento de granito com xenólito de gnaiss de cor cinza escuro. D) Afloramento de granito em contato com corpo pegmatítico.....	20
Figura 4.9: A) Afloramento de pegmatito com direção NE-SW. B) Afloramento de pegmatito em paredão de cerca de 4 metros de altura. C) Afloramento de pegmatito de granulação muito grossa rico em muscovita. C) Afloramento de pegmatito de granulação grossa a muito grossa sobreposto por matacões.....	21
Figura 4.10: A) Afloramento de pegmatito com bolsões metassomáticos, B) Afloramento de pegmatito em paredão com presença de biotita com a textura “espinha de peixe”. C) Bloco de pegmatito de cor cinza rosado e granulação muito grossa. D) Bloco de pegmatito de cor branco acinzentado e porções dioríticas com textura “espinha de peixe”	23
Figura 4.11: A) Amostra de pegmatito com agregado de lepidolita de granulação fina. B) Muscovita de 22 cm encontrada no ponto 25TF_107. C) Amostra de pegmatito com granadas milimétricas. D) Pegmatito com agregados de schorlita centimétricas. E) Pegmatito com cristais de feldspato potássico centimétricos. F) Berilo (água-marinha) centimétrico presente em pegmatito	22
Figura 4.12: A) Cava de pegmatito localizada na região oeste da área com presença de minerais gemológicos como as turmalinas preta e a rosa. B) Escavação em pegmatito rico em cristais de berilo. C) Grande cava de pegmatito contendo biotita com a textura “espinha de peixe”. D) Escavação em afloramento de pegmatito para provável retirada de quartzo com boa pureza, voltado a fabricação de liga Fe-Si, em uma siderúrgica de pequeno porte, localizada no município de Banabuiú (CE).....	24
CAPÍTULO 5: PETROGRAFIA.....	26

Figura 5.1: Fotomicrografia do Muscovita Gnaiss sob luz natural polarizada (LNP) com aumento de 5x. A) Clorita formada como mineral de alteração a partir da biotita. B) Textura granolepidoblástica marcada pelos minerais de muscovita e biotita. C) Turmalina subidiomórfica a xenomórfica. D) Porção da seção com feição granolepidoblástica de grãos inequigranulares.....28

Figura 5.2: Fotomicrografia do hornblenda gnaiss. A) Hornblendas orientadas com intercalações de quartzo, a rocha exibe textura nematoblástica decussada, observada a LNP, com aumento de 5x. B) Hornblenda, quartzo, epidoto e titanita em trama granonematoblástica observadas em algumas porções da seção, observada a LNP, com aumento de 10x. C) Magnetita responsável pelo magnetismo presente na rocha, em luz refletida com aumento de 10x. D) Pequeno prisma de zircão em contato com opacos, visualizado a luz ortoscópica (LO) com aumento de 20x..... 30

Figura 5.3: Fotomicrografia de anfibolito em LNP e LO, com aumento de 5x. Assembleia mineral representativa observada a LNP (A) e LO (B). Feldspato potássico constituindo um poiquiloblásto (crescimento pós-cinemático) observado a LNP (C) e LO (D) 31

Figura 5.4: Fotomicrografia do muscovita xisto. (A) Textura granolepidoblástica, a LNP e aumento de 10x. (B) Xistosidade marcada pela muscovita, observada a LO com aumento de 5x..... 32

Figura 5.5: Fotomicrografia do granito A) Plagioclásio exibindo macla *Carlsbad* e Lei da Albita, ambos sericitizados, a LO e aumento de 5x. B) Epidoto sob LO e aumento de 20x. C) Granada observada a LNP e aumento de 5x. D) Grão de zircão subidiomórfico a LO e aumento de 20x.....34

Figura 5.6: Fotomicrografia da associação mineral do granito com fenocristais de feldspato potássico, a LO e aumento de 5x. A) Mirmequita. B) Feldspato potássico com macla xadrez. C) Feldspato potássico com alteração sericítica. D) Titanita com hábito losangular subidiomórfica..... 35

Figura 5.7: Fotomicrografia do tonalito-trondhjemitito, constituído predominantemente de plagioclásio, observado sob com aumento de 5x, em A com LNP e B com LO. Muscovita alterada, em C com LNP e D com LO..... 36

Figura 5.8: Fotomicrografia de pegmatito predominante na área de estudo, com maior proporção de feldspato potássico, aumento de 5x. A) Muscovita exibindo clivagem boa, sob LNP. B) Textura pertítica, LO. C) Associação mineralógica entre feldspato potássico, plagioclásio, quartzo e granada, sob LO. D) Granada isotrópica em meio aos plagioclásios parcialmente orientados, observação em LO..... 38

Figura 5.9: Fotomicrografia de pegmatito subordinado A) Ocorrência de turmalina com hábito maciço xenomórfico sob LO e aumento de 5x. B) Grãos subidiomórficos de granada em LO e aumento de 5x. C) Feldspato potássico com textura pertítica, sob LNP e aumento de 5x. D) Textura pertítica observado em LO e aumento de 5x..... 39

CAPÍTULO 6: QUÍMICA MINERAL..... 40

Figura 6.1: Fotografia de exemplares de berilo. A) Berilo com hábito prismático de seções hexagonais. B) Berilo com hábito prismático. C) Berilo incluído em feldspato potássico. D) Berilo com hábito colunar e coloração verde, incluído em pegmatito com associação mineral de Pl+Qtz+Ms+Grt..... 41

Figura 6.2: Fotomicrografia de um cristal de berilo, em A LNP, muito fraturado, e em B, LO, a percepção de alteração sericítica.....41

Figura 6.3: Espectro EDS do berilo obtido no MEV.....42

Figura 6.4: Amostra de lepidolita formando seus típicos agregados escamosos..... 43

Figura 6.5: A) Fotomicrografia da lepidolita no MEV, onde é possível observar sua clivagem. B) Espectro da lepidolita.....43

Figura 6.6: Amostra de muscovita com clivagem bem-marcada no eixo cristalográfico C.. 44

Figura 6.7: Espectro EDS da muscovita obtido no MEV..... 45

Figura 6.8: Amostra de turmalina preta (schorlita/dravita) 46

Figura 6.9: Espectro EDS da turmalina preta (schorlita/dravita) obtido no MEV.....46

Figura 6.10 - A) amostra de mão de rocha pegmatítica com elbaíta-rubelita de hábito granular (cor rosa) e plagioclásio (albita) cor branco acinzentado e hábito clevelandítico. B) Visor da pistola PEGASUSLIBS com o resultado da análise na elbaíta-rubelita de 5,144% de Li₂O ao comprimento de onda de aproximadamente 670 nm..... 47

CAPÍTULO 7: LITOGEOQUÍMICA..... 49

Figura 7.1: Diagrama SiO₂ vs TiO₂ (Tarney, 1977), com as projeções do granito no campo ígneo e anfibólito no campo de protólito sedimentar..... 50

Figura 7.2: Diagrama de Middlemost (1994) com projeções dos granitos Banabuiú em sua maioria no campo dos granitos.....	51
Figura 7.3: Diagrama QAP (Streckeisen, 1976), com a maioria dos granitos posicionados como monzo-granitos (granito <i>stricto sensu</i>), e uma amostra situada no campo do quartzo-monzonito.....	52
Figura 7.4: Diagrama de La Roche et al., 1980, com as projeções de anfibolito e granito Banabuiú.....	53
Figura 7.5: Diagrama de Debon & Le Fort (1983; 1988) com as projeções dos anfibolitos.....	54
Figura 7.6: Diagrama de Debon e Le Forte (1983), com as projeções dos granitos Banabuiú.....	55
Figura 7.7: Diagrama de variação A/CNK vs SiO ₂ (Clarke, 1992) para as amostras do granito Banabuiú.....	56
Figura 7.8: Diagrama R1 vs R2 de Batchelor e Bowden (1985), com os granitos plotados.....	57
Figura 7.9: Diagrama de discriminação tectônica Y+Nb vs Rb e Y vs Nb de Pearce et al. (1984), respectivamente, com as projeções dos anfibolitos.....	60
Figura 7.10: Diagrama multielementar para as amostras de anfibolito, normalizadas para valores do manto primitivo (Sun & McDonough, 1989)	61
Figura 7.11: Diagrama multielementar para as amostras de granito, normalizadas para valores do manto primitivo (Sun & McDonough, 1989)	62
CAPÍTULO 9: TECTÔNICA.....	66
Figura 9.1: Estereograma confeccionado a partir das medidas estruturais (foliações) coletadas em campo dos gnaisses e granitos.....	67

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 4: LITOESTRATIGRAFIA.....	14
Tabela 4.1 - Coluna Litoestratigráfica da área de estudo.....	25
CAPÍTULO 6: QUÍMICA MINERAL.....	40
Tabela 6.1 - Teor de Li em porcentagem (LiO ₂) e Li em parte por milhão (ppm).....	48
CAPÍTULO 7: LITOGEOQUÍMICA.....	49
Tabela 7.1 - Resultados das análises de elementos maiores nos granitos e anfibolitos.....	49
Tabela 7.2 - Resultados das análises de elementos traços analisados tanto dos granitos quanto dos anfibolitos (ppm).....	57
Tabela 7.3 - Continuação dos resultados das análises de elementos traços analisados tanto dos granitos quanto dos anfibolitos (ppm)	58
CAPÍTULO 8: METAMORFISMO.....	63
Tabela 8.1 – Valores de Al ^{tot} , Al ^(iv) e Al ^(vi) , por fórmula estrutural de hornblendas calculados na base de 23 O, e pressões metamórficas correspondentes.....	64
Tabela 8.2 – Valores de Ti por fórmula estrutural de hornblendas calculados na base de 23 O, e temperaturas de pico metamórfico correspondentes.....	65

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A – Mapa Geológico

Apêndice B – Tabela de Pontos Mapeados

Apêndice C - Tabela de Análise de Geotermometria e Geobarometria

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CRTI - Centro Regional para o Desenvolvimento Tecnológico e Inovação
DCC - Domínio Ceará Central
DG - Domínio Granjeiro
DMC - Domínio Médio Coreaú
DOJ - Domínio Orós-Jaguaribe
DPAB - Domínio Piancó-Alto Brígida
DPCR - Distrito Pegmatítico de Cristais-Russa
DPSQ - Distrito Pegmatítico de Solonópole-Quixeramobim
EDS - Sistema Dispersivo de Energia (EDS)
FC - Fotometria de Chama
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICP - Plasma Indutivamente Acoplado
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil)
LIBS - Espectroscopia de Emissão Atômica por Plasma Induzido por Laser
LO - Luz ortoscópica
LNP - Luz natural polarizada
LQ - Limite de quantificação
MEV - Microscopia Eletrônica de Varredura
MDE - Modelo Digital de Elevação
ORG - Cadeias Oceânicas
PB - Província Borborema
P – Pressão
Ppm – Parte por milhão
Syn - COLG - Colisão continental
T – Temperatura
TDM – Idade Modelo (*Two-Stage Model*)
UFG - Universidade Federal de Goiás
UNESP - Universidade Estadual Paulista
VAG - Arcos Vulcânicos

WPG - Intraplaca

XRF - Fluorescência de Raio - X

Elementos químicos

Al – Alumínio

Fe – Ferro

Li - Lítio

Si - Silício

Ti - Titânio

Minerais

Ab - Albita

Am - Anfibólio

An - Anortita

Bt - Biotita

Chl - Clorita

FK - Feldspato potássico

Grt - Granada

Hbl - Hornblenda

Ms - Muscovita

Pl – Plagioclásio

Qtz - Quartzo

Tr - Tremolita

Zo - Zoisita

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO.....	01
1.1 Objetivos.....	01
1.2 Localização e vias de acesso.....	02
CAPÍTULO 2: MATERIAIS E MÉTODOS.....	03
2.1 Etapa Pré-Campo.....	03
2.2 Etapa de Campo.....	03
2.3 Etapa Pós-Campo - Atividades Laboratoriais.....	03
2.4 Etapa Pós-Campo - Tratamento e Interpretação de Dados.....	07
CAPÍTULO 3: GEOLOGIA REGIONAL.....	08
3.1 Domínio Ceará Central.....	11
3.2 Terrenos Acrescionários Paleoproterozoicos.....	12
3.3 Granitoides Brasileiros.....	13
3.4 Pegmatitos.....	13
CAPÍTULO 4: LITOESTRATIGRAFIA.....	14
4.1 Fotointerpretação.....	14
4.2 Unidades Litoestratigráficas.....	15
4.2.1 Unidade Acopiara (Ppa)	16
4.2.2 Granito Banabuiú (Np3γ2i).....	18
4.2.3 Pegmatitos (ε0g).....	20
4.3 Relações Estratigráficas.....	24
CAPÍTULO 5: PETROGRAFIA.....	26
5.1 Unidade Acopiara.....	26
5.1.1 Muscovita Gnaiss.....	26
5.1.2 Hornblenda Gnaiss.....	28
5.1.3 Anfibólito.....	30
5.1.4 Muscovita xisto.....	31
5.2 Granito Banabuiú.....	32
5.2.1 Granito.....	32
5.2.2 Granito com fenocristais de feldspato potássico.....	34
5.2.3 Tonalito-Trondhjemito.....	36
5.3 Pegmatitos.....	36
5.3.1 Pegmatito.....	37

5.3.2 Pegmatito com textura “espinha de peixe”	38
CAPÍTULO 6: QUÍMICA MINERAL.....	40
6.1 Minerais portadores de Lítio (Li)	40
6.1.1 Berilo.....	40
6.1.2 Lepidolita.....	42
6.1.3 Muscovita.....	44
6.1.4 Turmalinas.....	45
6.1.4.1 Turmalina preta (Schorlita)	45
6.1.4.2 Turmalina rosa - Elbaíta (Rubelita).....	47
CAPÍTULO 7: LITOGEOQUÍMICA.....	49
7.1 Elementos Maiores.....	49
7.2 Elementos Traços.....	57
CAPÍTULO 8: METAMORFISMO.....	63
8.1 Associações Minerais Metamórficas.....	63
8.2 Termobarometria.....	64
CAPÍTULO 9: TECTÔNICA.....	66
CAPÍTULO 10: EVOLUÇÃO GEOLÓGICA.....	68
CAPÍTULO 11: CONCLUSÃO.....	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72
APÊNDICES	

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

O setor central do Estado do Ceará, abrange a região de Quixeramobim e seu entorno, neste estão expostos corpos pegmatíticos portadores de gemas como o berilo (água marinha) e as turmalinas (schorlita, elbaíta), além de minerais estratégicos portadores de lítio (Li), tais como lepidolita e espodumênio (Almeida *et al.*, 2008; Marques Jr & Nogueira Neto, 1992; Palheta, 2017). O Li tornou-se alvo estratégico no cenário energético mundial devido ao seu uso e aplicação em baterias para carros elétricos e energia sustentável, colocando os pegmatitos do Ceará no centro das discussões tecnológicas e geopolíticas. No entanto, a região ainda apresenta escassez quanto ao mapeamento geológico de detalhe para delimitar esses corpos de interesse.

A área de estudo ocorre situada no Domínio Ceará Central (DCC), porção setentrional da Província Borborema (PB), formada durante a Orogenia Brasileira/Pan Africana a aproximadamente 600 M.a., composta por um extenso complexo gnáissico-migmatítico, intrudido por intenso magmatismo no Neoproterozoico, e posteriormente por intrusões pegmatíticas no Paleozoico.

Neste sentido, o trabalho possui relevância por reunir informações obtidas a partir do mapeamento geológico de detalhe, estudos petrográficos, de química mineral, e litogeoquímica, o qual possibilita maior entendimento geológico e evolutivo da região, além de identificar minerais portadores de lítio.

1.1 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo geral apresentar os resultados referentes a um mapeamento geológico de detalhe, em uma área de aproximadamente 3,3 Km² na escala 1:10.000, realizado na porção sudeste do Município de Quixeramobim-CE, além de cumprir com parte dos requisitos exigidos pela Universidade Federal de Goiás (UFG), para obtenção do título de Bacharel em Geologia das discentes Adriany Castro Bueno e Amanda Martins Gomes.

Mais especificamente visa:

- Confeccionar um mapa geológico de detalhe na escala 1:10.000;
- Caracterizar as unidades litológicas da área e suas relações litoestratigráficas;
- Caracterizar em termos petrográficos e de química mineral as associações presentes nos corpos pegmatíticos e em suas encaixantes (granitos, gnaisses e anfíbolitos);

- Identificar os principais minerais portadores de Li e determinar os respectivos teores;
- Estabelecer a litogeoquímica dos granitos aflorantes na área de estudo; e
- Propor uma evolução geológica para a área de estudo.

1.2 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

A área de estudo está situada na localidade de Condado, em uma área de aproximadamente 3,3 km², na região sudeste do município de Quixeramobim - CE, e cerca de 268 km da capital Fortaleza.

O acesso ao local de estudo é realizado por meio da BR-116, prosseguindo pela BR-122 até o Triângulo de Quixadá, dando seguimento pela BR-122 e, posteriormente, por estradas vicinais na direção sul, como ilustrado no mapa abaixo (Figura 1.1):

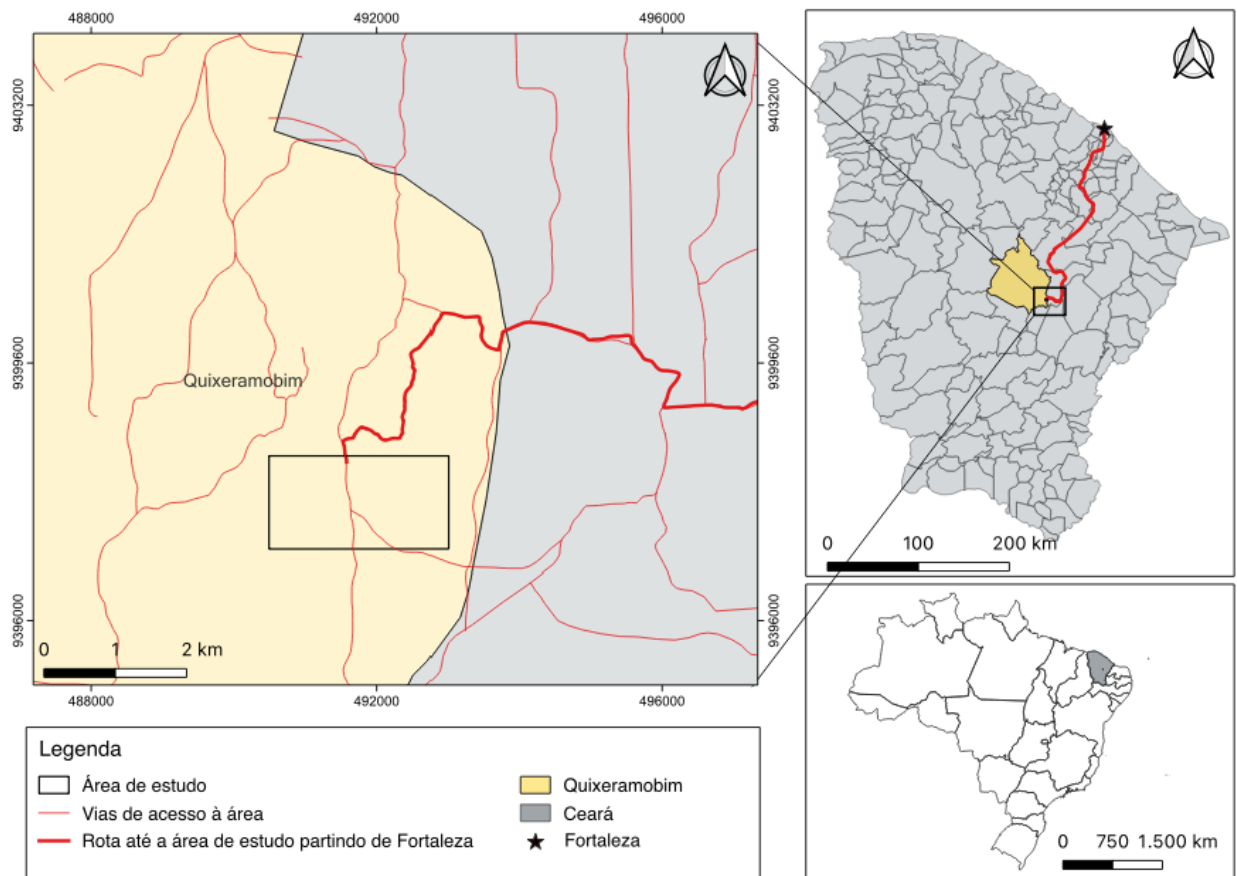


Figura 1.1: Mapa de localização e acesso à área (Fonte: Autoras).

CAPÍTULO 2

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada para realização do presente trabalho envolveu as seguintes etapas:

2.1 Etapa Pré-Campo

Esta é a etapa inicial do projeto que compreende o levantamento bibliográfico, onde ocorre um estudo prévio da geologia regional, estratigrafia, evolução geológica, metamorfismo e estrutural da área de estudo, onde consultamos artigos, monografias, teses de mestrado e doutorado, dentre outros.

Para compor a base cartográfica prévia ao mapeamento geológico da área, foi realizada a confecção de mapas de localização, mapas bases e delimitação das zonas homólogas baseado na metodologia de Soares e Fiori (1976) e Arcanjo (2011), por meio do software QGis, aliado ao software Google Earth para a análise de imagens de satélite. Além disso, para a confecção dos mapas foram utilizados alguns arquivos tipo *shapefile* obtidos no portal do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) como limites municipais, malha viária, rede de drenagem, etc.

2.2 Etapa de Campo

Foram efetuados reconhecimentos geológicos, com vinte e dois dias efetivos de campo, realizado em uma única fase. O mapeamento geológico consistiu na etapa de realização de caminhamentos a partir de perfis transversais, com direção E-W ou W-E, onde ocorreu a aquisição de dados como descrição de afloramentos, rochas/minerais, coordenadas, tomada de medidas estruturais, registros fotográficos e coleta de amostras, estas que foram devidamente acondicionadas em sacos plásticos resistentes e identificadas com número do ponto e nome da rocha e/ou mineral. Em seguida foi confeccionado o mapa geológico prévio da área de estudo a partir do mapa base confeccionado na etapa anterior.

2.3 Etapa Pós-Campo - Atividades Laboratoriais

Esta etapa envolveu a preparação das amostras coletadas em campo para a realização das análises químicas e petrográficas. As amostras coletadas foram preparadas e direcionadas para as análises de petrografia, Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV-EDS), Fluorescência de Raio - X (XRF), Espectroscopia de Emissão Atômica por Plasma Induzido por Laser (Analisador Portátil de Lítio - LIBS) e Fotometria de Chama (FC). As análises de

petrografia, MEV e XRF, foram realizadas no Centro Regional para o Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (CRTI) e a FC na empresa Terra Análises para Agropecuária.

Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV-EDS)

Para as análises no MEV-EDS foram selecionadas 10 amostras, na qual foram embutidas em resina pelo método a quente e a frio. O método de preparação consiste no corte das amostras realizado pelos equipamentos CF IV e Geotone Duo, posteriormente, no processo de embutimento a quente, utiliza-se a prensa embutidora automática (Arotec Pre 30 automático), onde a amostra é posicionada e a resina em pó [(Resitec) é adicionado cerca de 8 mg]. O equipamento chega até 180°C e foi utilizado na preparação de 4 amostras.

No embutido a frio a resina é preparada com a adição de um catalisador, a resina utilizada é Epoxy Resin (1 Kg) e o catalisador Epoxy Catalyst ambos líquidos. A proporção utilizada é de 2 para 1, após a resina preparada a amostra é colocada em um molde e inseridos na prensa embutidora a vácuo (Poly' Vac) que após fechado a vácuo a uma pressão de 70 KPa a resina é adicionada no molde manualmente através de um tubo. Posteriormente irão para a estufa a 50°C para o tempo de cura por 4 horas. O embutimento a frio foi utilizado na preparação de 6 amostras.

Após ambos prontos, embutidos a quente e a frio, é necessário polimento para então serem analisados pelo MEV-EDS. O processo de polimento é realizado pela máquina de polimento (Mecatech 334 automática) e Politriz (Arotec Aropol W) e as lixas foram de 125, 54, 18 e 9 µm em seguida a lixa d'água 3M e por fim, o pano com líquido diamantado de 1µ para dar acabamento.

Além dos embutidos, também foram selecionados alguns pontos específicos nas lâminas delgadas polidas a serem analisados no MEV-EDS com o objetivo de identificar alguns minerais presentes nas lâminas delgadas polidas, e ainda realizar às análises de geotermobarometria por meio dos óxidos dos elementos.

Petrografia

Em relação às análises petrográficas foram selecionadas 20 (vinte) amostras representativas da área de estudo, em seguida foram enviadas ao laboratório de preparação de seções delgadas da Universidade Estadual Paulista (UNESP) em Rio Claro - SP, para a confecção das lâminas delgadas polidas, para então serem descritas utilizando o microscópio Zeiss Primotech equipado com câmera AxioCam 208 color no CRTI, onde realizamos as descrições e capturamos as fotos das lâminas petrográficas.

Fluorescência de Raio – X e Fotometria de Chama

Para as análises de XRF e FC foi realizado a mesma preparação das amostras, que consiste primeiramente no processo de britagem, pelo britador de mandíbulas (marca Brastorno) com o objetivo de atingir uma granulometria < 1 cm, em seguida o passante segue para a moagem através do moinho planetário de bolas (Modelo Pulverisette 5 da marca Fritsch) com o objetivo de atingir a granulometria entre 0,06 e 2 mm. Finalizada a britagem e moagem foi realizado o quarteamento, no qual foi utilizado um quarteador automático tipo carrossel com 12 cubas, com objetivo de homogeneizar e dividir o material, para então obter uma alíquota representativa.

Em relação às análises de XRF é feito uma preparação específica para as análises de óxidos maiores e outra para elementos menores. Para as análises de óxidos maiores foi selecionada uma alíquota de aproximadamente 5,0 gramas e que posteriormente foi pulverizada por uma segunda moagem através do moinho planetário de bolas, em seguida foi levada para a estufa a 105°C por 12 horas. Após a secagem é necessário determinar a perda na ignição (LOI) ou ganho na ignição (GOI) que consiste em calcinar a alíquota a 1000°C por 5 horas, utilizando 1,0 grama de alíquota mais 9,0 gramas de tetraborato de lítio.

Para as análises de elementos menores foi selecionada uma alíquota de 15,0 gramas, que posteriormente foi pulverizada por uma segunda moagem através do moinho planetário de bolas, em seguida foi levada para a estufa a 105°C por 12 horas. Na sequência é realizada a pastilha prensada, que consiste na mistura e homogeneização de 9,0 gramas de alíquota mais 3,0 gramas de aglutinante, na qual foi prensada a uma força de 15 toneladas.

As análises dos óxidos maiores foram realizadas em um espectrômetro WDS Rigaku modelo ZSX Primus IV, equipado com tubo de Rh. A calibração foi realizada utilizando um conjunto de padrões de rocha e minerais certificados. Os valores obtidos são expressos em porcentagem (%) em massa, em base úmida. As análises dos elementos menores foram realizadas em um espectrômetro WDS Bruker modelo S8 Tiger, equipado com tubo de Rh. As concentrações dos elementos menores foram obtidas por pacote de curvas GeoQuantT® Bruker. Os valores obtidos são apresentados em parte por milhão (ppm).

Em relação a FC, a preparação inicial das amostras é a mesma utilizada na análise de XRF. A metodologia aplicada para as análises é dada da seguinte forma: com o auxílio do fotômetro de chama, a amostra é vaporizada e atomizada, promovendo a excitação dos átomos liberados; após serem excitados, os átomos emitem energia na forma de luz no comprimento de

onda característicos de cada elemento a medida que o elétron retorna ao estado fundamental; o comprimento de onda é isolado e detectado no espectrômetro, o fotômetro de chama determina a concentração do elemento de interesse a partir de padrões de calibração conhecidos, sendo a intensidade da luz emitida, proporcional à sua concentração (Fernández-Sánchez *et al.*, 2019). A técnica utilizada tem por objetivo quantificar em porcentagem (%) o LiO₂.

Analizador Portátil PEGASUSLIBS

Para as análises com o LIBS as amostras não precisam passar por nenhuma preparação inicial. Foi utilizado o analisador portátil PEGASUSLIBS (modelo P-3Li) que apresenta configuração para detecção de lítio em rochas/minerais utilizando o gás argônio que tem a função de aumentar a intensidade da emissão de plasma, melhorando a sensibilidade para elementos de baixo número atômico, como o lítio (Figura 2). O mecanismo de análise funciona da seguinte forma: (i) a pistola é posicionada em contato com uma superfície lisa do mineral a ser analisado; (ii) um laser é emitido contra a amostra e sua energia faz com que uma pequena quantidade seja ionizada formando um plasma de alta temperatura; (iii) à medida que o plasma esfria, ele emite um espectro que representa os elementos presentes e sua luz é analisada em um espectrômetro interno do equipamento, exibindo o teor do elemento (Buckley, 2014; Qualitest, 2025).



Figura 2.1: Analisador portátil PEGASUSLIBS (modelo P-3Li) com cilindro de gás argônio, utilizado para análise do teor de lítio.

2.4 Etapa Pós-Campo - Tratamento e Interpretação de Dados

Nesta etapa todas as descrições, medidas estruturais e coordenadas obtidas no campo foram transferidas para tabelas no software Excel, e os pontos foram plotados no software Google Earth e transferidos para o software QGis para a confecção da cartografia digital.

Após as análises de XRF e FC, os dados foram organizados em uma planilha do Google e em seguida tratados para a confecção dos diagramas por meio do software GCDKit. As imagens geradas foram posteriormente editadas pelo software Inkscape, onde foi realizada a elaboração de todos os diagramas apresentados no Capítulo Litogeoquímica, deste trabalho.

O estereograma com as medidas estruturais coletadas em campo foi confeccionado utilizando o software Stereonet e em seguida foram plotados os polos dos planos, a imagem do estereograma foi editada no software CorelDraw e foi criada a legenda das estruturas (plano e polo do plano).

Após a compilação de todos os dados e análises foi realizado o relatório final com a interpretação dos resultados obtidos, bem como o mapa geológico e o perfil geológico da área.

CAPÍTULO 3

3. GEOLOGIA REGIONAL

A região de Quixeramobim está inserida no contexto geotectônico da Província Borborema (PB) (Figura 3.1), a área de estudo, ao seu turno, situa-se no Domínio Ceará Central (DCC), o qual corresponde a um dos domínios tectonometamórficos constituinte da PB em sua porção setentrional.



Figura 3.1: Províncias estruturais do Brasil (Dias, 2022 modificado de IBGE, 2019).

A PB é caracterizada como um grande sistema orogênico de aproximadamente 450.000 km² localizado na região nordeste do Brasil. Foi formada como resultado da convergência e aglutinação de terrenos dos crátons Oeste Africano, Amazônico e São Francisco-Congo-Kasai, durante a formação do supercontinente Gondwana há aproximadamente 600 M.a., culminando na geração de grandes zonas de cisalhamento como a de Senador Pompeu e os lineamentos Transbrasiliano, Patos e Pernambuco (Almeida *et al.*, 1977; Van Schmus *et al.*, 1997; Amaral & Santos, 2008; Hasui *et al.*, 2012; Santos *et al.*, 2014) (Figura 3.2).

A PB é limitada a oeste pela Bacia do Parnaíba, ao sul pelo Cráton São Francisco, a leste pela Província da Margem Continental Leste e pela Equatorial a norte, no âmbito da qual reúne uma grande variedade de litotipos com idades que vão desde o Arqueano ao Paleozoico (Marques Jr & Nogueira Neto, 1992; Hasui *et al.*, 2012; Santos *et al.*, 2014).

A Província Borborema é composta por três Sub-Províncias denominadas por: Zona Transversal, Norte ou Setentrional e Sul ou Meridional (Hasui *et al.*, 2012; Santos *et al.*, 2014). No setor Setentrional, a PB ocorre limitada por megazonas de cisalhamento que dividem os terrenos pré-cambrianos em domínios estruturais com evolução tectônica e metamórfica distinta. Desta forma, podem ser divididos cinco domínios: Domínio Médio Coreaú (DMC); Domínio Ceará Central (DCC); Domínio Orós-Jaguaribe (DOJ); Domínio Granjeiro (DG) e Domínio Piancó-Alto Brígida (DPAB) (Arthaud *et al.*, 1998) (Figura 3.3).

Os domínios estruturais da PB são compostos primordialmente por rochas de idades paleoproterozoicas com a presença de pequenos fragmentos crustais arqueanos, sendo formados por um embasamento de rochas migmatíticas e gnáissicas e por coberturas metassedimentares (Dantas *et al.*, 1998; Jardim de Sá & Barbalho, 1991; Van Schmus *et al.*, 2003). Como resultado da colisão Brasileira o embasamento foi afetado por deformação e metamorfismo regional de intensidade variável e intrudido por abundantes volumes de magmas graníticos (Almeida *et al.*, 1981; Ferreira *et al.*, 1998).

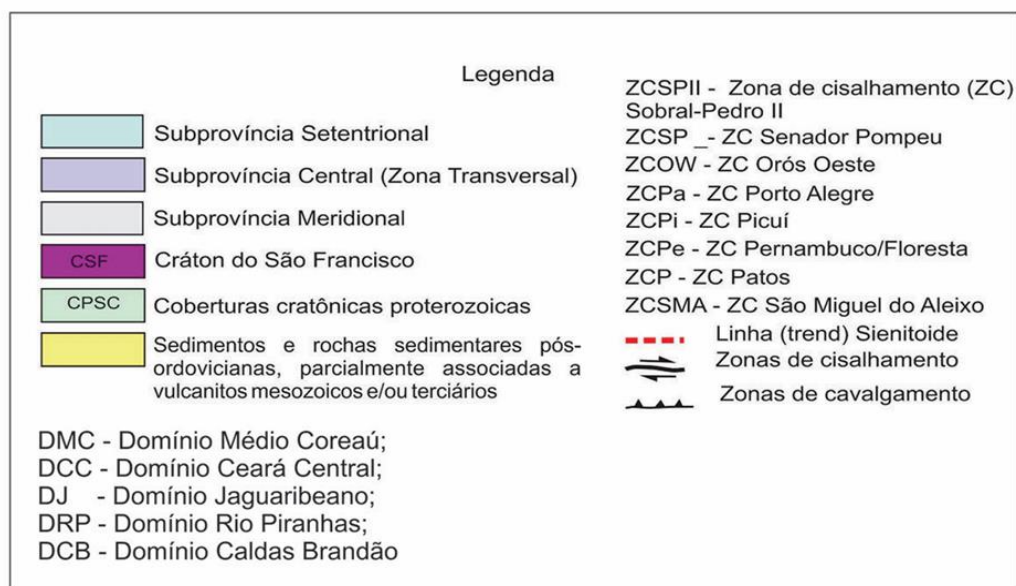
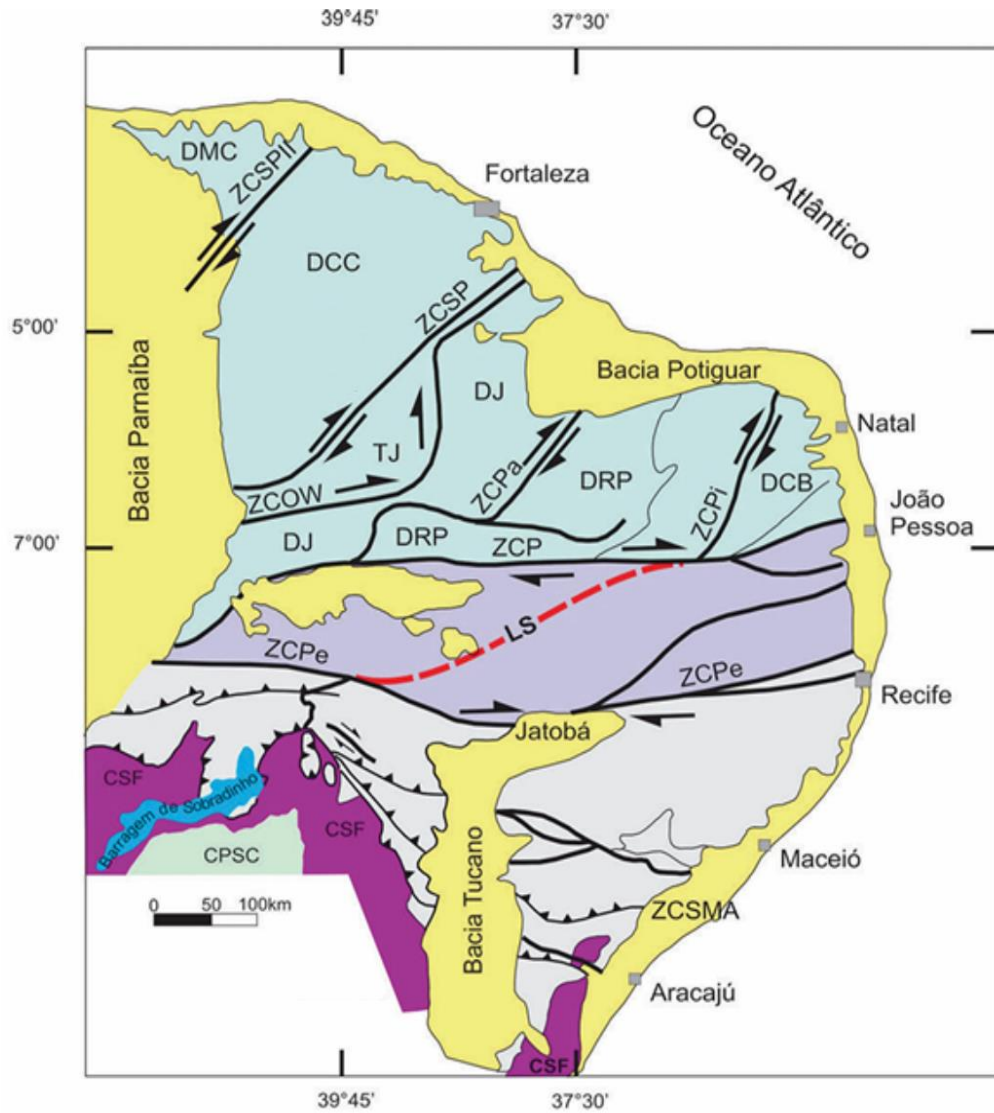


Figura 3.2: Mapa geológico regional da Folha Independência no Domínio Ceará Central, Subprovincia Setentrional da Província Borborema (modificado de CAVALCANTE, 1999).

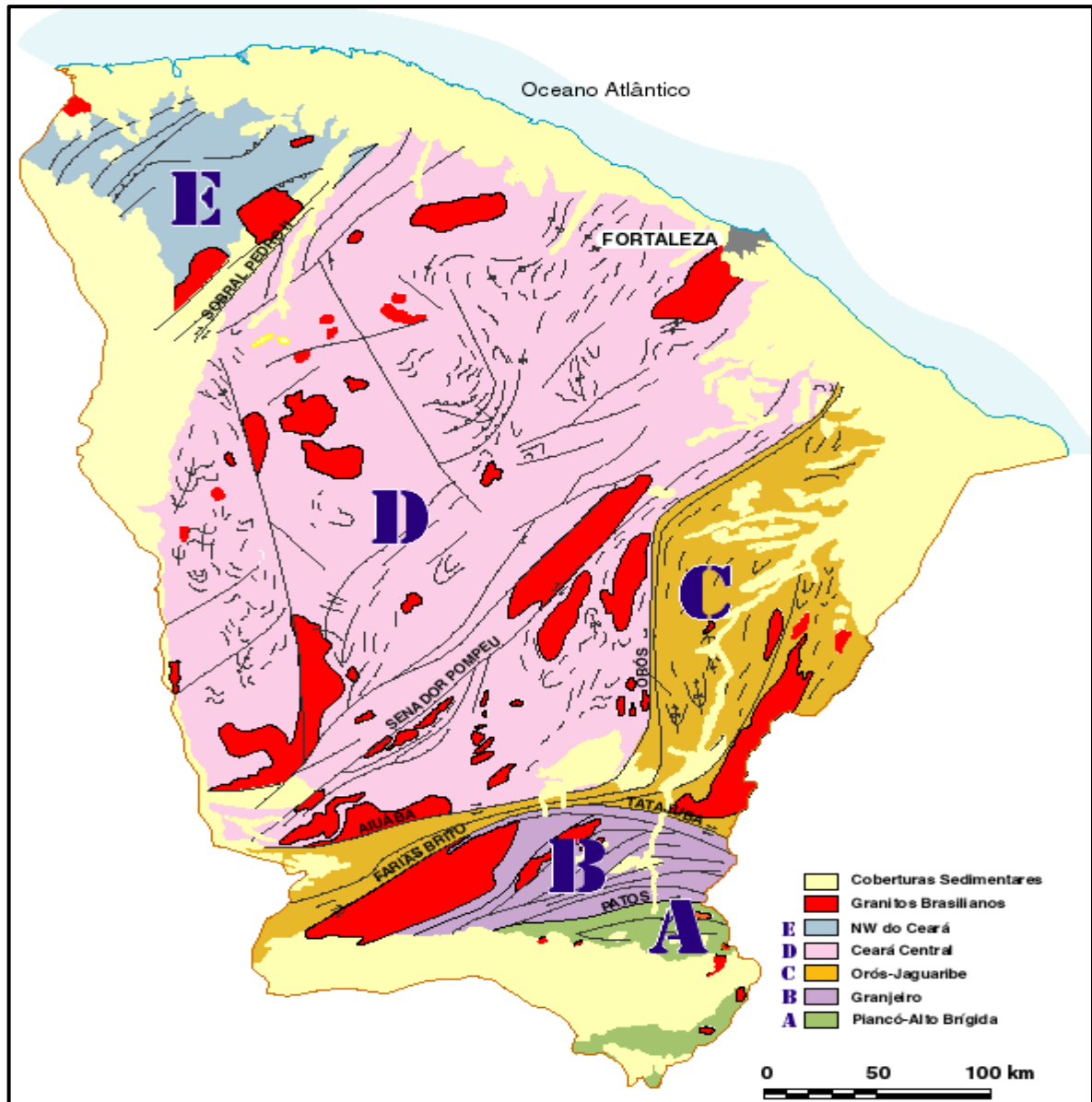


Figura 3.3: Distribuição dos principais Domínios Geotectônicos no Estado do Ceará (extraído de Arthaud *et al.*, 1998).

3.1 Domínio Ceará Central

O DCC compreende cerca de 80.000 Km², limitado pela Zona de Cisalhamento Sobral / Pedro II a noroeste, também designada por Lineamento Transbrasiliiano, a oeste pelos sedimentos da Bacia do Parnaíba, a norte por sedimentos do grupo Barreiras e, a sudeste, pela Zona de Cisalhamento Orós, conforme Parente & Arthaud (1995). Por outro lado, Fetter (2000), considera a Zona de Cisalhamento Senador Pompeu como limite sudeste do referido domínio, excluindo do arcabouço regional o DOJ.

O DCC, dentro do qual a área de estudo está inserida, é dividido em quatro unidades geotectônicas: (i) **Embasamento Arqueano**, composto por rochas arqueanas com cerca de 2,85 a 2,64 G.a. e por rochas paleoproterozoicas e granitóides de 2,25 a 2,15 G.a., formado pelo Complexo Cruzeta que é subdividido em três unidades: Mombaça, Pedra Branca e Troia; (ii) **Terrenos Acrescionários do Paleoproterozoicos** compostos por uma série de paragnaisses e ortognaisses, subdivididos em terrenos do tipo TTG e os terrenos gnaisse migmatíticos; (iii) **Terreno Santa Quitéria**, representado por migmatitos e plútons graníticos de composição granítica e diorítica, com idade neoproterozoica, cujas datação de U-Pb em zircão apresentam idade de 622 M.a. e idade modelo TDM variando entre 0,9 a 1,16 G.a.; e (iv) **Coberturas Neoproterozoicas** (Arthaud, 2007; Fetter 1999; Hasui *et al.*, 2012).

3.2 Terrenos Acrescionários do Paleoproterozoicos

Os Terrenos Acrescionários do Paleoproterozoicos foram formados durante a Orogênese Transamazônica a partir de ambientes do tipo arco de ilha, resultando em rochas com mergulho de baixo ângulo de direção E-SE. Afloram na borda oriental da Zona de Cisalhamento Sobral-Pedro II, e entre o Terreno Santa Quitéria e a Zona de Cisalhamento Senador Pompeu, também podem ser encontrados na borda oriental do Lineamento Transbrasiliiano ou zona de cisalhamento Sobral-Pedro II. São agrupados em dois tipos: terrenos tipo TTG (tonalito-trondhjemito-granodiorito) e terrenos gnaisse migmatíticos (Fetter, 1999; Arthaud, 2007).

Os terrenos TTG são formados predominantemente por rochas metaplutônicas de composição tonalítica a granodiorítica, que ocorrem associadas a sequências supracrustais constituídas de rochas metavulcânicas básicas, com ou sem granada, e uma variedade de rochas metassedimentares, na qual podem ser incluídas formações ferríferas e manganésíferas bandadas (Fetter, 1999). A través do método U-Pb em cristais de zircão obteve idades entre 2,1 a 2,13 G.a. para os ortognaisses tonalíticos desta unidade, e para as rochas supracrustais foi obtida idade em torno de 2,23 G.a. pelo método Sm-Nd em rocha total (Martins *et al.*, 2009).

Os terrenos gnaisse-migmatíticos são formados por uma associação complexa de rochas metaplutônicas, com predominância de rochas de composição granítica. Comumente podem ser observados metatonalitos, metagranodioritos e rochas supracrustais diversas (metapelitos, quartzitos, rochas calcissilicáticas, metavulcânicas básicas). Baseado nas idades TDM entre 2,4 e 2,7 G.a. obtidas nos domínios vizinhos, há indícios de que estes terrenos podem ser produtos de retrabalhamento de crosta arqueana (Fetter, 1999; Forgiarini *et al.*, 2021).

3.3 Granitoides Brasileiros

No decorrer da orogênese Brasileira/Pan-Africana o DCC aportou uma quantidade significativa granitoides, discriminados por Arthaud (2005) em: I – Pré – colisionais, representados pelos granitos do arco magmático de Santa Quitéria; II – Sin – colisional tangenciais, correspondendo a granitos de duas micas do tipo S, gerados durante 1 pico metamórfico (batólito de Senador Pompeu e Banabuiú); III – Sin – colisionais direcionais, formados durante a fase transcorrente com extrusão lateral (batólito de Quixeramobim e Quixadá); e IV – Pós – colisionais, associados ao colapso da cadeia brasileira (Complexos anelares de Tauá e Taperuaba, enxames de diques ácidos a intermediários de Tauá e Independência e stocks graníticos da Serra da Barriga, São Paulo, Reriutaba, Mucambo e Meruoca).

3.4 Pegmatitos

A Província Pegmatítica do Ceará pode ser dividida em dois distritos, o Distrito Pegmatítico de Cristais-Russas (DPCR) e o Distrito Pegmatítico de Solonópole-Quixeramobim (DPSQ) (Souza, 1985), neste sentido, os pegmatitos estudados são aflorantes no âmbito do DPSQ.

O DPSQ é constituído por 5 (cinco) campos pegmatíticos, sendo eles: Nova Floresta, NE de Solonópole, W e NW de Solonópole, Berilândia e Rinaré. A área de estudo ocorre situada entre os campos pegmatíticos de Rinaré e Berilândia. O Campo de Rinaré compreende pegmatitos mineralizados em berilos e turmalinas gamológicas (Souza, 1985; Marques Jr & Nogueira Neto, 1992; Vidal & Nogueira Neto, 2005), com idade de 530-500 M.a., datadas por K-Ar em muscovitas (Lima, 2008). Os corpos pegmatíticos apresentam direção variando entre N5°E-N15°E, o que sugere um controle estrutural a partir das zonas de cisalhamento Senador Pompeu e Orós (Marques Jr et al., 1988; Marques Jr & Nogueira Neto, 1992). O Campo de Berilândia é limitado tectonicamente pelas zonas de cisalhamento de Senador Pompeu e Quixeramobim, além da influência da zona de cisalhamento Orós. Apresenta pegmatitos de forma tabular, concordante com a encaixante, com direção N20E e mergulho verticalizado, é classificado como heterogêneo complexo, com sistema de fraturas pouco desenvolvido paralelo à xistosidade das rochas encaixantes, composto por berilo e turmalinas como principais minerais de interesse (Souza, 1985; Marques Jr & Nogueira Neto, 1992).

CAPÍTULO 4

4. LITOESTRATIGRAFIA

Neste capítulo, são abordadas as unidades litoestratigráficas reconhecidas e mapeadas em campo, corroboradas por estudos de fotointerpretação.

4.1 Fotointerpretação

A partir da análise de imagens de satélite e da interpretação de lineamentos regionais, baseada na confecção de modelos de relevo sombreado nos azimutes de 60°, 225° e 300°, com ângulos de elevação de 30°, 45° e 35°, respectivamente, com utilização de Modelo Digital de Elevação (MDE) obtido no Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (INPE), foram delimitadas duas zonas homólogas, distintas (Figura 4.1), descritas conforme a metodologia proposta por Soares e Fiori (1976) e Arcanjo (2011).

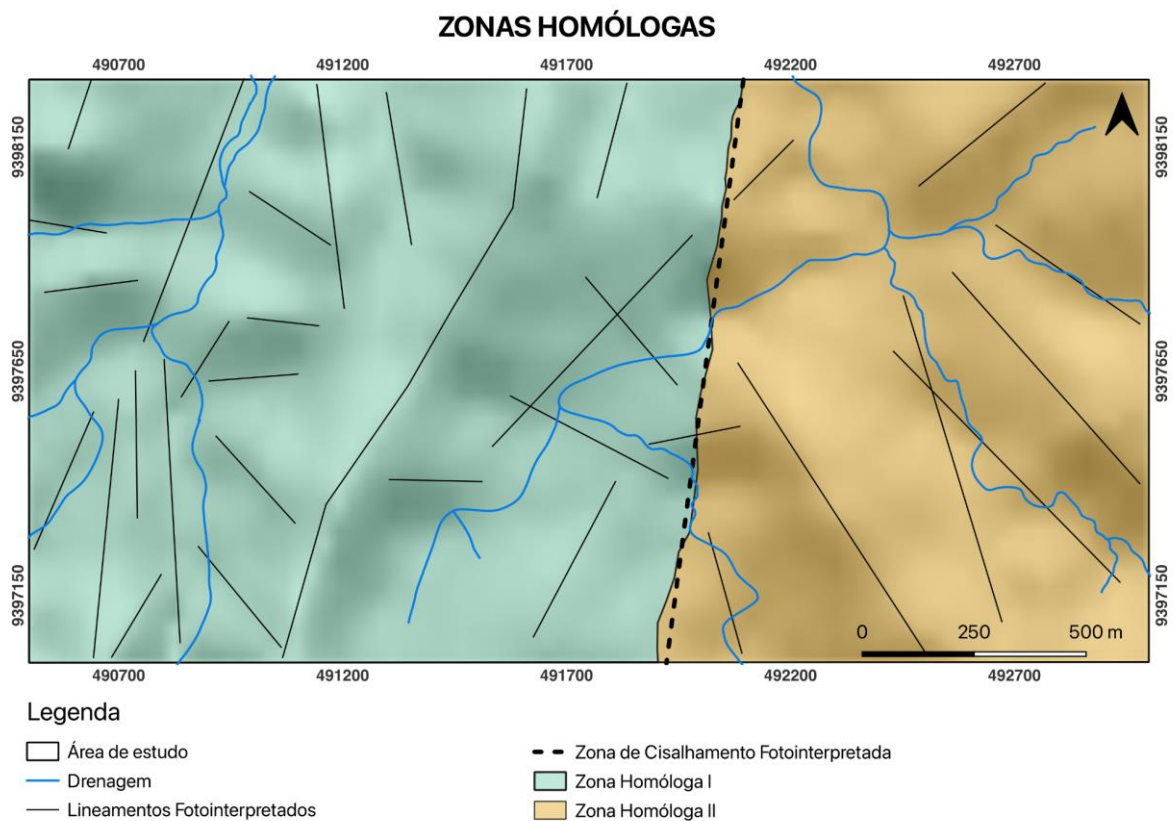


Figura 4.1: Mapa de zonas homólogas fotointerpretadas presentes na área de estudo (Fonte: Autoras).

Zona Homóloga I: apresenta lineamentos estruturais com direção preferencial para NW-SE, mas é possível observar parte dos lineamentos em direção NE-SW, possui relevo com rugosidade moderada a alta, densidade de textura baixa, simétrico, com encostas que variam de côncava a côncava-convexa. Em relação às drenagens apresenta densidade baixa, sinuosidade

mista, angularidade alta, tropia unidirecional, assimetria fraca e forma em cotovelo. Em relação às observações na imagem de satélite (Figura 4.2), a zona homóloga I apresenta solo de cor marrom claro e com maior densidade de vegetação.

Zona Homóloga II: composto por extensos lineamentos estruturais com direção NW-SE e na porção sul da zona homóloga ocorrem lineamentos de direção NE-SW, apresenta relevo com rugosidade moderada, densidade de textura baixa, simétrico, com encostas que variam de côncava-retilíneo-convexa a côncava. As drenagens presentes na zona homóloga II apresentam densidade baixa, sinuosidade mista, angularidade alta, tropia tri direcional, assimetria fraca e forma em arco. Em relação a imagem de satélite (Figura 4.2), apresenta solo de cor branco acinzentado, baixa densidade de vegetação, sendo uma vegetação mais rasteira à medida que se afasta da zona homóloga I.

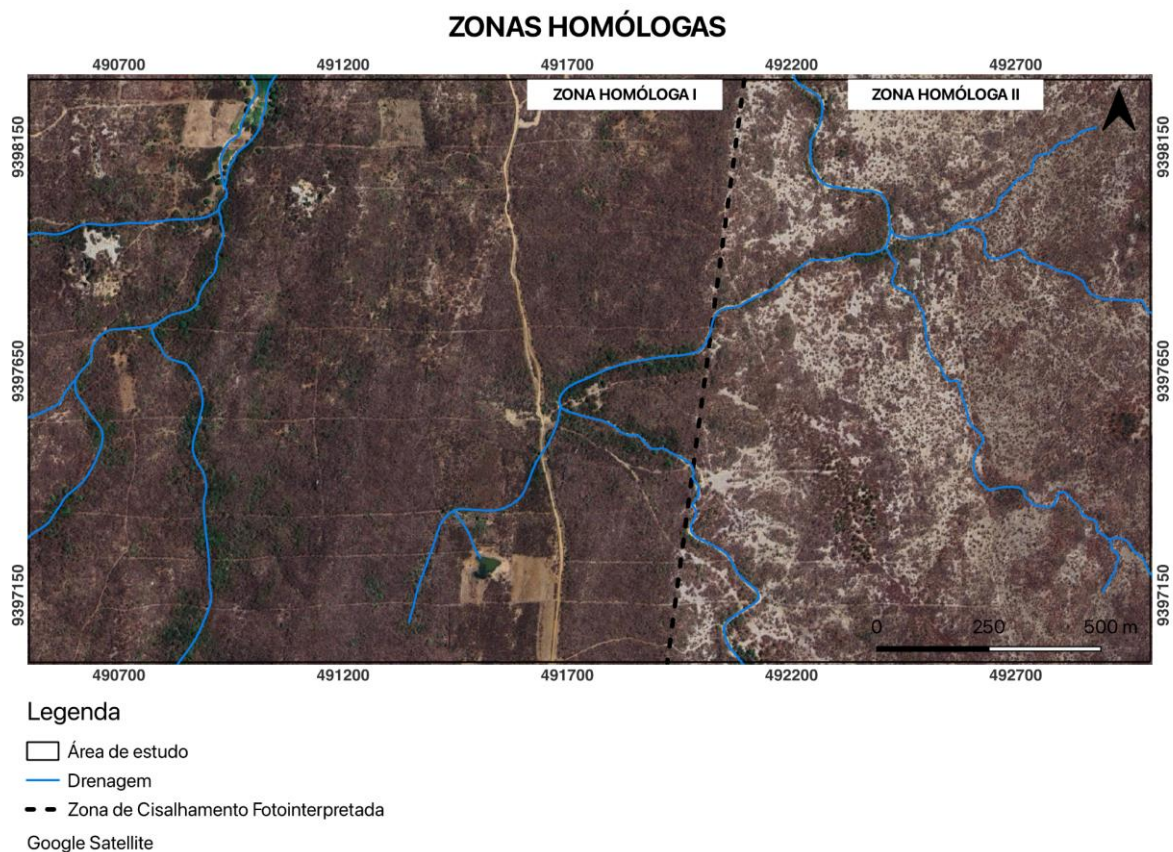


Figura 4.2: Imagem de satélite da área de estudo com a delimitação das zonas homólogas apresentando características distintas em relação ao solo e à vegetação (Fonte: Autoras).

4.2 Unidades Litoestratigráficas

Serão apresentadas as descrições dos litotipos mapeados considerando a sequência estratigráfica de formação das unidades, em conformidade com mapeamento regional da Folha

Quixeramobim - SB.24-V-D-III, (Almeida et al., 2008). Em campo foram reconhecidas três unidades, as quais vêm descritas a seguir, da base para o topo.

4.2.1 Unidade Acopiara (Ppa)

A Unidade Acopiara é constituída por gnaisses, afloram na região oeste da área com direção preferencial NE-SW e mergulho variando entre 43° a 90° para W, recobre cerca de 25% da área. Por vezes, exibem intercalações de anfibolitos e xistos, e se apresentam como lajedos e em blocos rolados/matacões (Figura 4.3).

As rochas gnáissicas possuem coloração variando de cinza claro a cinza escuro, com granulação fina a média, em alguns pontos exibem granulação grossa. Possui foliação bem-marcada, com bandamento de espessura milimétrica a centimétrica, comumente compostos por quartzo, plagioclásio, feldspato potássico e muscovita, nas faixas leucocráticas, e biotita mais anfibólio nas bandas máficas, nestas podem ocorrer granada em menor proporção (Figura 4.3).



Figura 4.3: Afloramentos de gnaisse presentes na área de estudo. A) afloramento de gnaisse cinza claro em lajedado apresentando transposição e interferência de dobras. B) Afloramento de gnaisse cinza claro em piso com bandamento gnáissico C) Afloramento de gnaisse em drenagem seca. D) Afloramento de gnaisse cinza escuro de granulação fina com alto ângulo de mergulho.

Em alguns afloramentos foram identificados cristais de quartzo estirados os quais podem apresentar formato de sigmoides. Por vezes dobras isoclinais são reconhecidas e nestas observa-se transposição dos flancos. Os gnaisses frequentemente apresentam alojamento de corpos de pegmatito e feições de migmatização são comuns (Figura 4.4).

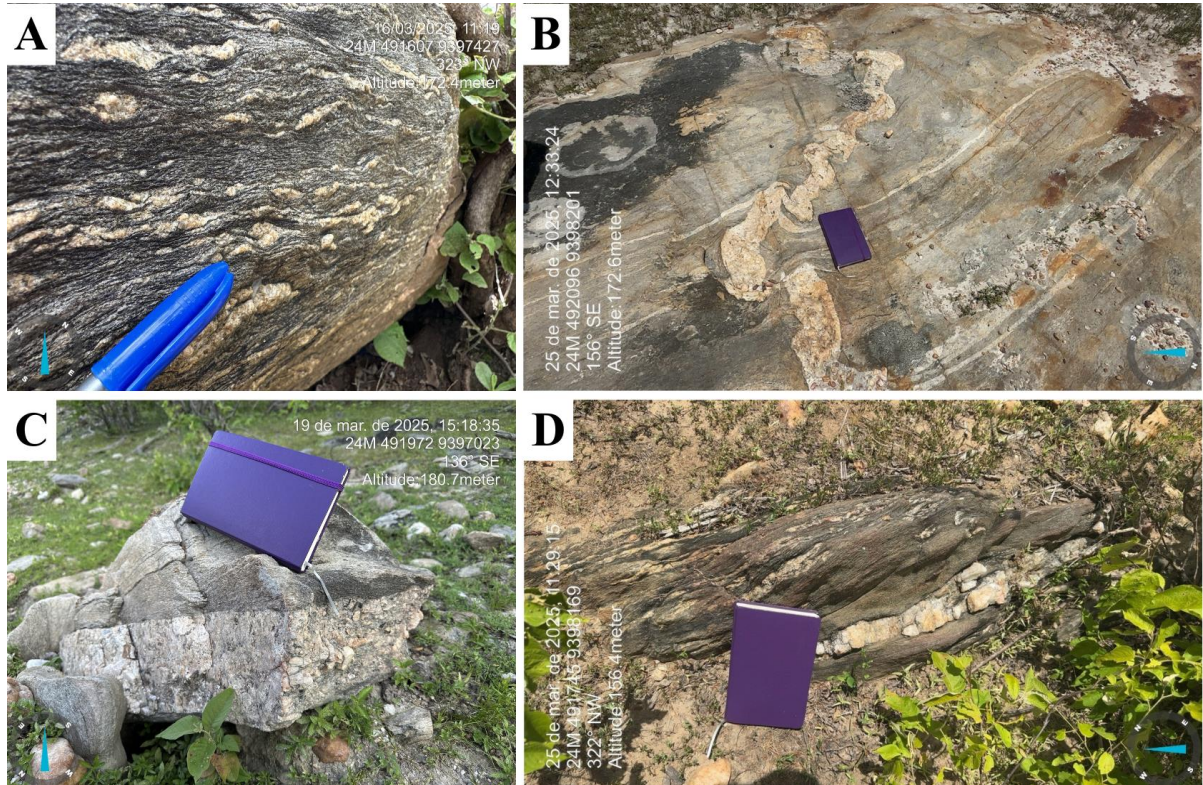


Figura 4.4: A) Afloramento de gnaiss com cristais de quartzo estirados e alguns em formato de sigma. B) Afloramento em lajedo de gnaiss migmatizado. C) Bloco de gnaiss com intrusão de pegmatito. D) Afloramento de gnaiss com veio de quartzo.

Podem ser reconhecidas dobras bem-marcadas em alguns gnaisses, e diversos afloramentos com feições típicas de zonas de cisalhamento como *pods* de deformação (Figura 4.5B e 4.5D).

Os anfibolitos apresentam coloração cinza escuro, granulação fina a média, composto por anfibólio e plagioclásio, apresentam bandas de coloração branca com granulação média a grossa (Figura 4.5A). Os xistos ocorrem com cor cinza, possuem a seguinte associação mineral: muscovita, biotita, feldspato potássico, plagioclásio e quartzo (Figura 4.5C). Ambos, anfibolitos e xistos apresentam a mesma orientação que os gnaisses, visto que ocorrem intercalados conforme salientado anteriormente.

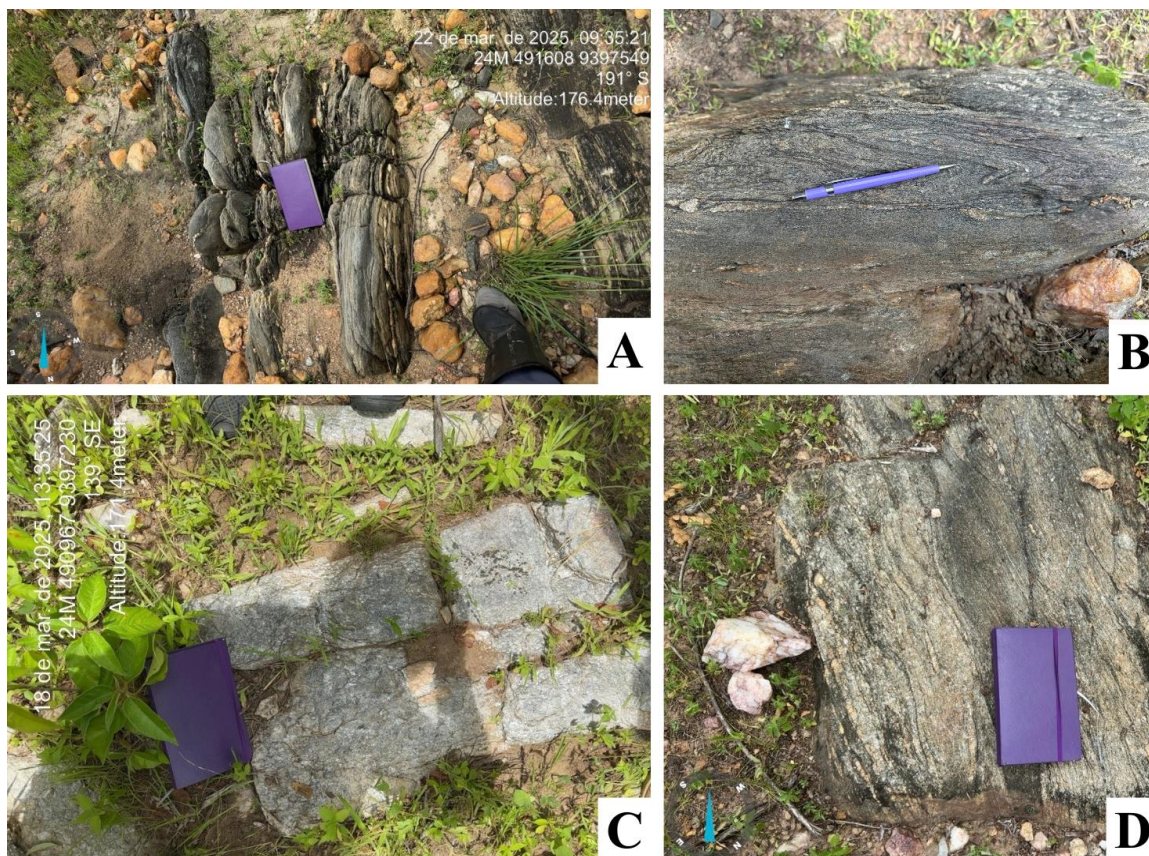


Figura 4.5: Afloramento em lajedo de gnaiss intercalado com anfibolito. B) Afloramento de gnaiss com dobra isoclinal. C) Afloramento de xisto de cor cinza claro. D) Afloramento de gnaiss com *pods* de deformação.

4.2.2 Granito Banabuiú (Np3γ2i)

Os granitos estão localizados na região leste da área e correspondem a cerca de 35% da área mapeada, ocorrem em forma de extensos lajedos e como blocos rolados/matacões (Figura 4.6). Apresentam cor cinza claro/rosado a cinza avermelhado, de granulação fina a média, por vezes grosseiras em alguns pontos. São compostos em termos minerais por: quartzo, muscovita, feldspato potássico, biotita e plagioclásio. Fácies de composição diorítica ocorrem associados aos diatexitos, caracterizadas por porções mais ricas em plagioclásio.

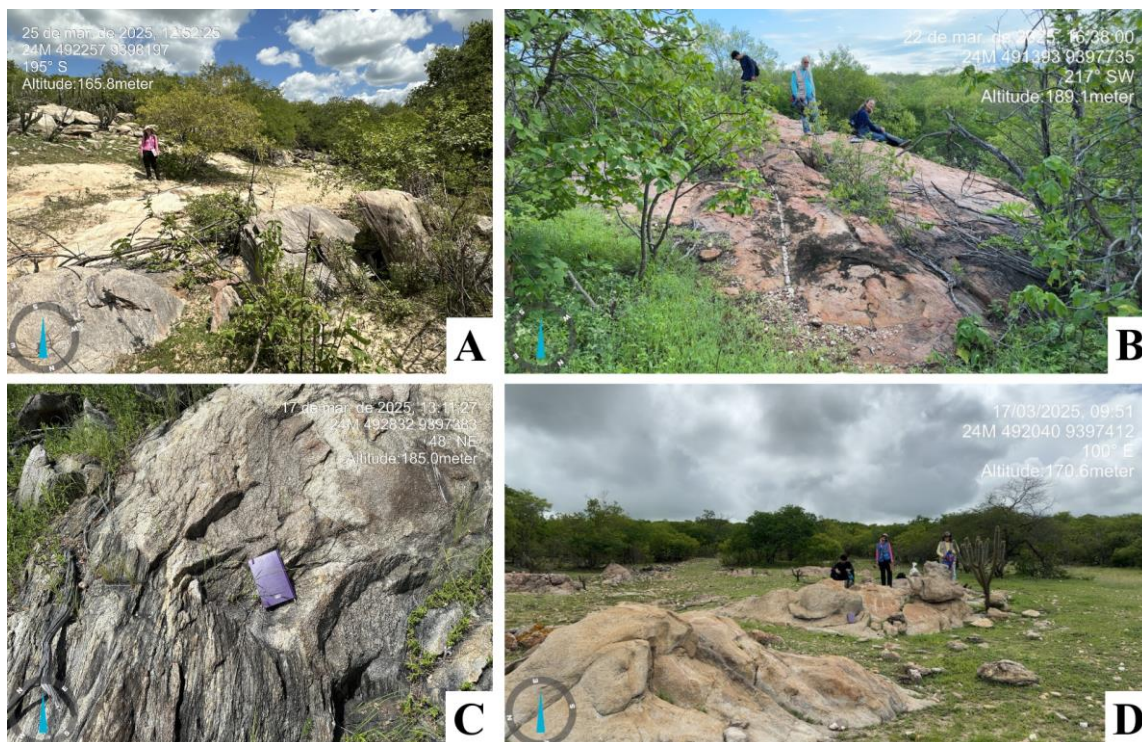


Figura 4.6: Afloramento de granito *in situ* e em blocos/matacões em drenagem seca. B) Afloramento de granito em lajedo de cor avermelhada. C) Afloramento do contato entre o granito e o gnaiss. D) Afloramento de granito *in situ* e como blocos/matacões na região leste da área de estudo.

Ocorre pontualmente um afloramento granítico de granulação fina a média com fenocristais de feldspato potássico orientados segundo direção NE, compostos por: quartzo, feldspato potássico, biotita e muscovita (Figura 4.7A). Uma foliação de fluxo magmático, em alguns corpos graníticos, pode ser observada e apresenta direção NE (Figura 4.7B).

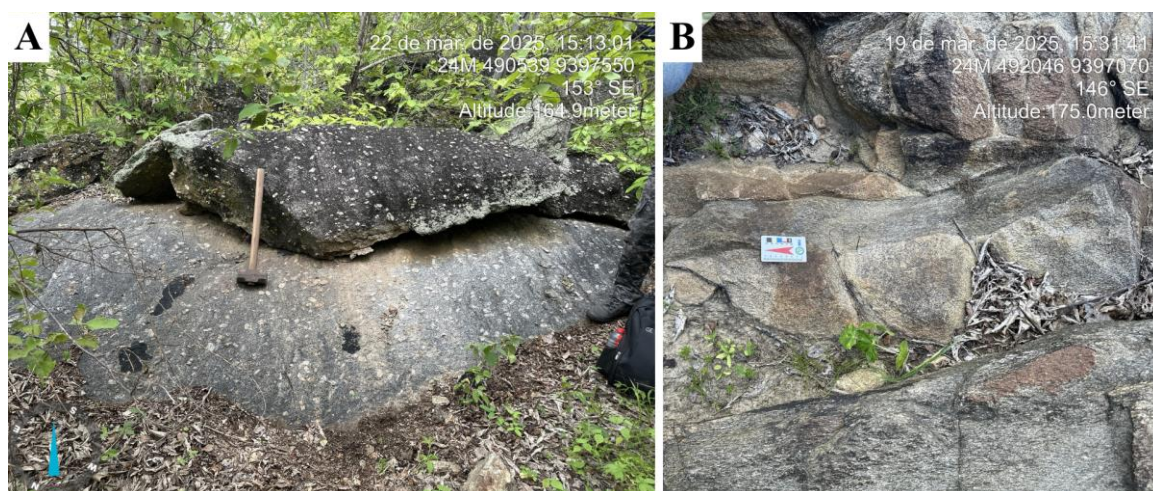


Figura 4.7: A) Afloramento de granito de granulação fina a média com fenocristais de feldspato potássico. B) Afloramento de granito com foliação de fluxo e xenólito de gnaiss.

Os granitos podem ser encontrados associados a diatexitos de cor branco acinzentado e granulação fina a média, em gnaisses, aqui interpretados como produto de anatexia (Figura 4.8A). Estão presentes veios milimétricos a centimétricos de quartzo (Figura 4.8B) e xenólitos ou mega xenólitos de gnaiss provavelmente carregados durante a ascensão do granito (Figura 4.8C), além de intrusões e veios de pegmatitos (Figura 4.8D).

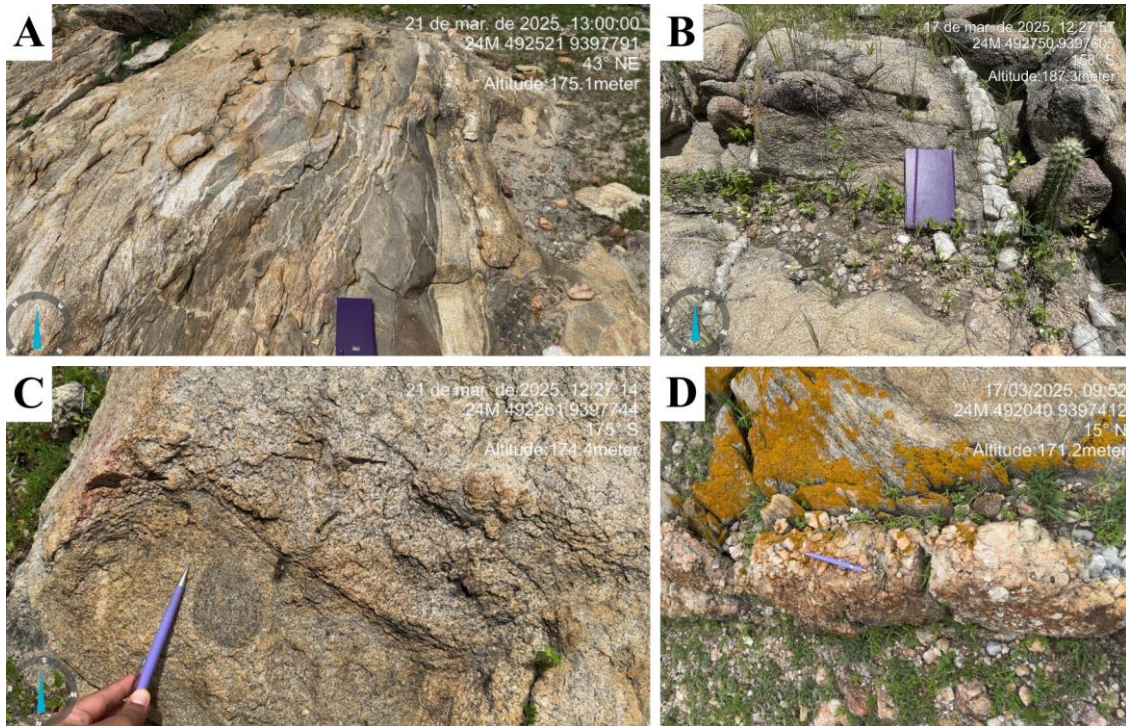


Figura 4.8: Afloramento de granito em lajedo com enclaves centimétricos. B) Afloramento de granito com veio de quartzo. C) Afloramento de granito com xenólito de gnaiss de cor cinza escuro. D) Afloramento de granito em contato com corpo pegmatítico.

4.2.3 Pegmatitos (ε0g)

Os pegmatitos ocorrem preferencialmente na região oeste, correspondendo a aproximadamente 40% da área, no entanto, também são observadas muitas intrusões pegmatíticas em toda a área de estudo. Ocorrem tanto em forma de extensos lajedos e paredes rochosos com direção preferencialmente N-S e NE-SW, e em grandes blocos/matações (Figura 4.9).

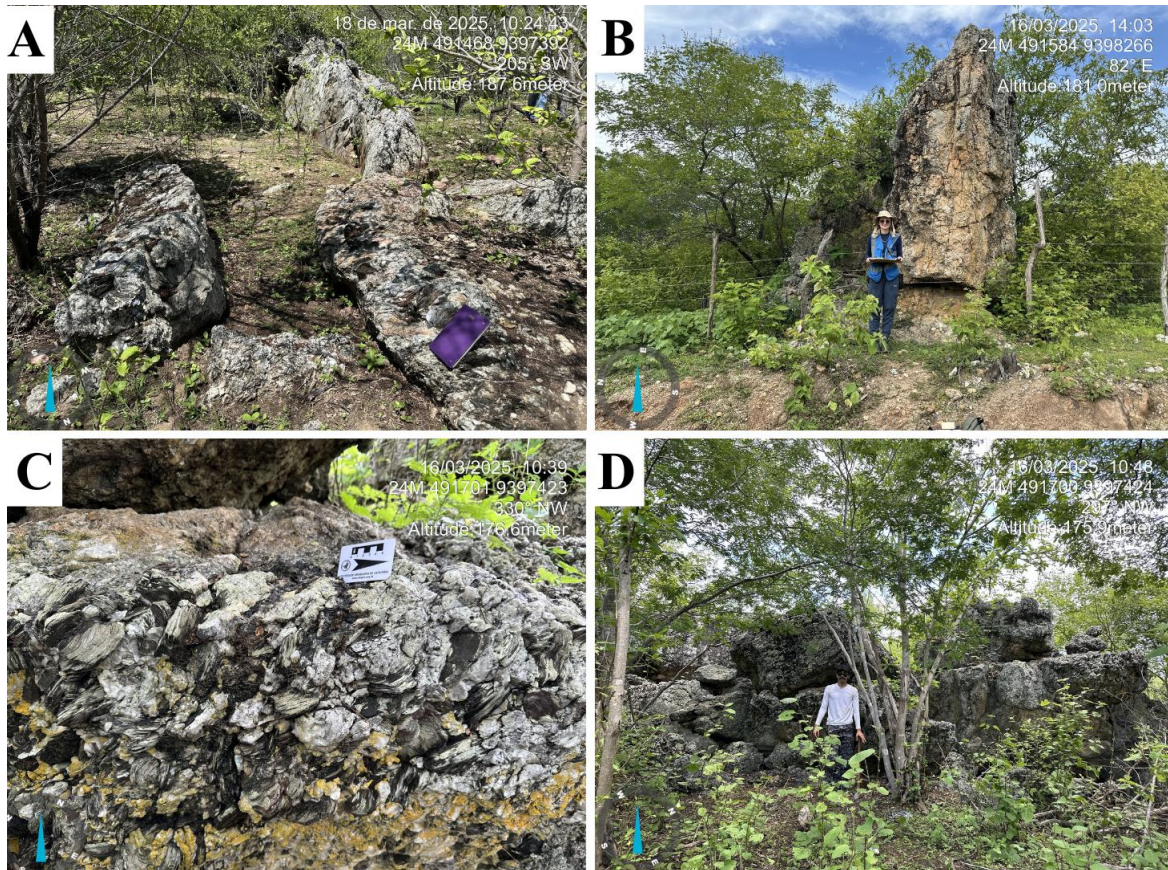


Figura 4.9: A) Afloramento de pegmatito com direção NE-SW. B) Afloramento de pegmatito em paredão de cerca de 4 metros de altura. C) Afloramento de pegmatito de granulação muito grossa rico em muscovita. C) Afloramento de pegmatito de granulação grossa a muito grossa sobreposto por matacões.

Foram registrados no decorrer do mapeamento dois conjuntos de corpos pegmatíticos distintos: o primeiro, presente na maior parte da área, exibe uma proporção modal significativa de feldspatos potássicos, o que aufer aos mesmos uma cor rósea marcante. Nestes, alguns corpos foram observados restos de “bolsões” metassomáticos (Figura 4.10A), provavelmente explorados para obtenção de gemas berilo (água marinha), turmalina rosa (elbaíta-rubelita) e melância; o segundo, concentrado na região noroeste da área, apresenta maior concentração de albita e biotita, em porções de composição diorítica, as quais exibem textura “espinha de peixe” (Figura 4.10B e 4.10D).

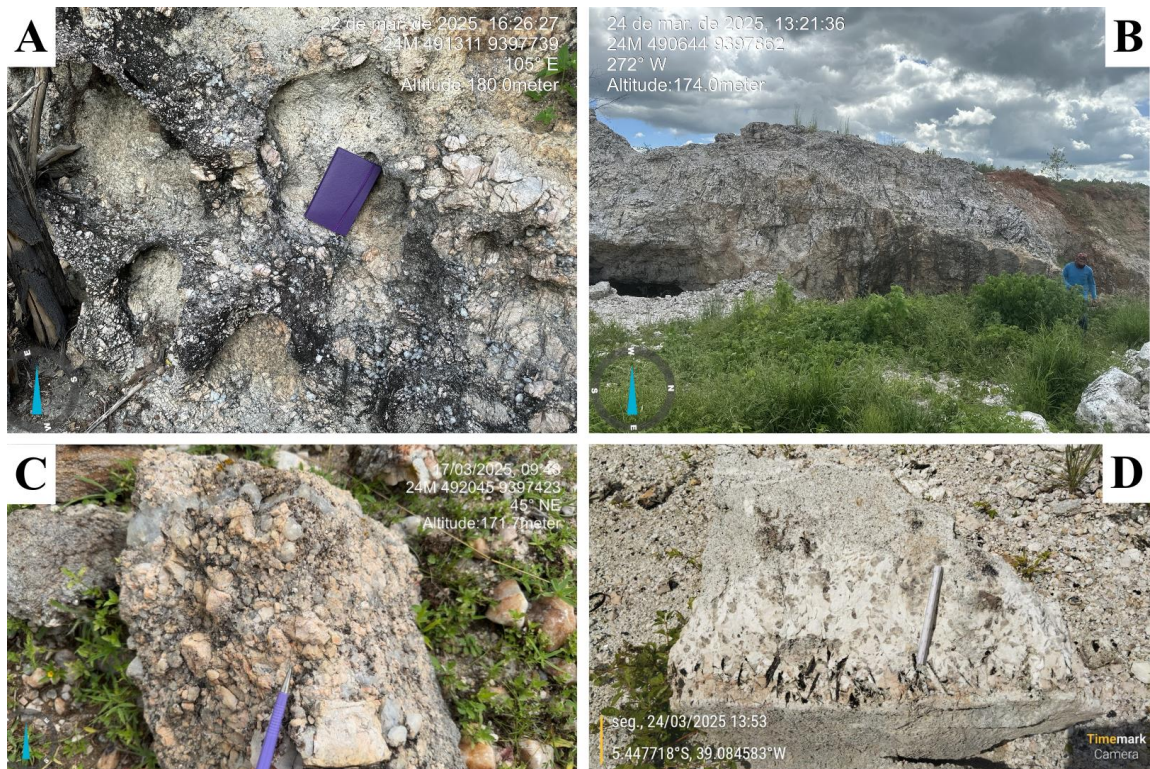


Figura 4.10: A) Afloramento de pegmatito com “bolsões” metassomáticos, B) Afloramento de pegmatito em paredão com presença de biotita com a textura “espinha de peixe”. C) Bloco de pegmatito de cor cinza rosado e granulação muito grossa. D) Bloco de pegmatito de cor branco acinzentado e porções dioríticas com textura “espinha de peixe”.

Os pegmatitos aparentemente são não zonados e apresentam cor cinza rosado/bege com granulação grossa a muito grossa, onde destacam-se cristais centimétricos que chegam a mais de 10 centímetros. São compostos comumente por quartzo, feldspato potássico, muscovita, plagioclásio, e ocorrem minerais gemológicos como berilo (água marinha) e as turmalinas melancia, elbaíta-rubelita e schorlita. Ocorre também granada e mica de coloração roxa (lepidolita) (Figura 4.11).

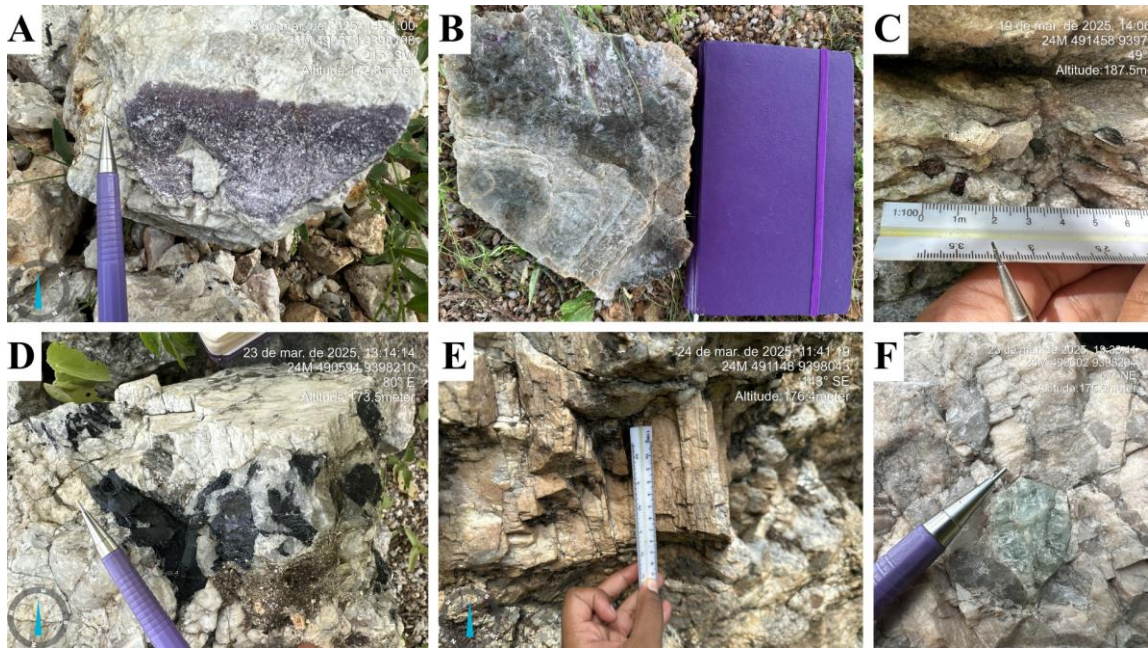


Figura 4.11: A) Amostra de pegmatito com agregado de lepidolita de granulação fina. B) Muscovita de 22 cm encontrada no ponto 25TF_107. C) Amostra de pegmatito com granadas milimétricas. D) Pegmatito com agregados de schorlita centimétricas. E) Pegmatito com cristais de feldspato potássico centimétricos. F) Berilo (água-marinha) centimétrico presente em pegmatito.

Grande parte dos corpos pegmatíticos presentes na área de estudo se encontram explorados por atividade garimpeira (Figura 4.12), o que acarreta em dificuldade de reconstituições de zonas e associações minerais que as caracterizem. Além dos minerais gemológicos, também ocorre a retirada de quartzo com boa pureza, voltado a fabricação de liga Fe-Si, em uma siderúrgica de pequeno porte, localizada no município de Banabuiú (CE).

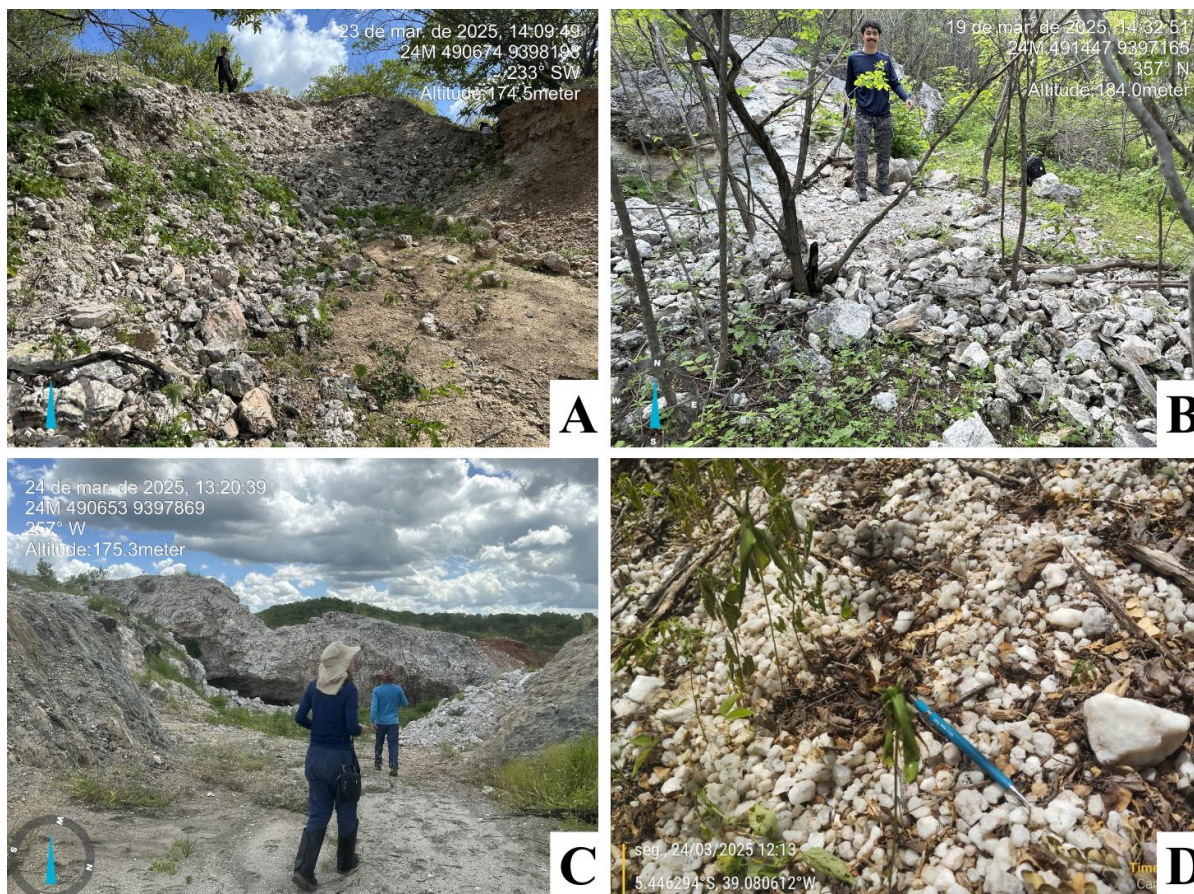


Figura 4.12: A) Cava de pegmatito localizada na região oeste da área com presença de minerais gemológicos como as turmalinas preta e a rosa. B) Escavação em pegmatito rico em cristais de berilo. C) Grande cava de pegmatito contendo biotita com a textura “espinha de peixe”. D) Escavação em afloramento de pegmatito para provável retirada de quartzo com boa pureza, voltado a fabricação de liga Fe-Si, em uma siderúrgica de pequeno porte, localizada no município de Banabuiú (CE).

4.3 Relações Estratigráficas

O mapeamento registrou a existência de um embasamento constituído por gnaisses migmatizados, com intercalações de anfibolitos e xistos, todo o conjunto apresenta uma marcante foliação NNE-SSW, e esta sequência é alojada por granitos, com relações intrusivas nítidas, adicionalmente, também são intrudidos por corpos pegmatíticos diversos. Os granitos ao seu turno, também são seccionados por pegmatitos.

As relações temporais observadas em campo, associadas a informações de mapeamentos regionais anteriores, sugerem a seguinte coluna litoestratigráfica para a área estudada:

Tabela 4.1 - Coluna Litoestratigráfica da área de estudo.

EÓN	ERA	IDADES segundo Lima (2008; 2014)	UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA / Nomenclatura estratigráfica segundo CPRM	LITOLOGIAS
FANEROZOICO	PALEOZOICO	529,8 ± 12,9 M.a.	Pegmatitos (ε0g)	Pegmatitos
PROTEROZOICO	NEOPROTEROZOICO	578,6 ± 6,5 M.a.	Granito Banabuiú (Np3γ2i)	Granitos e Tonalitos
	PALEOPROTEROZOICO	2095 ± 33 M.a.	Unidade Acopiara (Ppa)	Gnaisses, Anfibolitos e Xistos

CAPÍTULO 5

5. PETROGRAFIA

Neste capítulo, será abordado o estudo petrográfico dos principais litotipos representantes das unidades litoestratigráficas reconhecidas e amostradas na etapa de campo. Cabe ressaltar a utilização da nomenclatura das texturas e a granulação nas descrições, na qual tiveram como referência as estabelecidas por Dorado (1989). A granulação foi classificada da seguinte forma: fina (< 2 mm), média (2 - 5 mm), grossa (5 - 30 mm) e muito grossa (> 30 mm).

5.1 Unidade Acopiara

A Unidade Acopiara na área de estudo é marcada pela ocorrência de três distintos tipos de rochas metamórficas, classificados macroscopicamente respectivamente como muscovita gnaisse, anfibólio gnaisse e anfibólito.

5.1.1 Muscovita Gnaisse

A rocha apresenta cor marrom esverdeada, granulação fina, textura granolepidoblástica inequigranular (Figura 5.1), com orientação marcada pelas micas. É composta pela seguinte mineralogia: quartzo (~25%), muscovita (~20%), biotita (~18%), clorita (~10%) e plagioclásio (~15%) como minerais essenciais, feldspato potássico (~5%), opacos como magnetita, ilmenita e hematita (~4%), turmalina (~1%), zircão (~0,7%), rutilo (~0,5%), epidoto (~0,6%) e monazita (~0,2%) como minerais acessórios.

O quartzo é xenomórfico, apresenta cor bege a incolor, relevo baixo, granular, com presença de fraturas irregulares, e extinção ondulante.

A muscovita está disposta em lamelas subidiomórficas a idiomórficas, incolor, com relevo médio, clivagem perfeita e extinção reta.

A biotita possui cor castanho, com pleocroísmo forte variando de castanho claro a marrom escuro, constituem lamelas subidiomórfica a idiomórfica, relevo médio, clivagem boa a perfeita, e com extinção paralela.

A clorita ocorre comumente como produto de alteração da biotita, provavelmente por efeito retrometamórfico da mesma, apresenta cor castanho claro a verde escuro, forte pleocroísmo, relevo médio, em lamelas subidiomórficas, sobrecrescem nas bordas e clivagens das biotitas e exibem extinção ondulante.

Os minerais micáceos, como biotita, muscovita e clorita definem o plano de foliação da rocha.

O plagioclásio possui cor bege, dispostos em forma tabular, xenomórficas, relevo baixo, apresentam maclas *carlsbad* e Lei da Albita.

A turmalina apresenta cor verde musgo, pleocroísmo médio a forte, relevo alto, são subidiomórficas, exibem seções basais características, sem clivagem, e fraturas irregulares. É possível observar a presença de inclusões de minerais opacos nas turmalinas.

O zircão apresenta -se com cor laranja esverdeado claro, relevo alto, constituem prismas subidiomórficos, bastante fraturados. Por vezes, o zircão ocorre incluso no quartzo.

O rutilo apresenta cor vermelho a vermelho escuro, relevo médio a forte, hábito acicular subidiomórfico, apresenta forte pleocroísmo, e fraturas irregulares.

O feldspato potássico possui cor bege claro a incolor, relevo baixo, dispostos de forma tabular xenomórfica, com geminação “xadrez” característica. A macla “xadrez” é a composição de duas maclas polissintéticas, Lei da Albita e Periclína.

A monazita apresenta - se incolor a bege claro, relevo alto, de forma granular e xenomórfica.

O epidoto possui cor esverdeada, hábito granular xenomórfico, e exibem cores de interferências elevadas.

Opacos como magnetita, ilmenita e hematita ocorrem disseminados na rocha. Ambos com hábito granular, reflectância baixa e por vezes formando agregados. A hematita ocorre predominantemente como lamelas de exsolução na ilmenita.

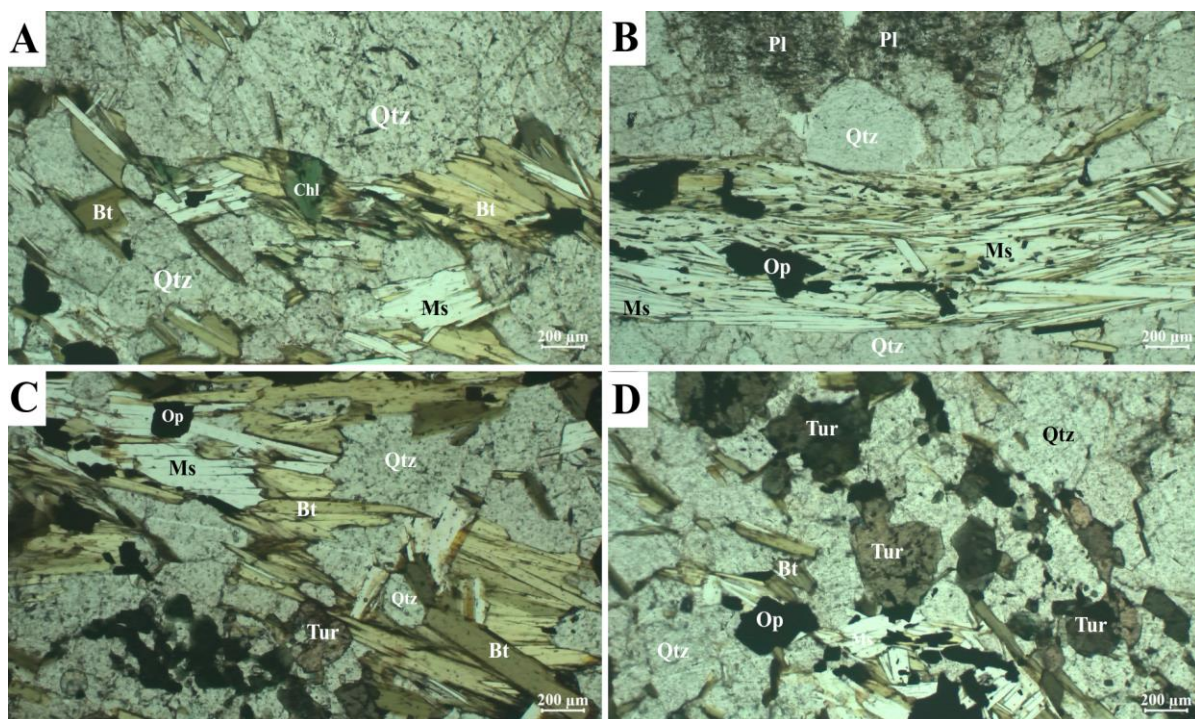


Figura 5.1: Fotomicrografia do Muscovita Gnaisse sob luz natural polarizada (LNP) com aumento de 5x. A) Clorita formada como mineral de alteração a partir da biotita. B) Textura granolepidoblástica marcada pelos minerais de muscovita e biotita. C) Turmalina subidiomórfica a xenomórfica. D) Porção da seção com feição granolepidoblástica de grãos inequigranulares.

5.1.2 Hornblenda Gnaisse

A análise de várias seções delgadas demonstra uma tênue transição entre os hornblenda gnaisse propriamente ditos e anfibolitos, os primeiros exibem percentual modal em anfibólitos superior a 50% dos minerais constituintes, enquanto os segundos apresentam percentuais inferiores a 60%.

O hornblenda gnaisse apresenta cor verde escuro (Figura 5.2), bandamento gnáissico com bandas em cor bege claro a incolor, granulação fina, é equigranular, possui textura nematoblástica decussada, com porções granoblásticas, por vezes formam um mosaico granular de quartzo, plagioclásio e feldspato potássico. A rocha é composta pelos seguintes minerais: hornblenda (~44%), quartzo (~17%), plagioclásio (~14%), opaco (~8%), epidoto (~6%) e feldspato potássico (~6%) como minerais essenciais, e titanita (~4%), apatita (~0,7%) e zircão (~0,3%) como mineral acessório.

A hornblenda apresenta cor verde, com pleocroísmo forte que varia de verde claro a verde oliva, relevo médio e clivagens características em duas direções nas seções basais, presentes como prismas subidiomórficos. Alguns cristais apresentam alteração em cor avermelhada pela possível oxidação proveniente do ferro (Fe) em sua composição química.

O quartzo é xenomórfico, incolor, relevo baixo, hábito granular xenomórfico, com extinção ondulante.

O plagioclásio apresenta relevo baixo, incolor, grãos minerais sob a forma tabular subidiomórfico a xenomórfico, com fraturas irregulares, exibem macla Lei da Albita, e apresentam extinção ondulante.

O mineral opaco é representado pela magnetita, em luz refletida apresenta cor cinza claro, é subidiomórfica a xenomórfica, possui relevo médio, reflectância baixa, hábito colunar e por vezes granular, com fraturas irregulares presentes.

A titanita ocorre associada aos grãos de epidoto, com coloração bege, em grânulos subidiomórfica a xenomórfica.

O epidoto é incolor, relevo médio a alto, constituem grânulos subidiomórficos a xenomórficos, ocorrem bastante fraturados.

A apatita é incolor, com relevo médio, em grãos subidiomórficos a xenomórficos, ocorre muitas vezes associada ou inclusa nos grãos de quartzo.

O zircão apresenta - se incolor, relevo alto, em pequenos prismas arredondados subidiomórficos a xenomórficos.

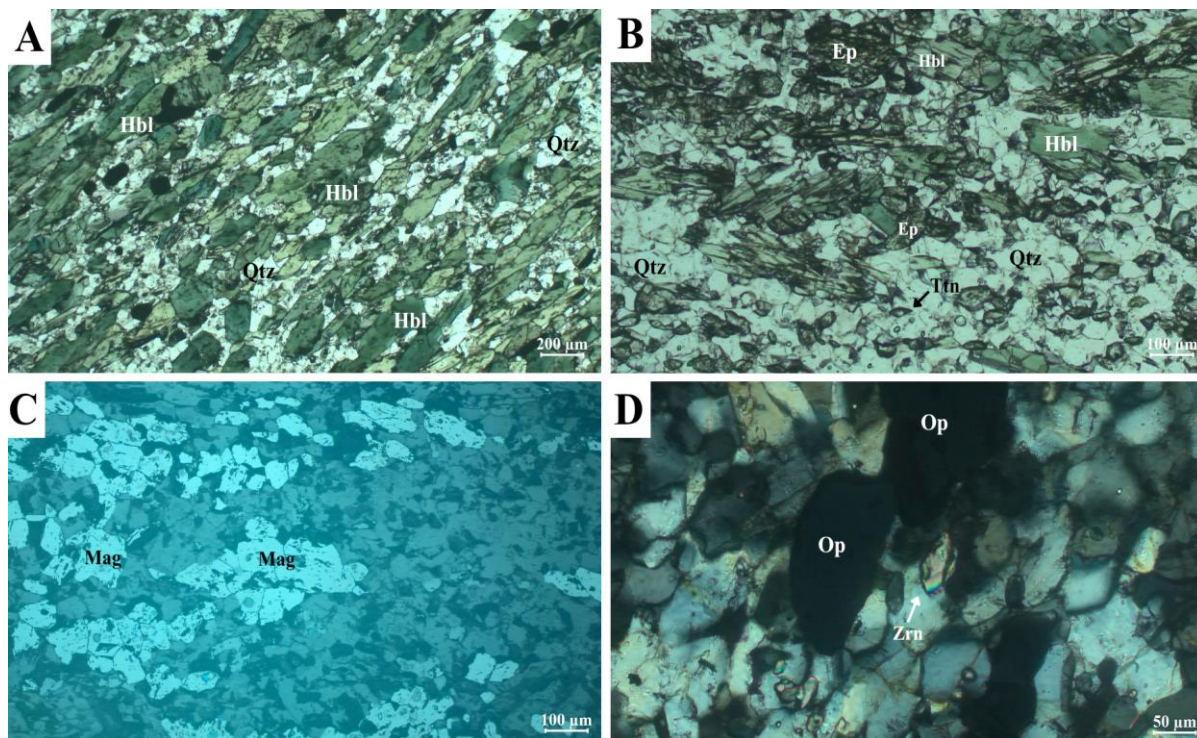


Figura 5.2: Fotomicrografia do hornblenda gnaiss. A) Hornblendas orientadas com intercalações de quartzo, a rocha exibe textura nematoblástica decussada, observada a LNP, com aumento de 5x. B) Hornblenda, quartzo, epidoto e titanita em trama granonematoblástica observadas em algumas porções da seção, observada a LNP, com aumento de 10x. C) Magnetita responsável pelo magnetismo presente na rocha, em luz refletida com aumento de 10x. D) Pequeno prisma de zircão em contato com opacos, visualizado a luz ortoscópica (LO) com aumento de 20x.

5.1.3 Anfibolito

O anfibolito apresenta cor cinza esverdeada, granulação fina a média, inequigranular, com forte orientação dos grãos, possui textura nematoblástica (Figura 5.3). Apresenta a seguinte composição mineralógica: hornblenda (~66%), quartzo (~13%), plagioclásio (~9%), minerais opacos (~8 %), como minerais essenciais, e alteração para argilominerais (~4%) e feldspato potássico (~2%) como minerais acessórios.

A hornblenda apresenta cor verde a verde musgo, pleocroísmo forte entre verde amarronzado e verde oliva, relevo médio, grãos subidiomórficos a xenomórficos, clivagem em duas direções, bem marcadas nas seções basais, clivagem em uma direção nas seções prismáticas, extinção oblíqua, e apresentam alterações em cor avermelhada, provavelmente ferruginosas.

O quartzo se dispõe em grãos xenomórficos, incolor, relevo baixo e possui fraturas irregulares.

Os opacos são representados pela ilmenita com lamelas de exsolução de hematita. Em luz refletida a ilmenita apresenta cor cinza amarronzada, sob forma granular a colunar subidiomórfica a xenomórfica, com reflectância baixa e relevo médio.

O plagioclásio apresenta - se incolor, relevo baixo, ocorre em grãos xenomórficos, com maclas Lei da Albita. Também estão dispostos como inclusões em anfibólios, por vezes sericitizados.

O feldspato potássico é incolor, relevo baixo, clivagem bem marcada, sob forma tabular xenomórfico, com extinção ondulante. Em geral estão desprovidos da macla em “xadrez” característica, e por vezes correspondem a cristais poiquiloblásticos.

Ocorre ainda alteração para argilominerais por toda a amostra, de forma intergranular e principalmente associada aos minerais de feldspato potássico e plagioclásio.

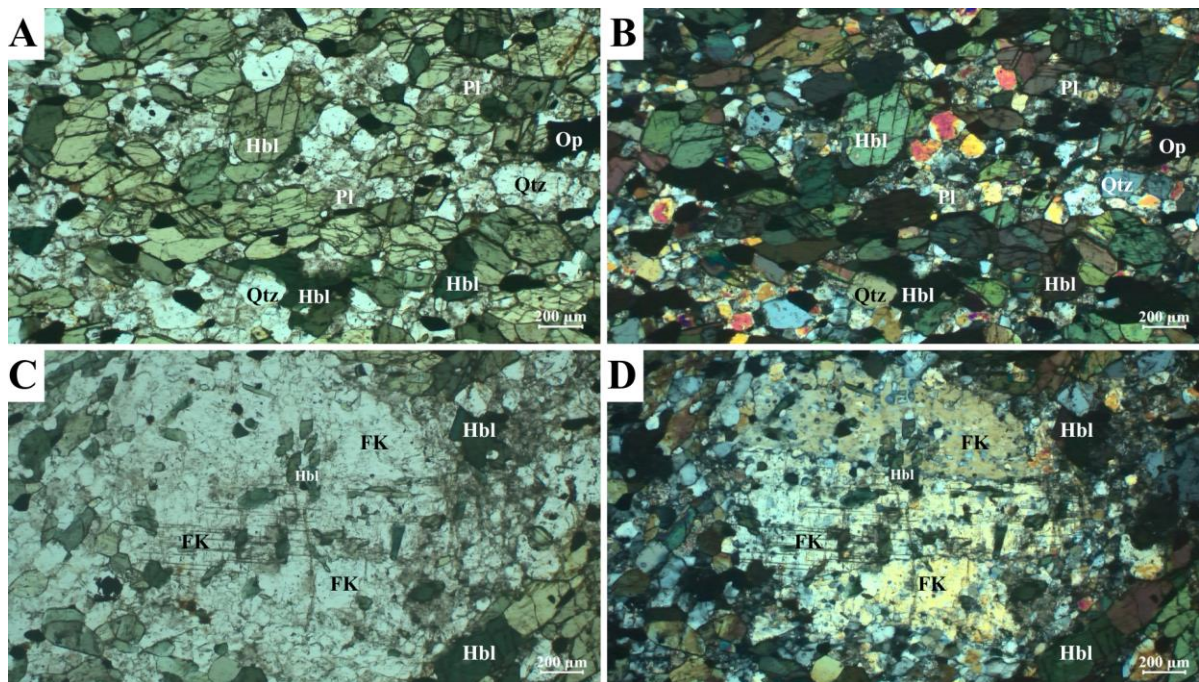


Figura 5.3: Fotomicrografia de anfibolito em LNP e LO, com aumento de 5x. Assembleia mineral representativa observada a LNP (A) e LO (B). Feldspato potássico constituindo um poiquiloblásto (crescimento pós-cinemático) observado a LNP (C) e LO (D).

5.1.4 Muscovita Xisto

O muscovita xisto apresenta cor cinza claro, granulação fina a média, exhibe xistosidade marcada por lamelas de muscovita, e apresenta textura granolepidoblástica. É constituído pela seguinte mineralogia: quartzo (~45%), muscovita (~36%), plagioclásio (~18%) como minerais essenciais e granada (~1%) como mineral acessório.

O quartzo é incolor com tons de amarelo claro, relevo baixo, grãos xenomórficos, estão bastante fraturados, e por vezes são observadas inclusões pontuais de muscovita.

O plagioclásio apresenta - se incolor com tonalidades amarelo claro, relevo baixo, constituindo forma tabular xenomórfica. Apresenta macla Lei da Albita, e possuem alteração sericítica.

A muscovita é incolor, relevo baixo, clivagem marcada em uma direção, sob a forma de idiomórfica a subdiomórfica, e ocorre pontualmente fraturada de forma irregular.

A granada com coloração bege, relevo alto, hábito granular, subidiomórfica a xenomórfica e com fraturas irregulares.

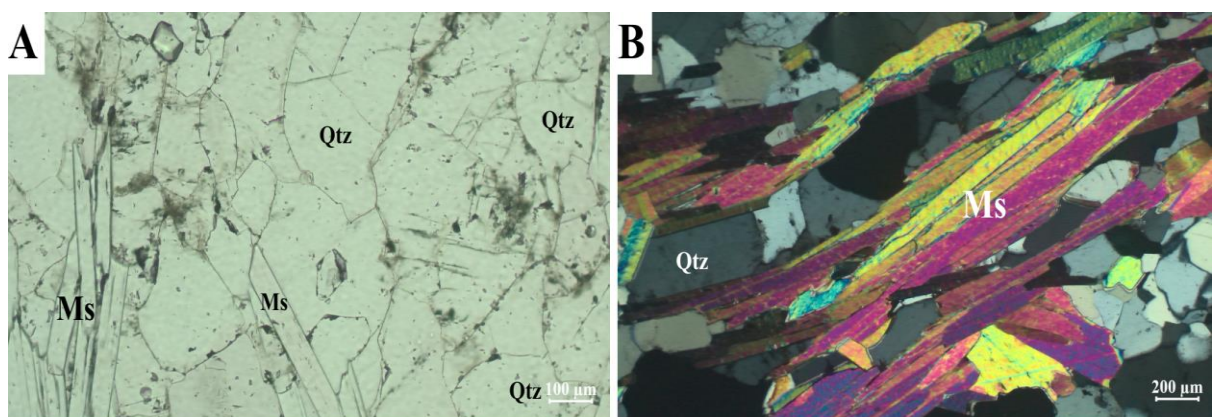


Figura 5.4: Fotomicrografia do muscovita xisto. (A) Textura granolepidoblástica, a LNP e aumento de 10x. (B) Xistosidade marcada pela muscovita, observada a LO com aumento de 5x.

5.2 Granito Banabuiú

A área de estudo é marcada pela ocorrência de três tipos de granitos distintos (granito, granito com fenocristais de feldspato potássico e tonalito), que diferem entre si pelas diferentes composições modais, os quais serão descritos a seguir.

5.2.1 Granito

O granito ocorre com cor variando entre cinza e marrom, granulação fina a média, inequigranular, ocasionalmente com muscovita e biotita orientadas. Ao microscópio, exibe textura hipidiomórfica inequigranular e índice de cor variando entre hololeucocrática a leucocrática. A mineralogia do granito é representada por: quartzo (~42%), potássico (~25%), muscovita (~15%), plagioclásio (~12%) e como minerais acessórios biotita (~5%) e magnetita (~1%).

Também é importante ressaltar a ocorrência dos minerais como granada, epidoto, titanita, clorita, apatita, zircão e monazita, mesmo que ocorram pontualmente em alguns granitos.

O plagioclásio incolor, relevo baixo, com hábito tabular subidiomórfico, fraturas irregulares presentes, com macla Lei da Albita e *Carlsbad*. Frequentemente estão sericitizados, e por vezes apresentam inclusões de apatita.

O feldspato potássico exibe relevo baixo, em cristais tabulares subidiomórficos a xenomórficos, apresentam macla em “xadrez” (associação da macla periclino mais lei da albita), típica de microclínio, e por vezes apresenta alteração sericítica.

O quartzo é incolor, relevo baixo, hábito granular xenomórfico, bastante fraturado, contendo inclusões pontuais de muscovita e/ou apatita.

A muscovita é incolor, com relevo médio, clivagem bem marcada em uma direção, hábito lamelar subidiomórfico a idiomórfico, ocorre pontualmente orientada.

A biotita possui cor castanho, com forte pleocroísmo que varia de castanho claro a marrom escuro, relevo médio, hábito lamelar subidiomórfico a idiomórfico, clivagem bem-marcada em uma direção, extinção paralela, e ocasionalmente alterada para clorita.

A clorita ocorre como mineral secundário formado a partir da biotita, exibe cor verde, com pleocroísmo moderado de verde claro a verde musgo, relevo médio, hábito subidiomórfico e xenomórfico. A clorita sobrecresce as lamelas de biotita na borda e clivagem, e por vezes estão totalmente substituídas.

A granada apresenta cor marrom amarelado, relevo alto, hábito xenomórfico a subidiomórfico, hábito granular em “favo de mel”, com fraturas irregulares, com alteração férrica de cor avermelhada.

O epidoto exibe cor cinza amarronzada, relevo alto, dispostos em hábito granular xenomórfico e com fraturas irregulares.

A apatita exibe relevo médio, hábito prismático, subidiomórfico a idiomórfico, ocorre incluso em outros minerais como quartzo e feldspato potássico.

O zircão apresenta relevo alto, hábito prismático curto subidiomórfico, em geral incluso em biotitas ou quartzo.

Os opacos são representados pela magnetita, que ocorre disseminada, com coloração cinza claro, hábito granular subidiomórfica e reflectância baixa.

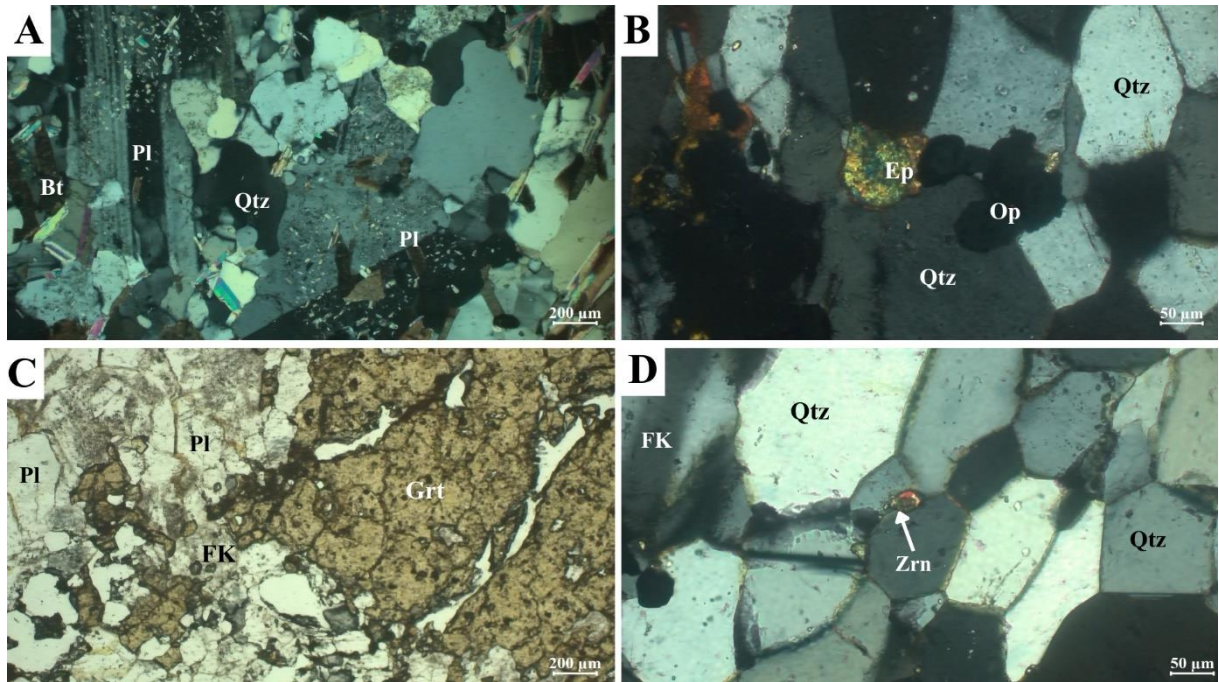


Figura 5.5: Fotomicrografia do granito A) Plagioclásio exibindo macla *Carlsbad* e Lei da Albita, ambos sericitizados, a LO e aumento de 5x. B) Epidoto sob LO e aumento de 20x. C) Granada observada a LNP e aumento de 5x. D) Grão de zircão subidiomórfico a LO e aumento de 20x.

5.2.2 Granito com fenocristais de feldspato potássico

Granito com fenocristais de feldspato potássico, coloração cinza escuro, granulação fina a média, inequigranular, hololeucocrática, textura hipidiomórfica inequigranular com pórfiros de feldspatos potássicos. A rocha é composta por feldspato potássico (~30%), quartzo (~27%), plagioclásio (~25%), muscovita (~8%), biotita (~6%), clorita (~2%), turmalina (~1%), apatita (~0,6%), opaco (~0,2%), zircão (~0,1%) e granada (~0,1%).

O plagioclásio exibe relevo baixo, hábito tabular subidiomórfico a xenomórfico, clivagens perceptíveis em duas direções boas, apresentam macla Lei da Albita, por vezes ocorrem sericitizados e com inclusões de biotita.

O feldspato potássico apresenta relevo baixo, clivagens bem-marcadas em duas direções, hábito tabular subidiomórfico, com macla “xadrez”, e alteração sericítica.

O quartzo é incolor, relevo baixo, hábito granular xenomórfico, com fraturas irregulares.

A muscovita em geral é formada a partir da alteração do plagioclásio e feldspato potássico, é incolor, relevo baixo a médio, granulação muito fina a fina, clivagem perfeita em uma direção, com hábito micáceo subidiomórfico.

A biotita possui cor castanha, com forte pleocroísmo que varia de castanho claro a marrom escuro, está presente sob a forma de lamelas idiomórficas a subidiomórficas, relevo médio, clivagem bem nítida em uma direção, e com extinção paralela.

Turmalina apresenta cor bege, pleocroísmo moderado que varia de bege a marrom esverdeado, relevo alto, hábito granular subidiomórfico e idiomórfico.

A clorita ocorre como mineral secundário formado às expensas da biotita, exibe cor verde, com pleocroísmo moderado de verde claro a verde escuro, relevo médio, lamelas subidiomórficas.

Granada possui coloração bege, relevo alto, hábito granular xenomórfico, com alteração de cor avermelhada, possivelmente férrica.

A apatita é incolor, relevo médio, hábito prismático subidiomórfico.

O zircão possui relevo alto, hábito prismático em cristais subidiomórficos.

Os opacos correspondem a magnetita, de coloração cinza claro, reflectância mediana, são subidiomórficas a xenomórficas granulares, e de relevo baixo.

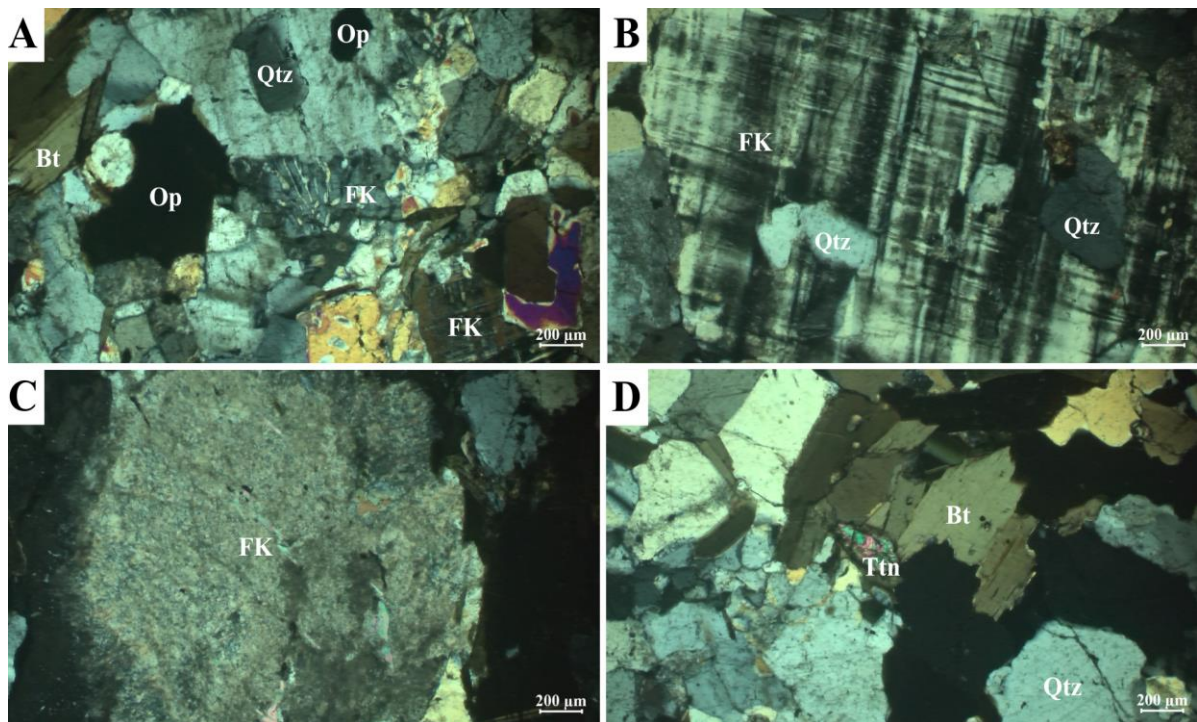


Figura 5.6: Fotomicrografia da associação mineral do granito com fenocristais de feldspato potássico, a LO e aumento de 5x. A) Mirmequita. B) Feldspato potássico com macla “xadrez”. C) Feldspato potássico com alteração sericítica. D) Titanita com hábito losangular subidiomórfica.

5.2.3 Tonalito - Trondhjemito

O tonalito apresenta coloração cinza claro, granulação média a grossa, equigranular, hololeucocrática, textura hipidiomórfica equigranular, composta essencialmente por plagioclásio (~70%), quartzo (~23%) e epidoto (~5%), e como acessório a muscovita (~2%).

O plagioclásio exibe relevo baixo, hábito tabular subidiomórfico a idiomórfico, com macla *Carlsbad* e Lei da Albita.

Quartzo apresenta relevo baixo, hábito granular em grãos xenomórficos, e fraturas irregulares.

A muscovita ocorre como produto de alteração do plagioclásio, possui relevo baixo a moderado, clivagem bem-marcada, com hábito micáceo em lamelas subidiomórficas a xenomórfica.

O epidoto ocorre em cor verde com leve pleocroísmo que varia de verde claro a verde amarronzado, relevo alto, hábito granular subidiomórfico a xenomórfico.

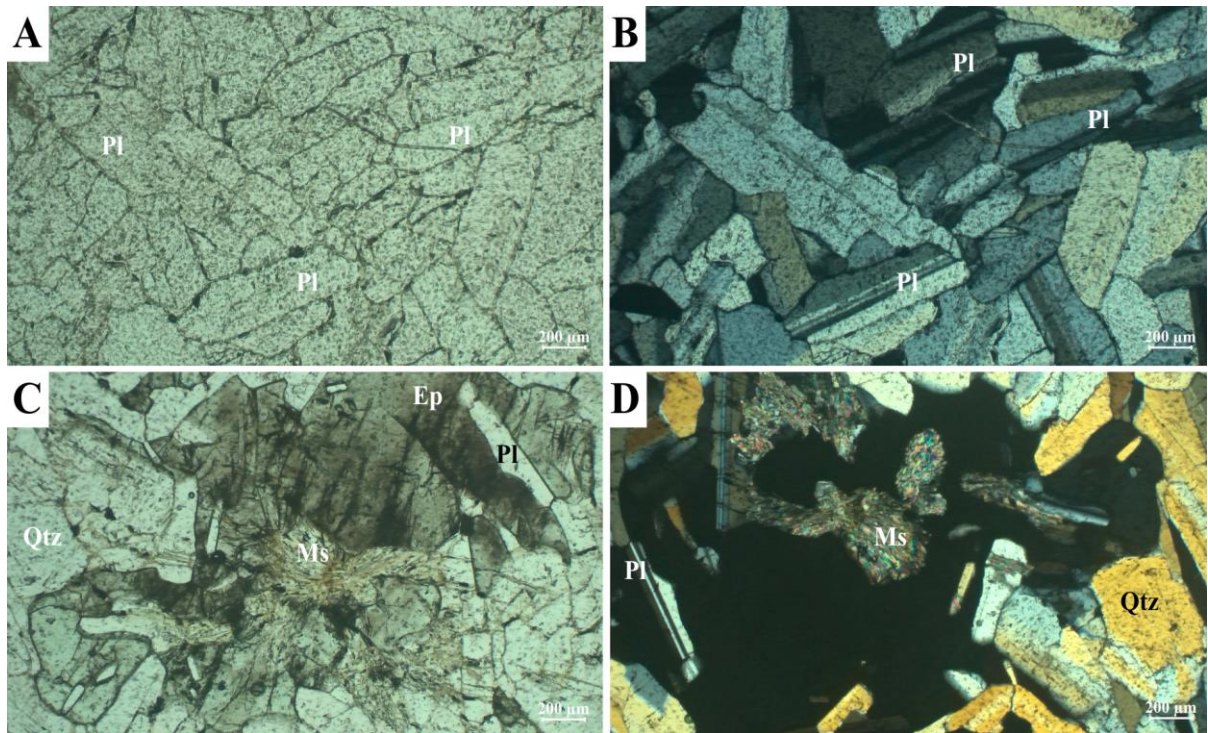


Figura 5.7: Fotomicrografia do tonalito-trondhjemito, constituído predominantemente de plagioclásio, com aumento de 5x, em A com LNP e B com LO. Muscovita alterada, em C com LNP e D com LO.

5.3 Pegmatitos

Os pegmatitos podem ser classificados de acordo com Černý (2005) em três famílias petrogenéticas: LCT, NYF e Mista (LCT + NYF).

A família NYF (nióbio, ítrio e REE, fluorita) é composta por uma matriz de elementos típicos Nb>Ta, Ti, Y, Sc, REE, Zr, U, Th, F. São predominantemente subaluminosos a metaluminosos do tipo A a I, mas com algumas representações de composições peraluminosas e relações peralcalinas (Černý,2005).

A família LCT (lítio, céσιο, tântalo) geralmente é enriquecida de forma progressiva em Li, Rb, Cs, Be, Sn, Ta, Nb (com Ta>Nb), e também em B, P e F, com fracionamento progressivo do fundido. Variam de levemente a substancialmente peraluminosos, do tipo S, I ou S + I misto (Černý, 2005).

A família mista (LCT + NYF) consiste em granitos que apresentam características mineralógicas e geoquímicas mistas. A ocorrência típica dessa família encontrada é caracterizada pela contaminação por LCT de granitos NYF originalmente “puros” (Černý, 2005).

Os pegmatitos da área de estudo são classificados como LCT, sendo subdivididos em dois conjuntos pegmatíticos que se individualizam pela sua mineralogia e feições texturais, um deles com feições e texturas típicas de pegmatito (granulação > 30 mm) e o segundo apresenta textura pegmatítica com “espinha de peixe”, este último, ocorre de forma subordinada na região noroeste da área.

5.3.1 Pegmatito

O pegmatito apresenta coloração variando de cinza claro a marrom avermelhado, hololeucocrática, textura pegmatítica, granulação grosseira, e inequigranular.

O pegmatito apresenta coloração variando de cinza claro a marrom avermelhado, textura pegmatítica, granulação grosseira, inequigranular e hololeucocrática. É composto essencialmente por feldspato potássico (~46%), plagioclásio (~26%), quartzo (~16%) e muscovita (~7%), tendo como acessório granada (~4,9%) e rutilo (~0,1%).

O feldspato potássico exibe relevo baixo, possui hábito tabular subidiomórfico a xenomórfico, com alteração sericítica. Por vezes ocorre com textura pertítica, e macla “xadrez”.

O plagioclásio apresenta relevo baixo, hábito tabular, subidiomórfico a xenomórfico, clivagem perfeita em duas direções, exibem macla *Carlsbad* e Lei da Albita, e por vezes estão sericitizado.

Quartzo possui relevo baixo, hábito granular subidiomórfico a xenomórfico, e ocasionalmente ocorre com inclusões de plagioclásio.

A muscovita ocorre com relevo médio, clivagem perfeita, com hábito micáceo de lamelas subidiomórficas a xenomórficas.

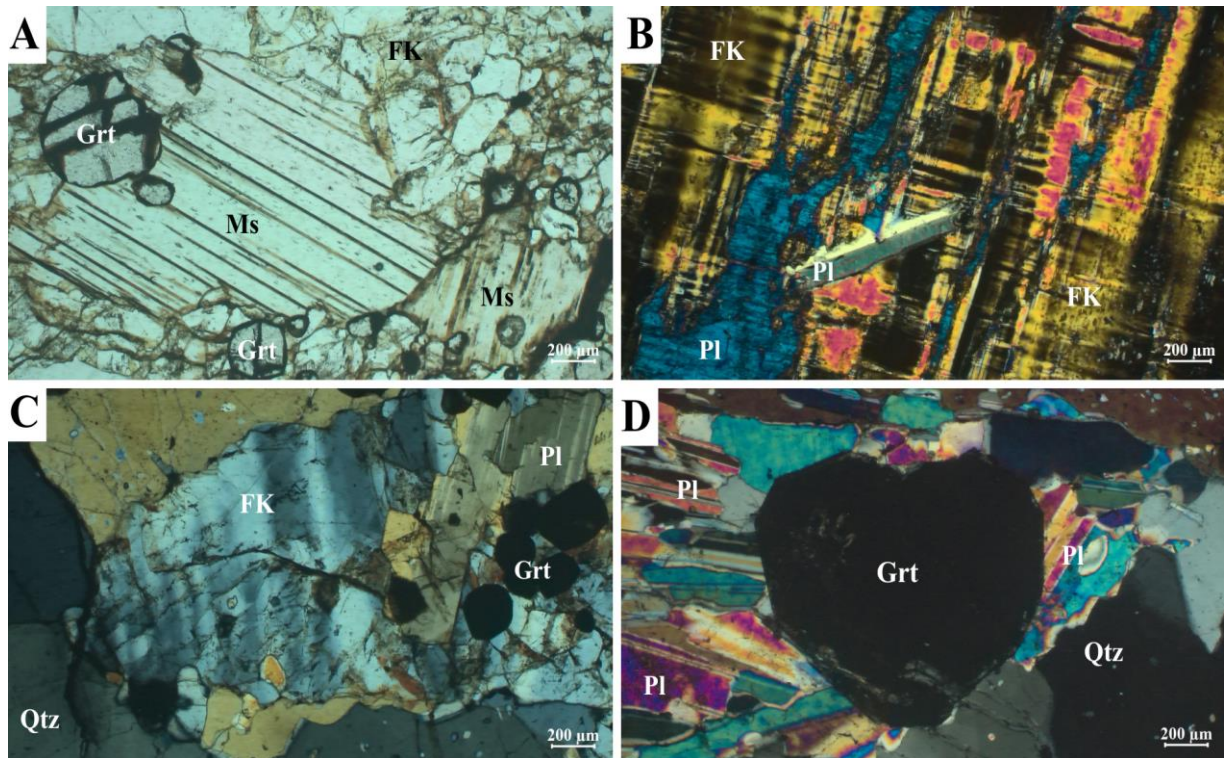


Figura 5.8: Fotomicrografia de pegmatito predominante na área de estudo, com maior proporção de feldspato potássico, aumento de 5x. A) Muscovita exibindo clivagem boa, sob LNP. B) Textura perítica, LO. C) Associação mineralógica entre feldspato potássico, plagioclásio, quartzo e granada, sob LO. D) Granada isotrópica em meio aos plagioclásios parcialmente orientados, observação em LO.

5.3.2 Pegmatito com textura “espinha de peixe”

Subordinadamente ocorre um pegmatito com textura “espinha de peixe”, de cor cinza esverdeado, textura pegmatítica característica, hololeucocrático, granulação grossa, inequigranular e com mineralogia representada por: feldspato potássico (~36%), plagioclásio (~27%), quartzo (~18%), e turmalina (~11%) como minerais essenciais, muscovita (~4,2%), clorita (~1,4%), granada (~1%), apatita (~0,8%), zircão (~0,4%), monazita (~0,1%) e opaco (~0,1%) como minerais acessórios.

O plagioclásio exibe relevo baixo, hábito granular xenomórfico, clivagem boa marcada em duas direções, apresenta macla Lei da Albita, e possui inclusões de apatita, por vezes estão sericitizados.

O quartzo ocorre com hábito granular, xenomórfico, e com fraturas irregulares.

A turmalina de cor marrom esverdeada, apresenta pleocroísmo forte com variação de marrom até um cinza escuro esverdeado, relevo médio a forte, seções basais subidiomórfica.

A clorita exibe cor bege, com pleocroísmo de bege a cinza escuro, relevo médio, grãos xenomórficos. Frequentemente ocorrem preenchendo espaços intergrãos.

A muscovita tem relevo baixo, clivagem boa em uma direção, com hábito lamelar subidiomórfico.

O feldspato potássico ocorre de cor bege, relevo baixo, hábito tabular a granular, xenomórfico, e com alteração sericítica.

A granada de coloração bege claro, com relevo muito alto e hábito granular subidiomórfico.

O zircão possui relevo alto, hábito prismático subidiomórfico, por vezes apresenta efeito de metamictização.

A apatita é incolor, de relevo médio e hábito granular subidiomórfico.

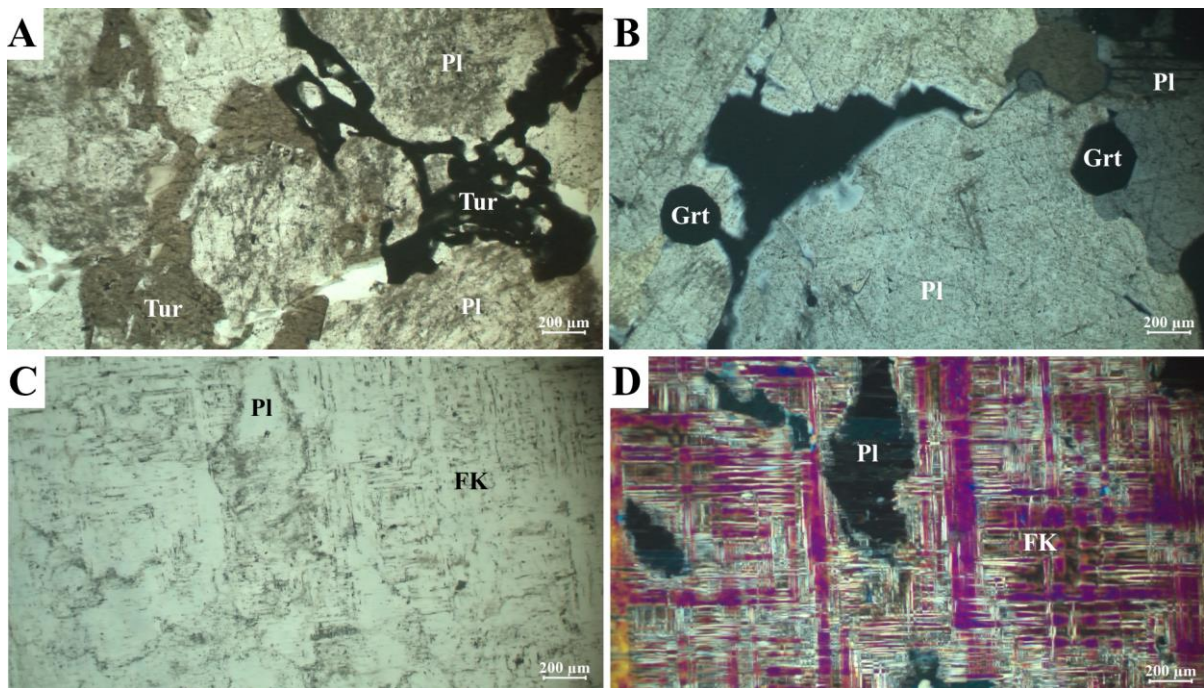


Figura 5.9: Fotomicrografia de pegmatito subordinado A) Ocorrência de turmalina com hábito maciço xenomórfico sob LO e aumento de 5x. B) Grãos subidiomórficos de granada em LO e aumento de 5x. C) Feldspato potássico com textura pertítica, sob LNP e aumento de 5x. D) Textura pertítica observado em LO e aumento de 5x.

CAPÍTULO 6

6. QUÍMICA MINERAL

Neste tópico serão abordadas análises de química mineral realizadas no Sistema Dispersivo de Energia (EDS), com aquisição de imagens por meio do MEV, as quais foram realizadas tanto em lâminas delgadas polidas, quanto em “embutidos” de seções polidas. Também trataremos das análises de Li pela técnica de FC.

6.1 Minerais portadores de Lítio (Li)

Diversos minerais reconhecidos e amostrados na etapa de campo foram analisados com intuito de caracterizar as respectivas composições químicas, além do conteúdo em Li, este último de extrema importância na questão de minerais estratégicos e críticos para a transição energética. Neste sentido, foram analisados minerais como a lepidolita que apresenta Li em sua estrutura atômica, assim como berilo e muscovita, os quais exibem Li em substituição de cátions, e turmalinas que podem portar ou não Li em suas respectivas estruturas.

6.1.1 Berilo

O berilo é encontrado nos pegmatitos, sob a forma de cristais disseminados, com cores que variam de branco a azul claro esverdeado, hábito prismático com brilho vítreo (Figura 6.1).

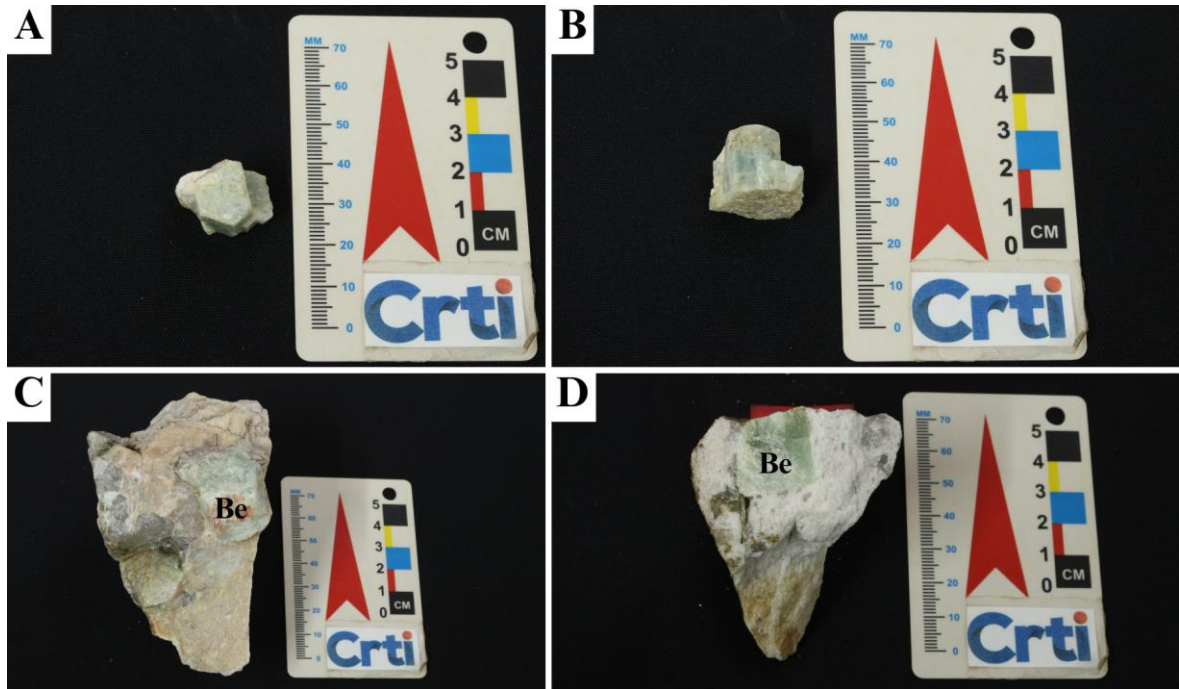


Figura 6.1: Fotografia de exemplares de berilo. A) Berilo com hábito prismático de seções hexagonais. B) Berilo com hábito prismático. C) Berilo incluído em feldspato potássico. D) Berilo com hábito colunar e coloração verde, incluído em pegmatito com associação mineral de $Pl+Qtz+Ms+Grt$.

Ao microscópio o berilo exibe variação de incolor a bege claro, pleocroísmo ausente, hábito prismático subidiomórfico a xenomórfico com fraturas irregulares, e alteração sericítica.

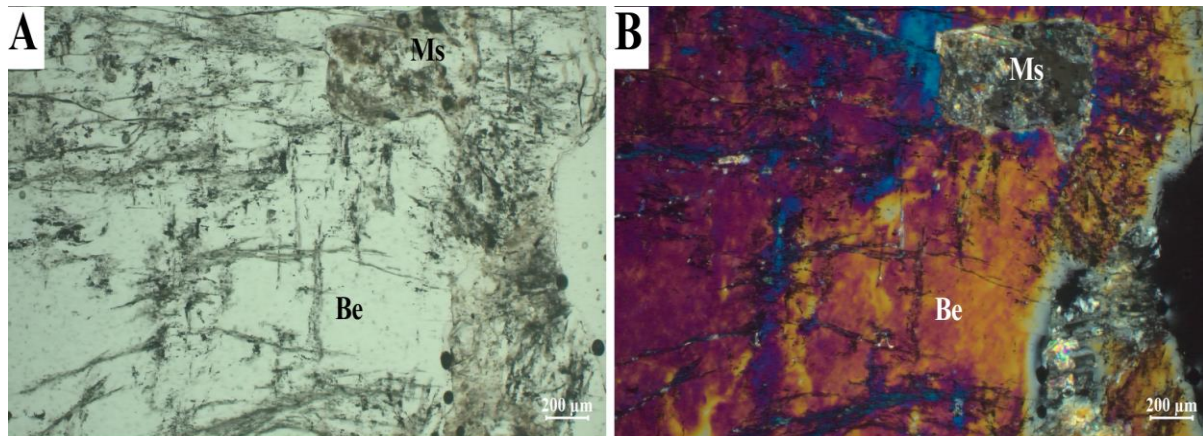


Figura 6.2: Fotomicrografia de um cristal de berilo, em A LNP, muito fraturado, e em B, LO, a percepção de alteração sericítica.

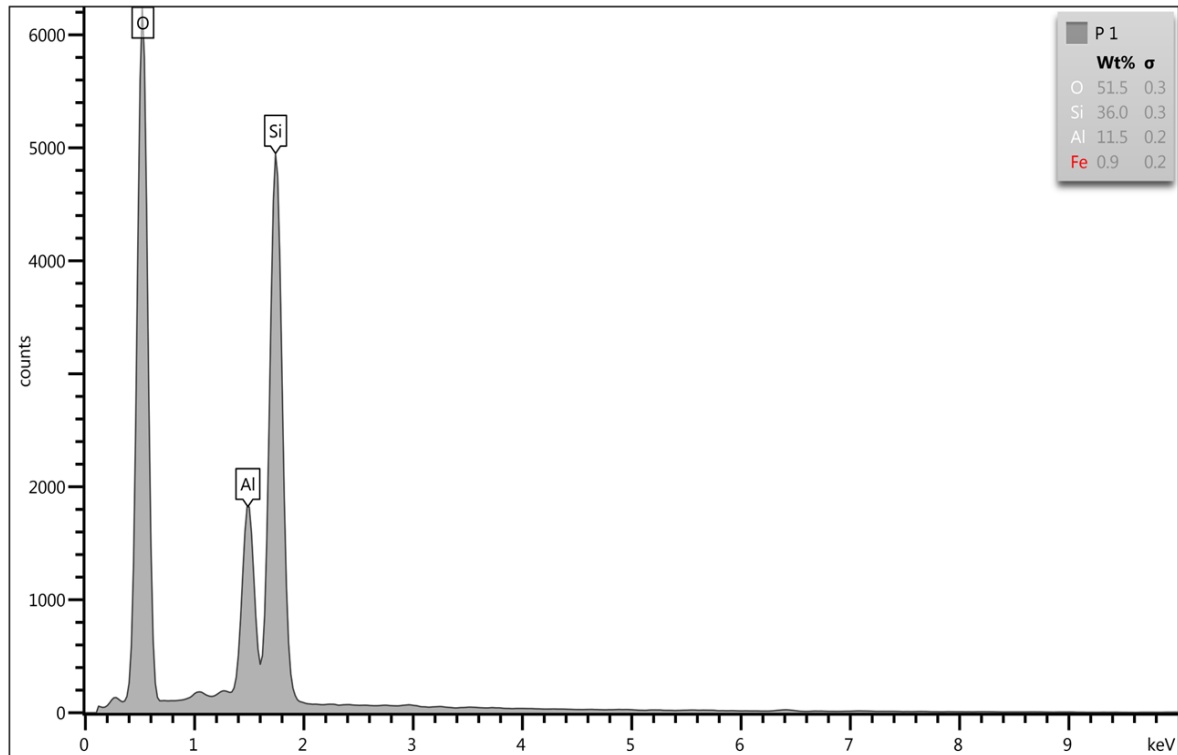
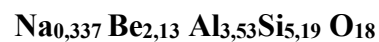


Figura 6.3: Espectro EDS do berilo obtido no MEV.

Por meio do EDS obteve-se uma estimativa de composição, calculada na base de 36 oxigênios, a considerar que a análise por energia dispersiva no equipamento corresponde a dados semiquantitativos sem utilização de padrões. Conforme segue:



6.1.2 Lepidolita

A lepidolita ocorre em sua cor roxa característica, granulação variada de fina a média, e por vezes como agregados escamosos de granulação grossa (Figura 6.4), hábito micáceo e brilho vítreo. Faz parte do grupo das micas e apresenta alto interesse econômico devido ao seu teor de Li.



Figura 6.4: Amostra de lepidolita formando seus típicos agregados escamosos.

Microscopicamente apresenta coloração bege, relevo médio, hábito lamelar idiomórfico a subidiomórfico, clivagem bem-marcada, anisotrópico e biaxial negativo. Ocorre ainda, inclusões de apatita.

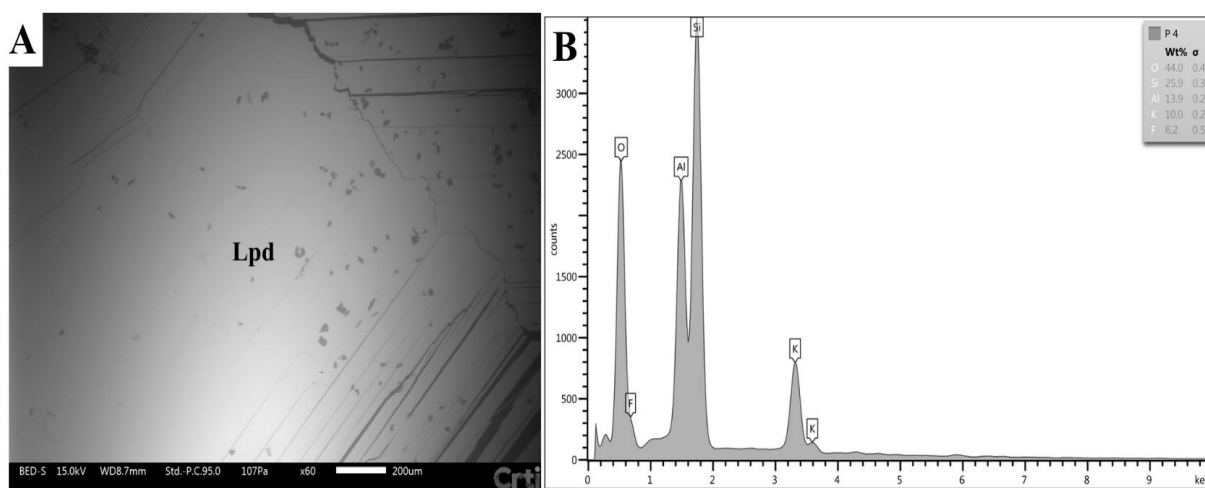
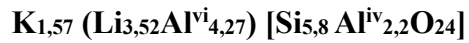


Figura 6.5: A) Fotomicrografia da lepidolita no MEV, onde é possível observar sua clivagem. B) Espectro da lepidolita.

A considerar as análises por EDS, a fórmula química estimada, com base de cálculo de 24 oxigênios, corresponde a:



6.1.3 Muscovita

A muscovita possui hábito placoide em escamas formando aglomerados, coloração amarela, brilho vítreo, exibindo clivagem perfeita e aspecto flexível.

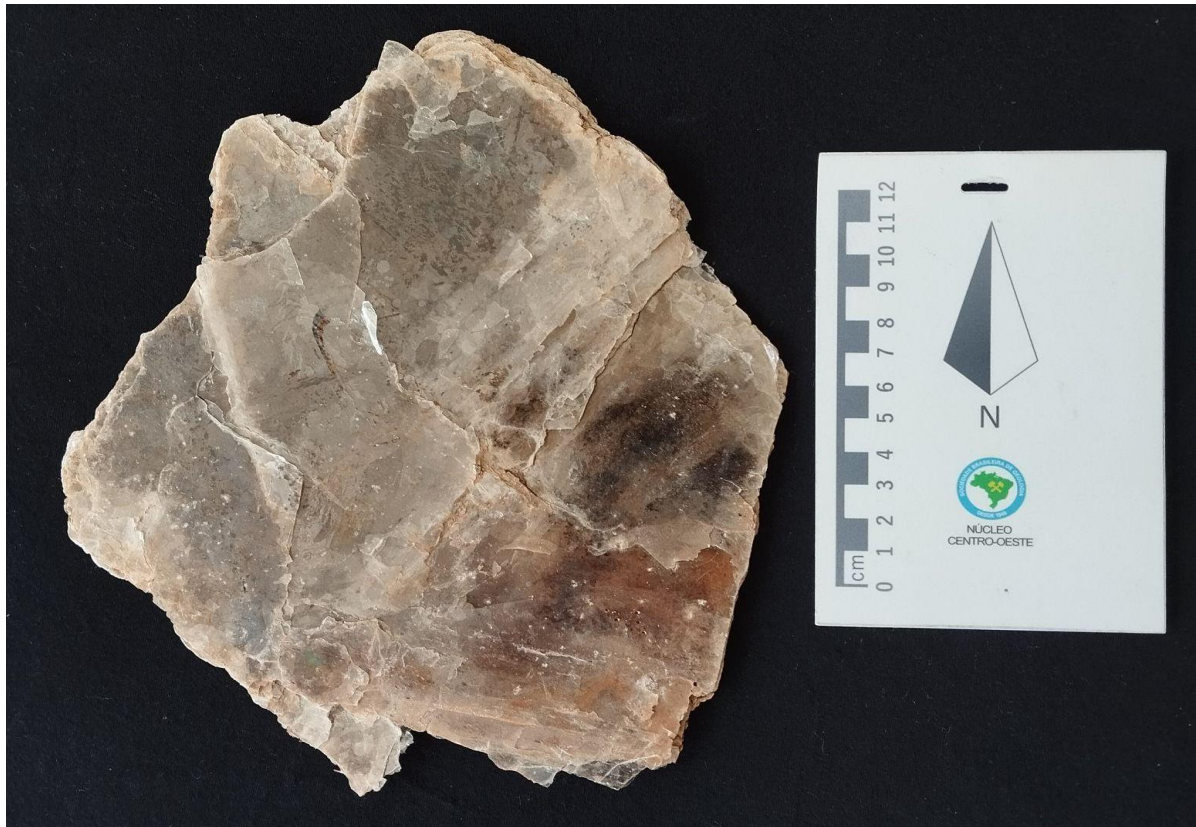


Figura 6.6: Amostra de muscovita com clivagem bem-marcada no eixo cristalográfico C.

Ao microscópio exibe relevo médio, hábito lamelar idiomórfico a subidiomórfico, e com clivagem bem-marcada.

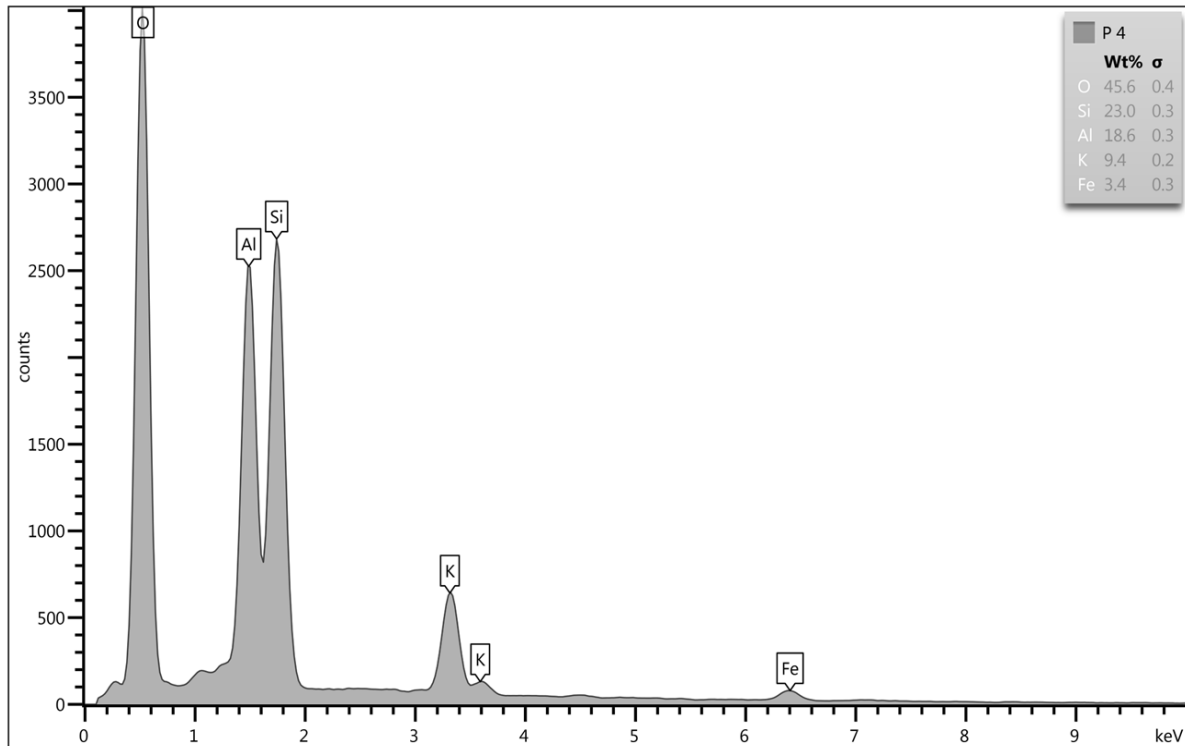
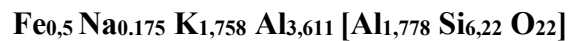


Figura 6.7: Espectro EDS da muscovita obtido no MEV.

A composição química estimada, com base em 22 oxigênios, corresponde a:



6.1.4 Turmalinas

As turmalinas presentes na área de estudos foram individualizadas quanto a sua variação de cor: preta (schorlita) e rosa (elbaíta-rubelita).

6.1.4.1 Turmalina preta (Schorlita/Dravita)

A turmalina de coloração preta apresenta hábito prismático, brilho resinoso, e por vezes encontrada bastante friável.

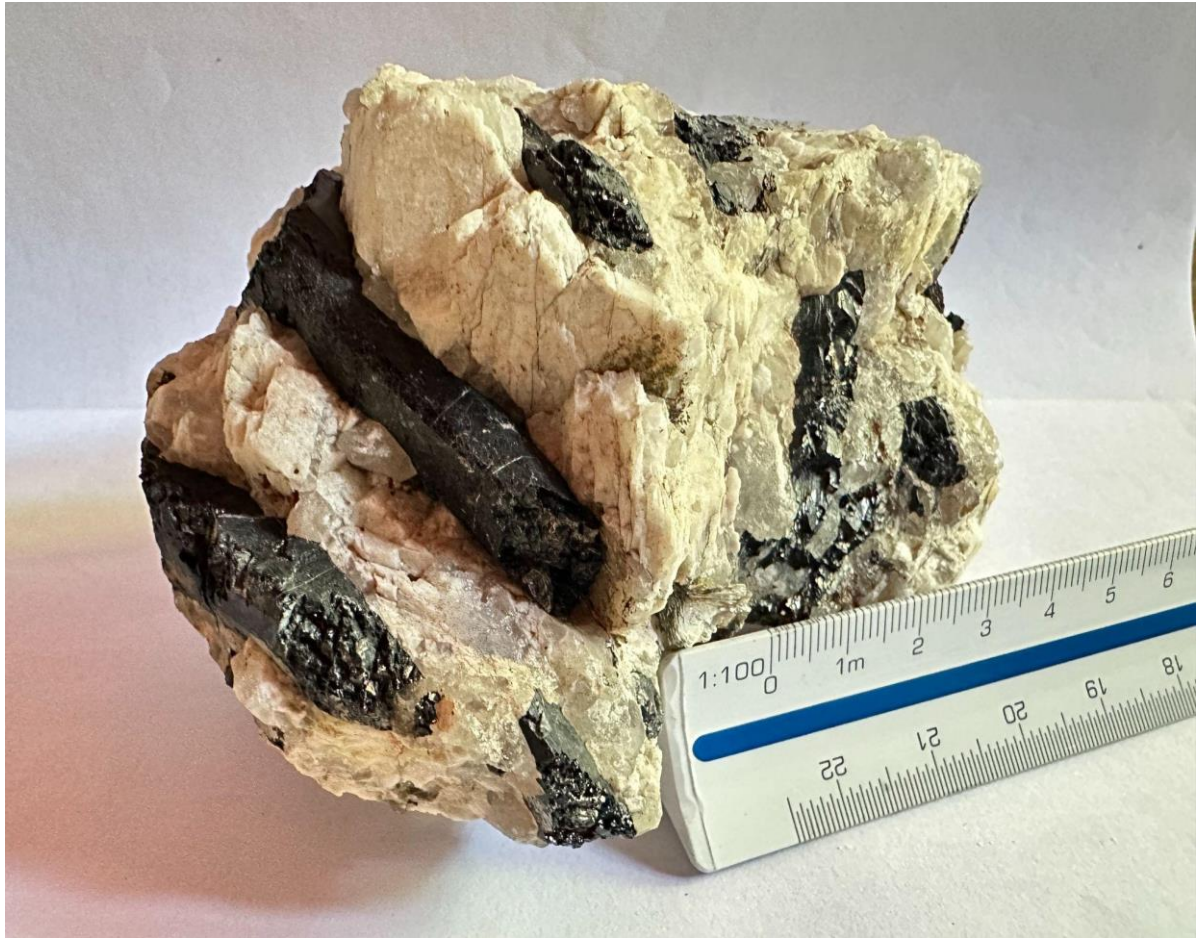


Figura 6.8: Amostra de turmalina preta (schorlita).

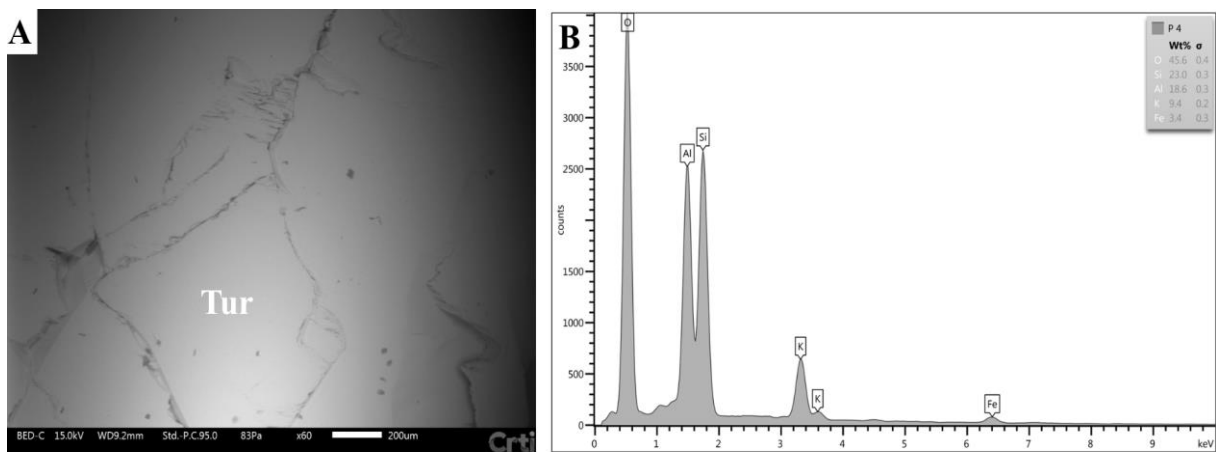
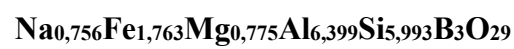


Figura 6.9: Espectro EDS da turmalina preta (schorlita/dravita) obtido no MEV.

A estimativa de composição, calculada na base de 29 oxigênios, vem representada por:



6.1.4.2 Turmalina rosa - elbaíta (Rubelita)

A elbaíta-rubelita é sobretudo reconhecida na porção oeste da área, apresenta cor rosa, granulação média, hábito granular, brilho vítreo e tenacidade quebradiça. Para análise de Li neste mineral foi utilizado o analisador portátil PEGASUSLIBS (modelo P-3Li), para tal análise, o mineral padrão de referência usado para calibração foi o espodumênio, porém, é necessário destacar que por serem minerais com características distintas, o resultado obtido deve ser interpretado como um valor estimado. A análise apresentou um pico de cerca de 670 nm de comprimento de onda e concentração elevada de óxido de lítio nos cristais de rubelita, resultou em cerca de 5,144% de Li_2O , figura (6.10).

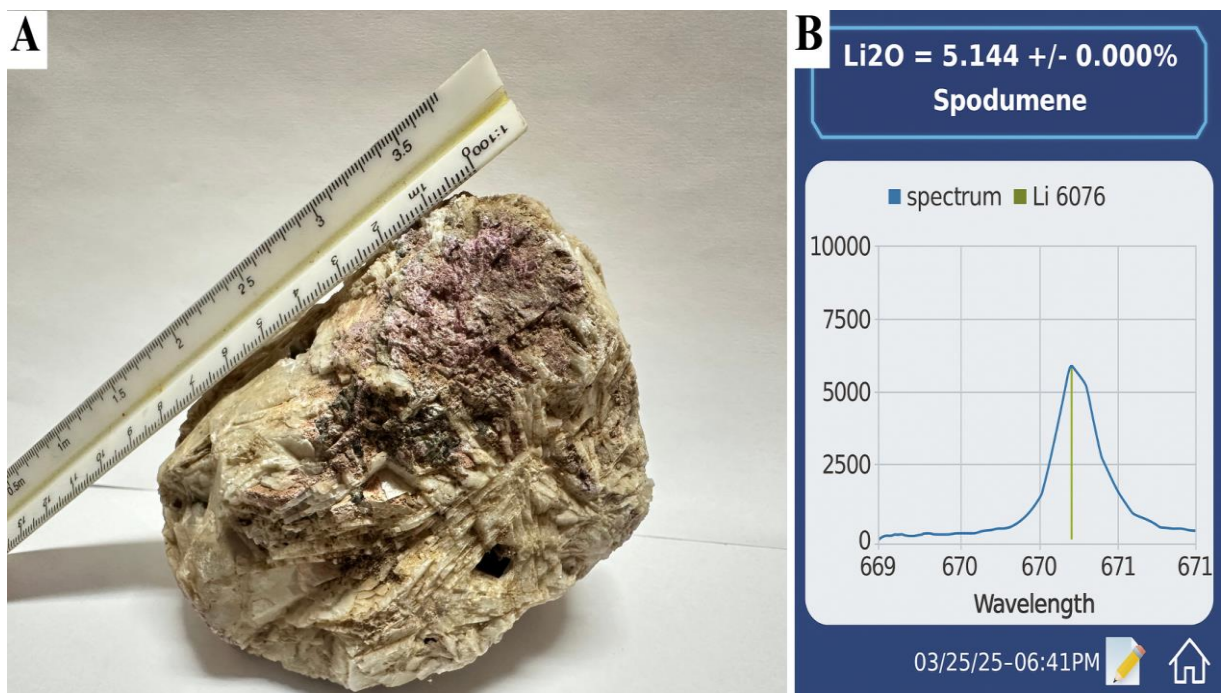


Figura 6.10 - A) amostra de mão de rocha pegmatítica com elbaíta-rubelita de hábito granular (cor rosa) e plagioclásio (albita) cor branco acinzentado e hábito clevelandítico. B) Visor da pistola PEGASUSLIBS com o resultado da análise na elbaíta-rubelita de 5,144% de Li_2O ao comprimento de onda de aproximadamente 670 nm.

Tabela 6.1 - Teor de Li em porcentagem (LiO₂) e Li em parte por milhão (ppm).

Amostras	Nº do Ponto	Li₂O (%)	Teor (ppm)
Berilo	25TF_006	0,11	510
Berilo	25TF_107	0,33	1.533
Lepidolita	25TF_097	9,1	42.260
Lepidolita	25TF_107	9,2	42.725
Muscovita	25TF_049	0,53	2.462
Muscovita	25TF_079	0,52	2.415
Muscovita	25TF_091	0,53	2.462
Muscovita	25TF_097	0,54	2.507
Turmalina	25TF_097	0,08	371
Turmalina	25TF_107	0,08	371
Elbaíta-rubelita	25TF_097	5,144	23.890

CAPÍTULO 7

7. LITOGEOQUÍMICA

A caracterização litogeoquímica consistiu na análise de seis (6) amostras de granito e duas (2) de anfibolito, em rocha total, pela determinação das concentrações de elementos maiores e traços. Com o objetivo de classificar as rochas, determinar o protólito dos anfibolitos e o ambiente de formação.

7.1 Elementos Maiores

Os elementos maiores são caracterizados pela abundância na crosta, quando ocorrem >1% em peso (Klein & Dutrow, 2012), sendo eles representados pelos óxidos: SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, TiO₂, MnO e P₂O₅.

Tabela 7.1 - Resultados das análises de elementos maiores nos granitos e anfibolitos.

ÓXIDOS (%)	BASE ÚMIDA							
	GRANITO 25TF_012	GRANITO 25TF_077	ANFIBOLITO 25TF_038	GRANITO 25TF_124	GRANITO 25TF_006	ANFIBOLITO 25TF_007	GRANITO 25TF_095	GRANITO 25TF_015
SiO ₂	74,61	73,72	46,53	74,11	75,27	49,75	69,54	74,57
TiO ₂	< LQ	< LQ	2,9	< LQ	0,13	1,96	0,39	< LQ
Al ₂ O ₃	14,92	15,54	14,38	14,57	14,24	14,65	15,77	14,15
Fe ₂ O ₃	0,61	0,35	15,07	0,32	0,9	11,16	2,62	0,74
MgO	< LQ	< LQ	6,42	< LQ	< LQ	5,99	1,01	< LQ
MnO	< LQ	0,34	0,18	< LQ	< LQ	0,16	< LQ	< LQ
CaO	0,23	0,2	10,03	0,51	0,51	11,15	3,33	0,48
Na ₂ O	4,14	7,56	1,78	3,22	3,34	1,99	4,11	3,39
K ₂ O	3,76	0,79	0,48	5,47	4,53	0,87	1,99	5,24
P ₂ O ₅	0,16	< LQ	0,23	0,14	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
SO ₃	0,33	0,34	0,3	0,33	0,32	0,27	0,27	0,35
LOI	1,12	0,53	0,81	0,83	1,19	1,81	0,82	0,83
Soma	99,88	99,37	99,11	99,5	100,43	99,76	99,85	99,75

(< LQ) = Abaixo do limite de quantificação.

No diagrama SiO₂ vs TiO₂ (Figura 7.1) de Tarney (1977), estão projetadas as análises do granito Banabuiú e dos anfibolitos da Unidade Acopiara, com intuito de discriminar a origem destas rochas, assim TiO₂ e SiO₂ foram utilizados como parâmetro geoquímico para determinação do protólito ígneo ou sedimentar.

As amostras de anfibolito situaram-se no campo sedimentar, com valores de aproximadamente 2 e 2,9% de TiO₂ e de 46 a 50% de SiO₂. A concentração de TiO₂ por ser um componente pouco móvel, reflete o conteúdo das rochas pretéritas. Os anfibolitos projetados no campo sedimentar não correspondem efetivamente com o seu protólito, visto que, os resultados das análises petrográficas e litogeoquímica de de La Roche *et al.*, 1980 (Figura 7.4) sugerem que o protólito dessas rochas seja ígneo.

Os valores apresentados pelo granito, representam valores ígneos típicos para a composição dos mesmos, com 0,2 a 0,5% de TiO₂ e 69 a 76% de SiO₂, o que reflete uma composição félsica, característica de granito.

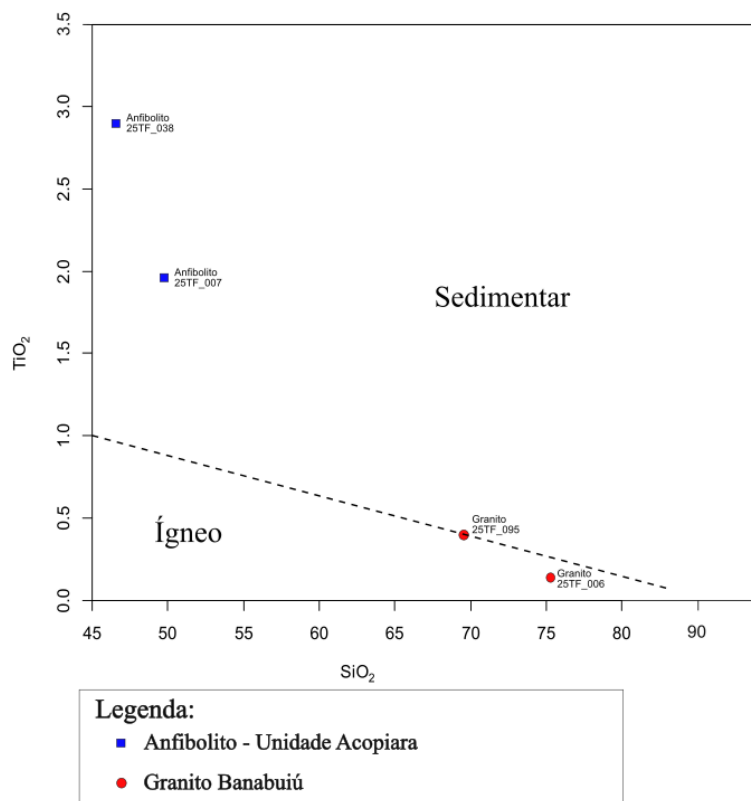


Figura 7.1: Diagrama SiO₂ vs TiO₂ (Tarney, 1977), com as projeções do granito no campo ígneo e anfibolito no campo de protólito sedimentar.

Em termos petrográficos, o diagrama de classificação de rochas plutônicas de Middlemost (1994), posiciona pelas relações Na₂O + K₂O vs SiO₂, a maioria das amostras como

granito, apenas uma das amostras posiciona-se como quartzo monzonito, essa última pelo menor conteúdo em SiO_2 .

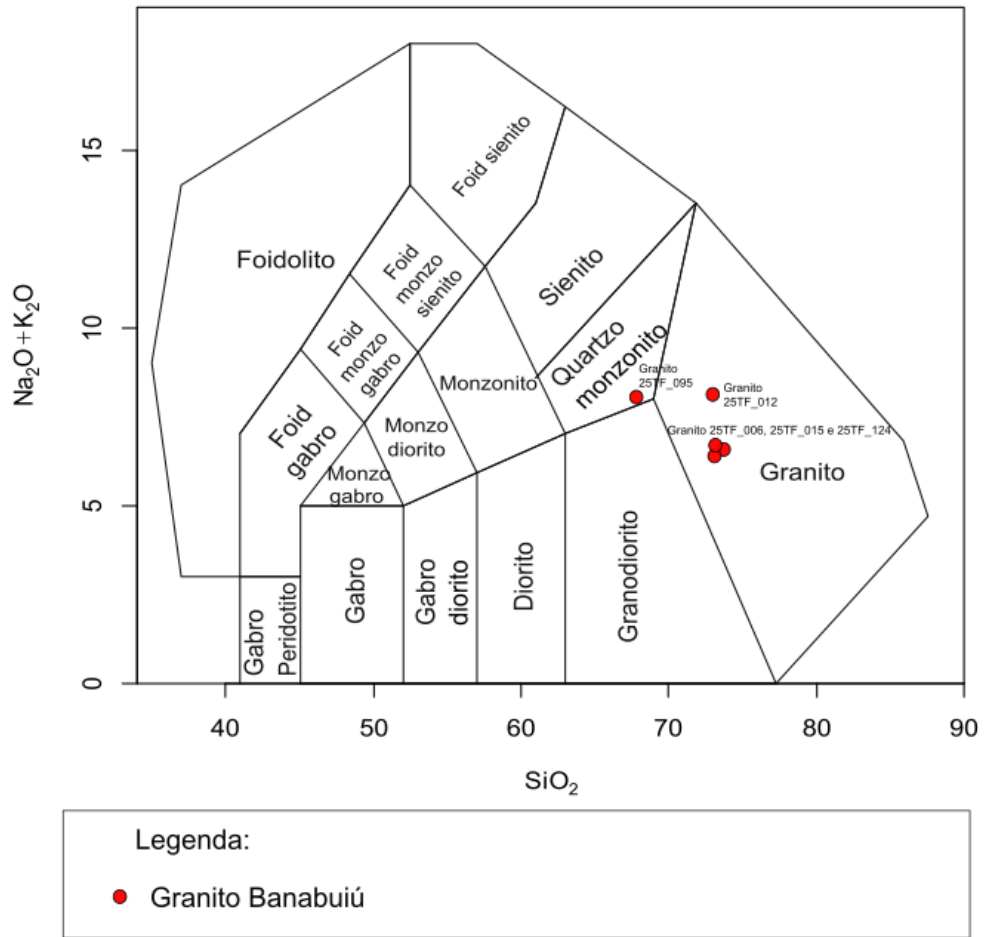
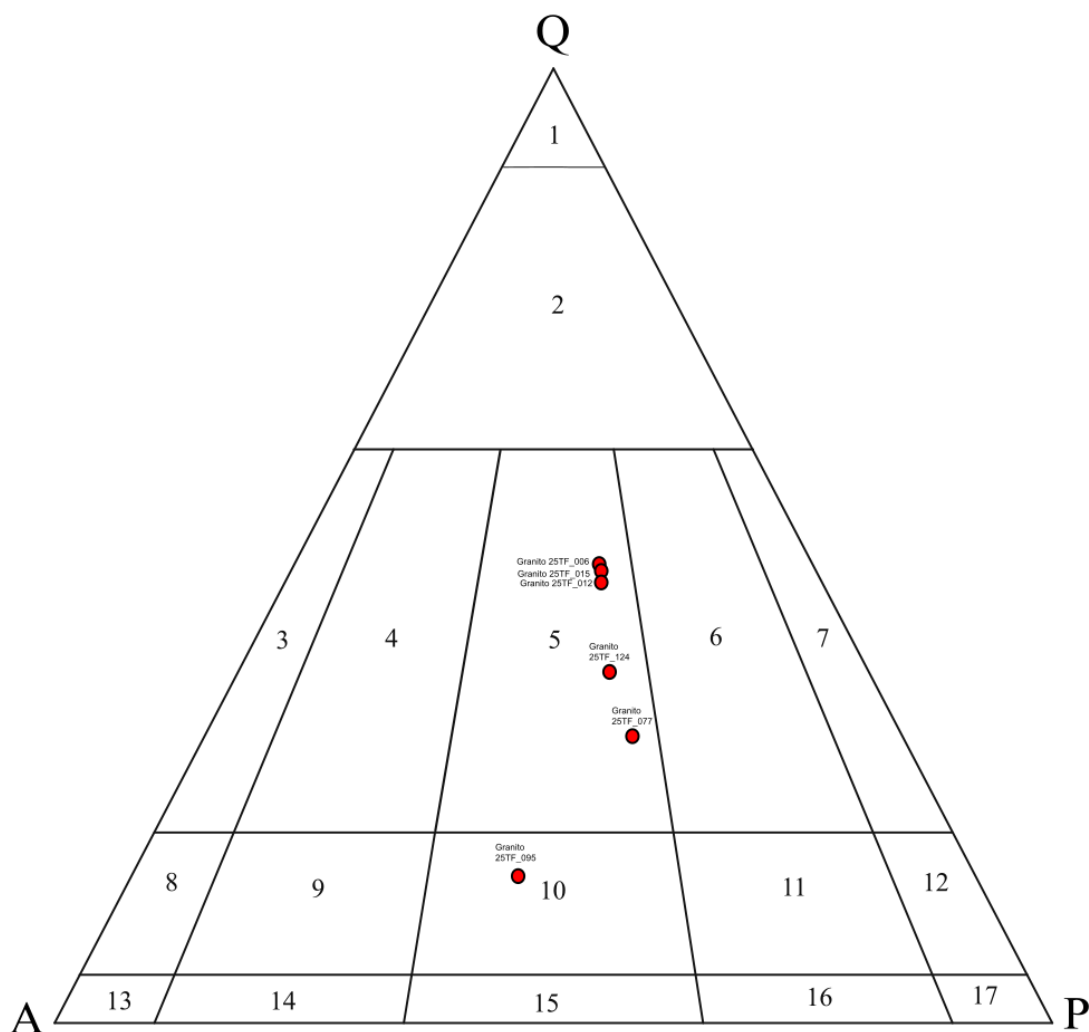


Figura 7.2: Diagrama de Middlemost (1994) com projeções dos granitos Banabuiú em sua maioria no campo dos granitos.

Também em termos classificatórios, o diagrama QAP (Streckeisen, 1976), corrobora com os termos acima apresentados, neste sentido, a maioria das rochas representam monzogranitos (granito sensu stricto), e uma das amostras como quartzo-monzonito (Figura 7.3).



Legenda:

Campos: 1 - Quartzolito; 2 - Granitoide rico em quartzo; 3 - Granito com feldspato alcalino; 4 - Sienogranito; 5 - Monzogranito; 6 - Granodiorito; 7 - Tonalito; 8 - Quartzo-sienito com feldspato alcalino; 9 - Quartzo-sienito; 10 - Quartzo-monzonito; 11 - Quartzo-monzogranito/Quartzo-monzogabro; 12 - Quartzo-diorito/Quartzo-gabro; 13 - Sienito com feldspato alcalino; 14 - Sienito; 15 - Monzonito; 16 - Monzodiorito/Monzogabro; 17 - Diorito/Gabro.

● Granito Banabuiú

Figura 7.3: Diagrama QAP (Streckeisen, 1976), com a maioria dos granitos posicionados como monzogranitos (granito *stricto sensu*), e uma amostra situada no campo do quartzo-monzonito.

O diagrama de La Roche et al. (1980), também empregados para efeito classificatório, baseado nos parâmetros $R1 = 4Si - 11(Na + K) - 2(Fe + Ti)$ e $R2 = 6Ca + 2Mg + Al$, projeta os granitos preferencialmente como granitos típicos com leve gradação para um granito alcalino. Outra amostra apresenta composição dispersa das demais, projetada como

granodiorito. Neste mesmo diagrama os anfibolitos situam - se no campo dos gabros (Figura 7.4).

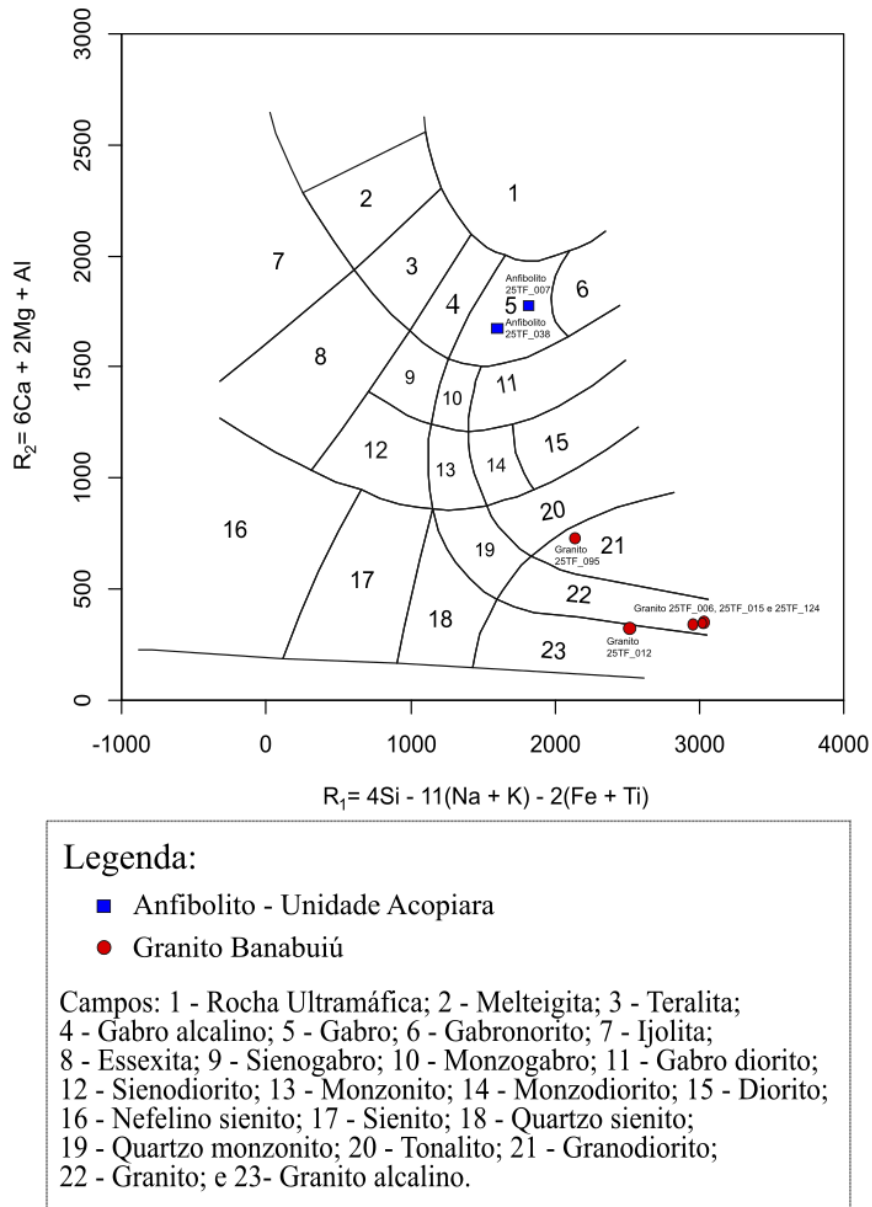


Figura 7.4: Diagrama de La Roche *et al.*, 1980, com as projeções de anfibolito e granito Banabuiú.

O diagrama de Debon & Le Fort (1983; 1988) utilizado tanto das amostras de granito quanto para anfibolito, permite definir as associações mineralógicas em rochas, baseado nos parâmetros $A = K/(Na + K)$ e $B = Fe + Mg + Ti$ (Figuras 7.5 e 7.6).

Através das projeções no diagrama de Debon & Le Fort (1983; 1988) (Figura 7.5), é possível observar que os anfibolitos apresentam em sua composição $Bt \pm Hbl \pm$ e $Hbl \pm Cpx \pm$, respectivamente, com valores de $B > 300$ e $A < 0$.

Relativo aos granitos, estão preferencialmente situadas no campo da associação leucocrática, com a presença de duas micas ($M_s > B_t$), indicando tratar-se de granitos formados por anatexia crustal. Apenas uma amostra ocorre na associação mesocrata, localizada no setor onde ocorre a presença apenas da biotita, podendo ser de origem híbrida (mantélica e crustal) ou somente mantélica. Ambas as amostras de granito apresentam caráter peraluminoso ($A < 0$) (Figura 7.6).

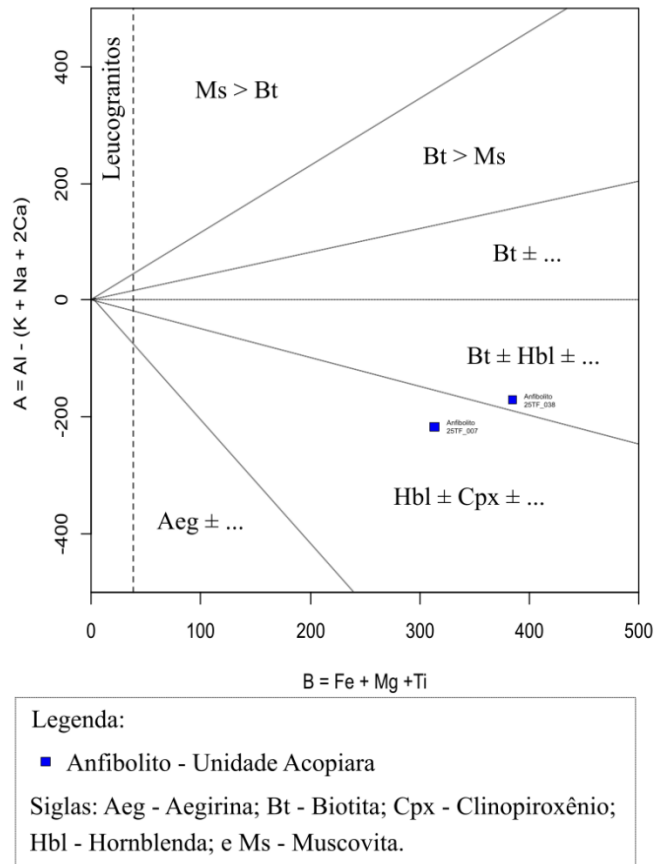
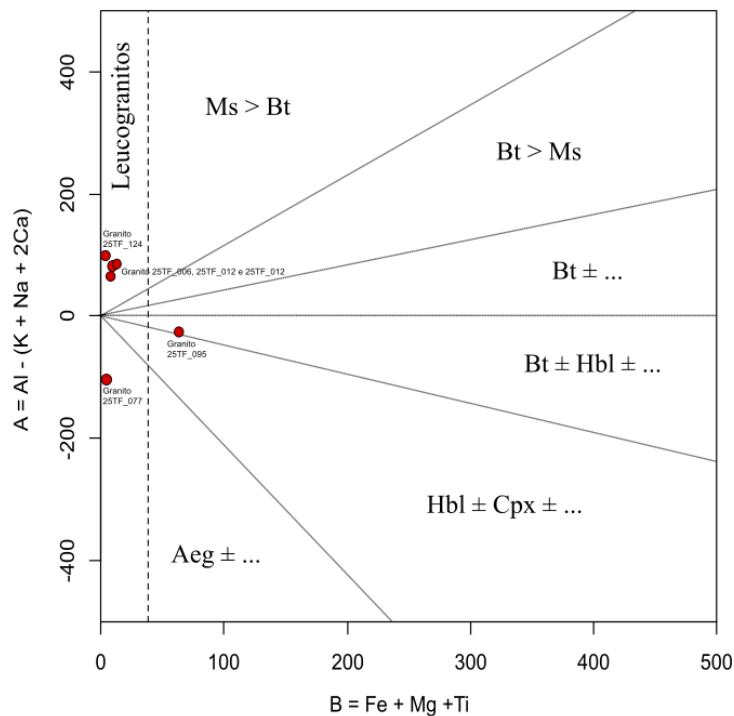


Figura 7.5: Diagrama de Debon & Le Fort (1983; 1988) com as projeções dos anfibólitos.



Legenda:

● Granito Banabuiú

Siglas: Aeg - Aegirina; Bt - Biotita; Cpx - Clinopiroxênio;
Hbl - Hornblenda; e Ms - Muscovita.

Figura 7.6: Diagrama de Debon e Le Forte (1983), com as projeções dos granitos Banabuiú.

O diagrama de variação A/CNK vs SiO_2 (Clarke, 1992) utilizado para classificar as rochas quanto a concentração de alumina, configura uma ferramenta para classificação de rochas graníticas em relação à origem e evolução do magma, podendo indicar sua fonte, seja crustal ou mantélica.

O diagrama abaixo (Figura 7.7) apresenta clara distinção nos granitos da área de estudo, observa-se uma predominância das amostras no campo de granitoides peraluminosos com valores de A/CNK superiores a 1, indicando a presença de minerais ricos em alumínio e maior contribuição supracrustal na petrogênese destes granitos, e no campo de granitoides metaluminosos, resultando em granitos com menor e/ou uma proporção mais equilibrada de Al em relação aos outros elementos CNK, que pode indicar uma contribuição mantélica.

Além disso, é possível observar que todos os granitos projetados como peraluminosos apresentaram maior concentração de SiO₂ (75%), e nos casos dos granitos metaluminosos, parte apresenta maior concentração de SiO₂ (entre 70 e 75%).

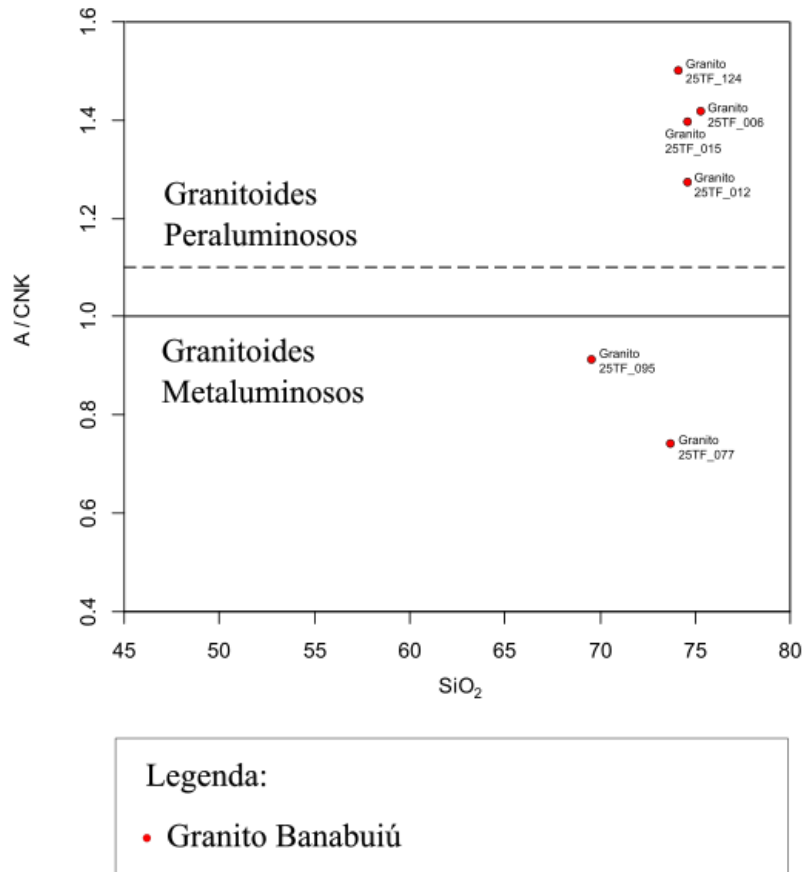


Figura 7.7: Diagrama de variação A/CNK vs SiO₂ (Clarke, 1992) para as amostras do granito Banabuiú.

Tendo em consideração a ambiência tectônica, para os granitos, no diagrama R1 vs R2 de Batchelor e Bowden (1985) (Figura 7.8), é possível observar que ocorre uma dispersão nos pontos projetados, entretanto preferencialmente as amostras estão postadas no campo que apresenta caráter sin-colisional, correspondente aos granitos com duas micas do tipo “S”, formados na Orogênese Brasileira (Arthaud, 2005).

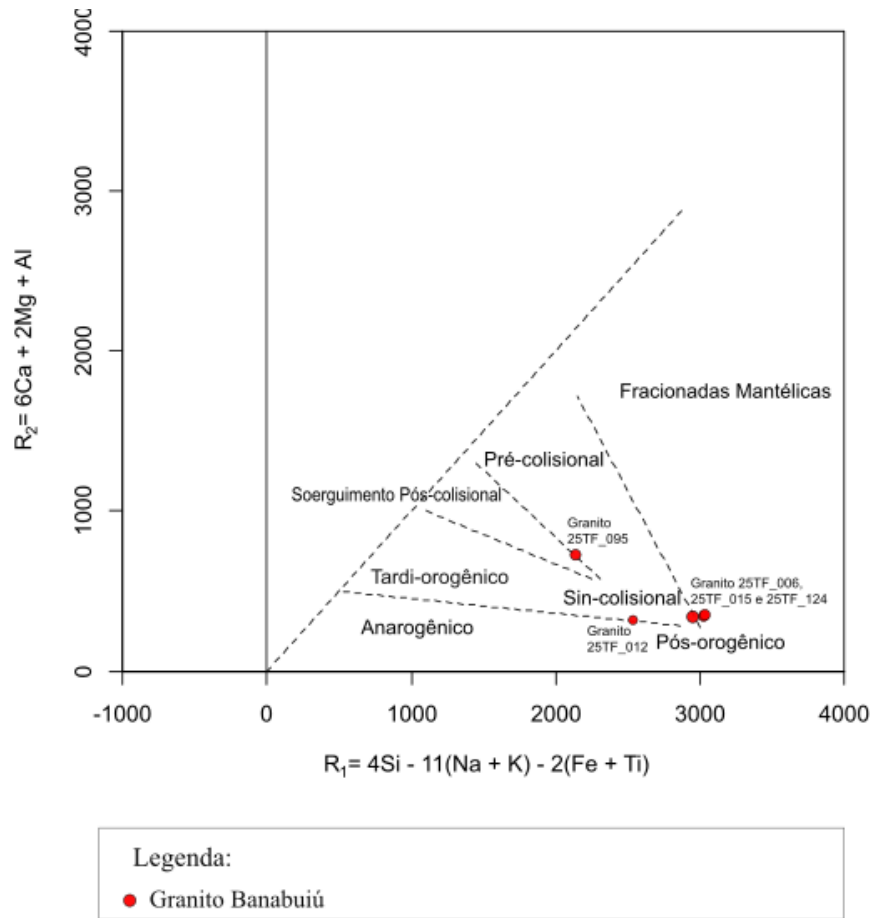


Figura 7.8: Diagrama R1 vs R2 de Batchelor e Bowden (1985), com os granitos plotados.

7.2 Elementos Traços

Os elementos traço são caracterizados também pela abundância na crosta, mas com ocorrência < 0,1% em peso (Klein & Dutrow, 2012), entre os quais podemos citar Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Cd, Sn, Sb, Ba, La, Ce, Pb, Th e U.

Tabela 7.2 - Resultados das análises de elementos traços analisados tanto dos granitos quanto dos anfibólitos (ppm).

LIMITE DE DETECÇÃO MÍNIMO (ppm)	ELEMENTOS ANALISADOS (ppm)	GRANITO 25TF_012	GRANITO 25TF_077	ANFIBOLITO 25TF_038	GRANITO 25TF_124
5	Sc	< LQ	< LQ	31	< LQ
15	V	< LQ	< LQ	330	< LQ
20	Cr	< LQ	< LQ	32	< LQ

10	Co	<LQ	<LQ	41	<LQ
10	Ni	<LQ	<LQ	41	<LQ
15	Cu	19	<LQ	56	<LQ
20	Zn	39	<LQ	65	27
5	Ga	30	22	104	25
10	As	19	<LQ	23	<LQ
10	Rb	275	59	<LQ	193
20	Sr	<LQ	48	<LQ	76
15	Y	<LQ	<LQ	385	<LQ
20	Zr	<LQ	31	22	36
5	Nb	10	10	133	6
20	Mo	<LQ	<LQ	17	<LQ
10	Cd	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
10	Sn	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
10	Sb	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
50	Ba	<LQ	94	264	217
15	La	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
20	Ce	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
15	Pb	23	<LQ	<LQ	53
10	Th	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
10	U	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ

(< LQ) = Abaixo do limite de quantificação.

Tabela 7.3 - Continuação dos resultados das análises de elementos traços analisados tanto dos granitos quanto dos anfibolitos (ppm).

LIMITE DE DETECÇÃO MÍNIMO (ppm)	ELEMENTOS ANALISADOS (ppm)	GRANITO 25TF_006	ANFIBOLITO 25TF_007	GRANITO 25TF_095	GRANITO 25TF_015
5	Sc	<LQ	27	<LQ	<LQ

15	V	<LQ	218	47	<LQ
20	Cr	<LQ	69	<LQ	<LQ
10	Co	<LQ	34	<LQ	<LQ
10	Ni	10	62	<LQ	<LQ
15	Cu	<LQ	49	52	15
20	Zn	32	86	43	32
5	Ga	24	22	21	22
10	As	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
10	Rb	202	32	41	193
20	Sr	134	265	523	109
15	Y	<LQ	20	<LQ	<LQ
20	Zr	33	118	100	42
5	Nb	6	12	14	5
20	Mo	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
10	Cd	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
10	Sn	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
10	Sb	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
50	Ba	470	467	472	316
15	La	<LQ	<LQ	18	<LQ
20	Ce	<LQ	<LQ	20	<LQ
15	Pb	31	<LQ	<LQ	35
10	Th	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
10	U	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ

(<LQ) = Abaixo do limite de quantificação.

O diagrama de discriminação tectônica Y+Nb vs Rb e Y vs Nb é aplicado para definir os ambientes em que as rochas foram geradas, como intraplacas (WPG), cadeias oceânicas (ORG), arcos vulcânicos (VAG) e colisão continental (Syn-COLG). Mesmo com as restrições composicionais, foram geradas as projeções das amostras de anfibólito. Nas rochas graníticas

não foi possível devido ao limite de quantificação dos elementos Y, Rb e Nb pela análise de XRF.

Os anfibolitos foram projetados nos campos de arco vulcânico e arco vulcânico sin-colisionais, corroborando com as discussões das deformações ocorridas no Transamazônico (Paleoproterozoico).

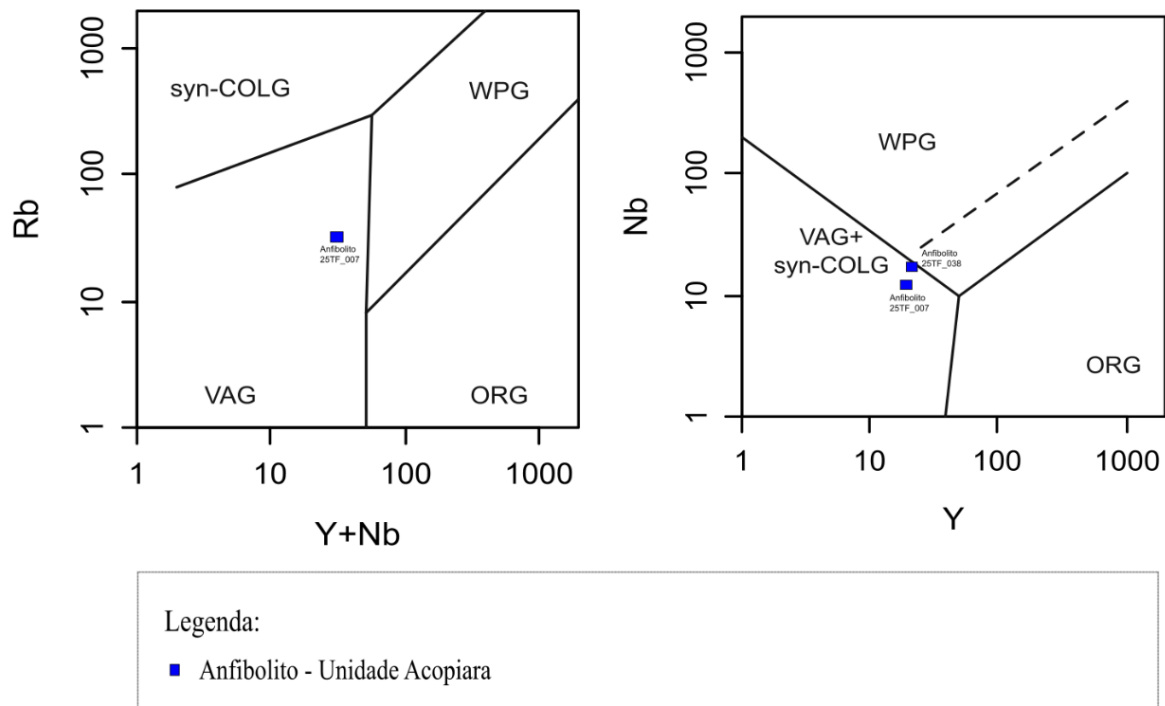


Figura 7.9: Diagrama de discriminação tectônica Y+Nb vs Rb e Y vs Nb de Pearce et al. (1984), respectivamente, com as projeções dos anfibolitos.

O diagrama multielementar normalizado segundo o manto primitivo (Sun & McDonough, 1989) é utilizado para comparar a composição da rocha com o manto primitivo, com intuito de determinar se houve fusão parcial e contaminação crustal.

Em relação ao diagrama multielementar das amostras de anfibolito (Figura 7.10) é possível observar o comportamento semelhante entre as duas amostras analisadas, com o enriquecimento em Ba, Ce, La, K e P e o decréscimo em relação aos teores de Nb, Sr e Y, Yb e Lu. Esse comportamento decrescente aliado ao enriquecimento dos elementos incompatíveis como Ba, Ce e La indicam a contribuição crustal na geração dessas rochas.

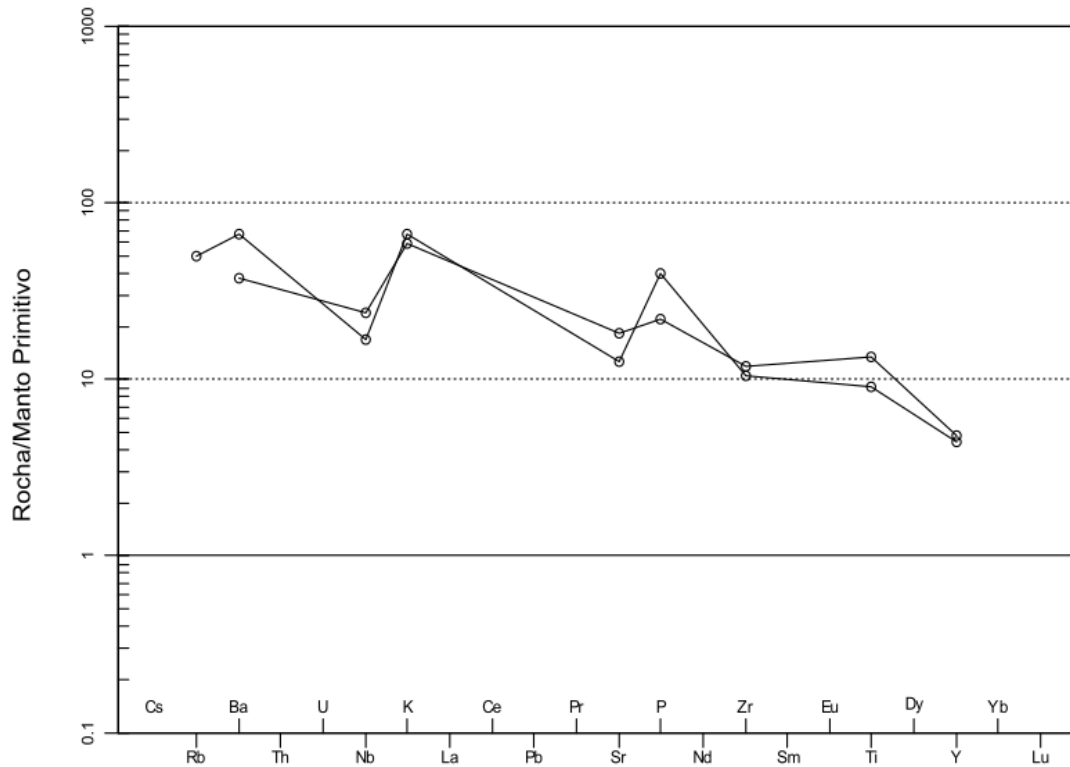


Figura 7.10: Diagrama multielementares para as amostras de anfibolito, normalizadas com os valores do manto primitivo (Sun & McDonough, 1989).

No caso das amostras de granito (Figura 7.11) observa-se enriquecimento em relação aos elementos Rb, La, Ce, Pb, P e Nd, e o empobrecimento referente aos elementos Nb, Sr e Ti. Esse comportamento com elevada concentração de elementos incompatíveis indica contribuição crustal e o processo de cristalização fracionada nos magmas graníticos.

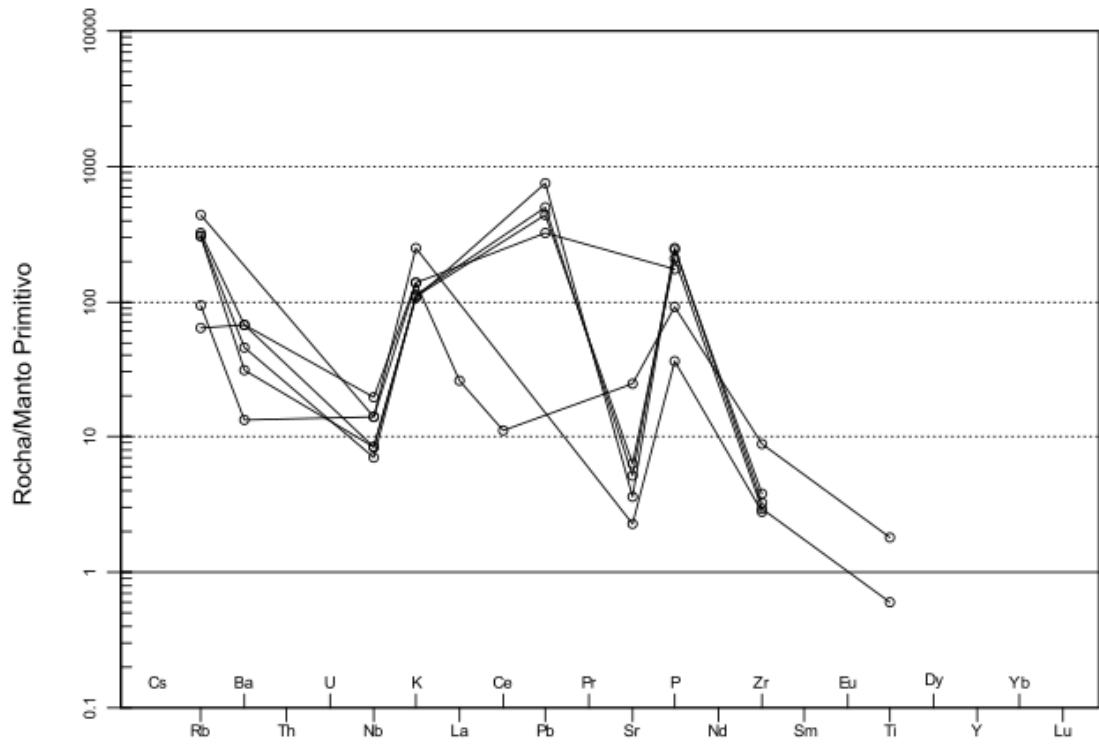


Figura 7.11: Diagrama multielementares para as amostras de granito, normalizadas para valores do manto primitivo (Sun & McDonough, 1989).

CAPÍTULO 8

8. METAMORFISMO

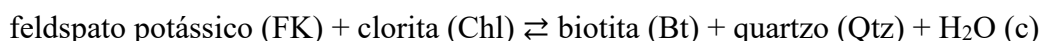
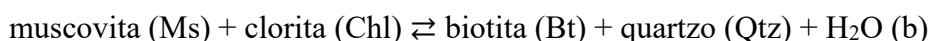
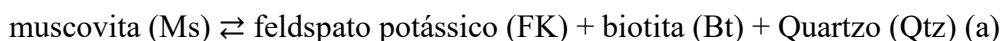
A interpretação sobre o metamorfismo que afetou a área de estudo, foi baseada nas associações minerais descritas pela petrografia e pelos dados de química mineral dos gnaisses e anfibólitos da Unidade Acopiara.

8.1 Associações Minerais Metamórficas

As associações minerais presente no muscovita gnaisse (i), muscovita xisto (ii), anfibólio gnaisse (iii), e anfibólito (iv), são descritas a seguir:

(i) muscovita gnaisse: composto por quartzo (Qtz) + muscovita (Ms) + biotita (Bt) ± clorita (Chl) + plagioclásio (Pl) ± feldspato potássico (FK);

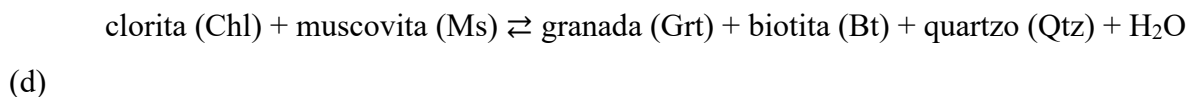
A associação mineral reconhecida no muscovita gnaisse, pode ser expressa através das seguintes reações, segundo Winkler (1978) e Yardley (2004):



O aumento na temperatura e pressão na muscovita faz com que ocorra reação de “rompimento”, gerando feldspato potássico, biotita e quartzo (a). As associações de muscovita + clorita (b), e feldspato potássico + clorita (c) favorecem o surgimento da biotita.

(ii) muscovita xisto: constituído por quartzo (Qtz) + plagioclásio (Pl) + muscovita (Ms) + granada (Grt).

A presença da granada indica que estas rochas foram geradas em condições de intermediárias a elevadas de pressão e temperatura, e de contribuição pelítica no metamorfismo. Essa associação mineralógica pode surgir conforme Winkler (1978) e Yardley (2004) da seguinte reação:

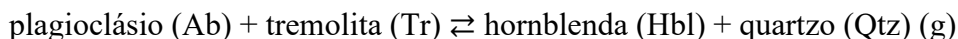
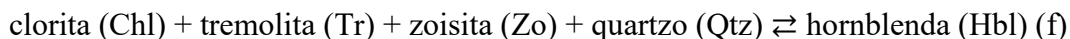
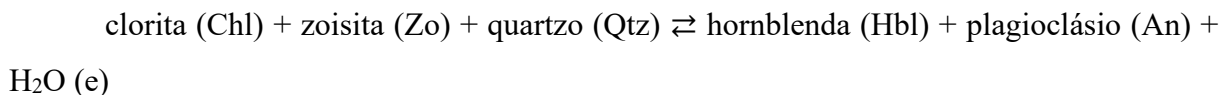


Nesta reação, a clorita se associa a muscovita para geração de granada, biotita e quartzo, sob condições de pressão entre 4 e 7 kbar e temperatura próxima a 550°C.

(iii) hornblenda gnaisse: constituído por anfibólio (Am) + quartzo (Qtz) + plagioclásio (Pl) ± feldspato potássico (FK).

(iv) anfibólito: anfibólio (Am) + quartzo (Qtz) + plagioclásio (Pl) ± feldspato potássico (FK).

Cabe ressaltar que o anfibólio principal presente nestas associações acima destacadas (iii) e (iv), é a hornblenda, e cuja reações de aparecimento deste mineral, em decorrência do metamorfismo, podem ser expressas da seguinte forma:



A reação “a” gera um componente de plagioclásio rico em cálcio (An), que, combinado com a albita (b), produz oligoclásio, além de contribuir para o aparecimento da Hornblenda.

Conforme salientado na petrografia (Capítulo 6), a clorita se forma às expensas da biotita, o que demonstra condições retrometamórficas em algum grau, sendo formada pela reação inversa do metamorfismo progressivo (b e c).

8.2 Termobarometria

Com intuito de estabelecer uma estimativa das condições de pico metamórfico (T°C e P kbar), foram aplicados geobarômetro e geotermômetro na hornblenda, baseado nos conteúdos de alumínio total (Al total - geobarômetro) e titânio (Ti - geotermômetro), cujo cálculos da fórmula estrutural para hornblenda, obedeceram a base 23 Oxigênios.

No caso do geobarômetro, foi aplicada a calibração de Hammarstrom e Zen (1986), a qual segue a relação linear com a pressão ($P [\pm 1 \text{ kbar}] = -4.76 + 5.64 \text{ Al}^{\text{tot}}$), e considera o $\text{Al}^{\text{tot}} = \text{Al}^{\text{IV}} + \text{Al}^{\text{VI}}$ por fórmula unitária. Os valores para as três hornblendas analisadas vêm na tabela abaixo:

Tabela 8.1 – Valores de Al^{tot} , $\text{Al}^{\text{(iv)}}$ e $\text{Al}^{\text{(vi)}}$, por fórmula estrutural de hornblendas calculados na base de 23 O, e pressões metamórficas correspondentes.

Hornblenda	Al^{tot}	$\text{Al}^{\text{(iv)}}$	$\text{Al}^{\text{(vi)}}$	P [± 1 kbar]
Hbl 4	2,722	1,472	1,250	10,59
Hbl 2	2,400	1,293	1,107	8,776
Hbl 5	2,600	1,369	1,231	9,904

Tais pressões corresponderiam a condições metamórficas em fácies anfibolito alto, relativas a profundidades crustais de aproximadamente 25 a 30 km.

O geotermômetro aplicado para as hornblendas compreendeu o conteúdo total de Ti nesse mineral, com calibração de Ottem (1984). Para tal geotermômetro, fica estabelecida uma função linear entre as proporções de Ti contidas nos sítios cristalográficos tetraedral e octaedral do mineral, calculado sob 23 Oxigênios, e a pressão sob a qual a mesma se forma. Assim, para $T > 970 \text{ }^\circ\text{C}$ a relação atende a $T \text{ (}^\circ\text{C)} = 273 \times (\text{Ti}) + 877$, e para temperaturas inferiores a $970 \text{ }^\circ\text{C}$, $T \text{ (}^\circ\text{C)} = 1.204 \times (\text{Ti}) + 545$. Neste sentido, por tratar-se de hornblenda provavelmente geradas em condições de fácies anfibolito, optou-se pela segunda relação no cálculo das temperaturas. A tabela abaixo exhibe os valores de temperatura obtidos.

Tabela 8.2 – Valores de Ti por fórmula estrutural de hornblendas calculados na base de 23 O, e temperaturas de pico metamórfico correspondentes.

Hornblenda	Ti	T (°C)
Hbl 4	0,172	752
Hbl 2	0,225	816
Hbl 5	0,160	647

A considerar as temperaturas obtidas, aquelas relativas a Hbl 2 e Hbl 4, indicam condições de fácies granulito, o que não é condizente com as associações minerais reconhecidas pelos estudos petrográficos. Por outro lado, o valor referente ao Hbl 5, é compatível com as condições de fácies anfibolito superior.

CAPÍTULO 9

9. TECTÔNICA

As rochas presentes na área de estudo apresentam concordância entre si quanto à direção dos corpos, os quais apresentam uma foliação S_{n+1} com direção preferencial NE-SW e N-S de mergulhos médios a elevados para oeste. As foliações observadas nas rochas, além do estiramento dos minerais (L_{n+1}), são evidências de condições deformacionais em regime de cisalhamento simples, caracterizando uma zona de cisalhamento dúctil transgressivas a transcorrentes na região (Marques Jr & Nogueira Neto, 1992).

A Unidade Acopiara, representada por gnaisses, xistos e anfibolitos apresentam foliação com mergulho preferencial para oeste e noroeste, com ângulo de mergulho subvertical a vertical, transpondo a foliação S_n , dobrada isoclinalmente e também vertical, conforme ilustrado no estereograma da figura (8.1). Essa foliação (S_{n+1}) que ocorre primordialmente nos gnaisses corresponde a foliação regional principal com direção preferencial NE-SW descrita por Marques Jr & Nogueira Neto (1992). Além desta, foram identificadas em alguns corpos graníticos (Granito Banabuiú) a presença de foliação de fluxo magmático, também representada no estereograma, que apresenta direção de mergulho similar aos gnaisses, mas com ângulo de mergulho mais baixo, em torno de 37° a 65° .

A área de estudo foi submetida a dois eventos orogenéticos, o Ciclo Transamazônico e o Ciclo Brasileiro, que impuseram uma série de mudanças litológicas e estruturais nas rochas da região, culminando no padrão tectônico regional da área (Marques Jr & Nogueira Neto, 1992). Durante o Ciclo Transamazônico o metamorfismo atuante nos sedimentos pré-existentes gerou estruturas de caráter dúcteis cisalhantes, desenvolvendo uma foliação designada por S_n , que afetou a maior parte do embasamento cristalino. A ocorrência do Ciclo Brasileiro foi responsável pela reativação das estruturas desenvolvidas no Transamazônico, promovendo a ascensão de magmas graníticos, granodioríticos e pegmatíticos ácidos, e um metamorfismo de médio a alto grau em fácies anfibolito (Marques Jr & Nogueira Neto, 1992; Lima 2007).

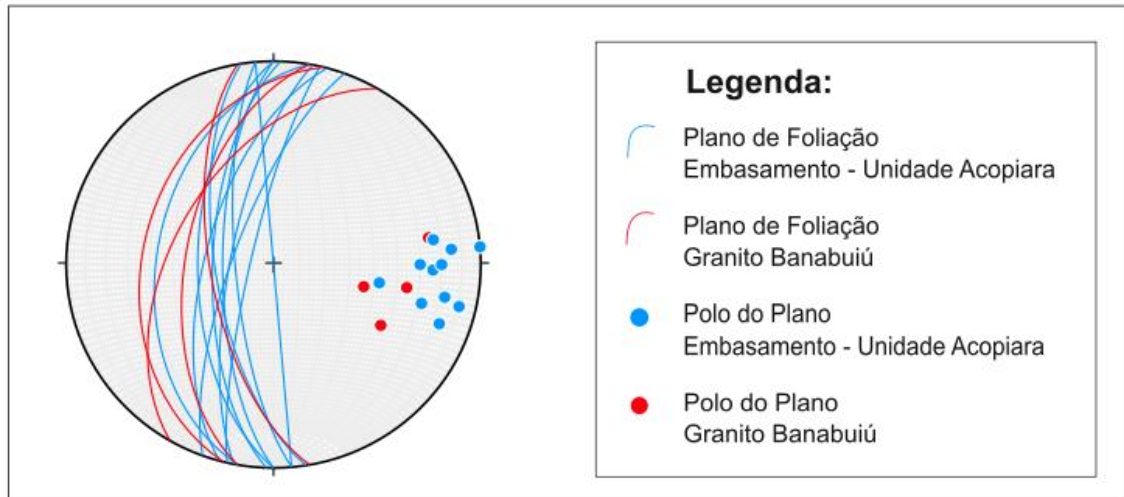


Figura 9.1: Estereograma confeccionado a partir das medidas estruturais (foliações) coletadas em campo dos gnaisses e granitos.

CAPÍTULO 10

10. EVOLUÇÃO GEOLÓGICA

Considerando toda a questão das unidades mapeadas reconhecidas, assim como, pautado em trabalhos anteriores da região, são registrados pelo menos dois eventos orogênicos importantes, a saber, um de idade Paleoproterozoica, designado por orogenia Transamazônica (i), e outro do Neoproterozoico, chamado de orogênese brasileira/pan-africana (ii).

A orogenia Transamazônica, foi responsável pela formação dos protólitos do embasamento da área, correspondentes a Unidade Acopiara, na qual identificou - se dois pulsos de acreção crustal, o primeiro caracterizado por acreção juvenil, e o segundo por amalgamação do material crustal juvenil, e retrabalhamento ou enriquecimento da crosta, por fragmentos crustais arqueanos, este último evento, foi assim definido por orogenia Transamazônica (Fetter et al., 2000).

A orogenia Transamazônica possui idade compreendida entre 2,2 a 2,0 G.a., e envolveu a fusão dos blocos crustais, DMC, DCC e o Domínio do Rio Grande do Norte (DRN), os quais posteriormente foram submetidos a um rifteamento intracratônico de idade 1,8 G.a. o que corrobora com a existência de um supercontinente “Atlântida” no Paleoproterozoico (Fetter et al., 2000).

A Unidade Acopiara compõe parte do DCC, especificamente constituem os Terrenos acrescionários do Paleoproterozoico, formados a partir de ambientes do tipo arco de ilha, que posteriormente sofreram metamorfismo em torno de 600 M.a. (Lima, 2014), formando então os gnaisses migmatizados, caracterizados por uma tectônica de baixo ângulo, com direção E-SE (Fetter, 1999; Arthaud, 2007). A idade deste conjunto, através da datação U-Pb, situa a geração dos protólitos em 2.095 ± 33 M.a. (Lima, 2014).

Durante o cinturão orogênico Brasileiro originou - se a PB a partir da convergência e aglutinação de terrenos dos crátons Oeste Africano, Amazônico e São Francisco-Congo-Kasai, durante a formação do supercontinente Gondwana a aproximadamente 600 M.a. (Almeida *et al.*, 1977; Van Schmus *et al.*, 1997; Amaral & Santos, 2008; Hasui *et al.*, 2012; Santos *et al.*, 2014). A PB é formada por uma grande variedade de litotipos com idades que vão desde o Arqueano ao Paleozoico, sendo constituída pelos domínios DMC, DCC, DOJ, DG e DPAB (Marques Jr & Nogueira Neto, 1992; Hasui *et al.*, 2012; Santos et al., 2014; Arthaud *et al.*, 1998).

A orogênese do Brasileiro ocorreu entre 900 e 540 M.a., resultando a partir da convergência e aglutinação dos crátons, espessamento crustal, e aumento da pressão e

temperatura. Com isto, ocorre o metamorfismo e fusão parcial do embasamento, gerando assim, xistos e anfibolitos intercalados com os gnaisses migmatizados, aferindo condições de Fácies Xisto Verde alto a Anfibolito. Com o acréscimo da temperatura os fundidos anatéticos em grande escala, geraram o granito Banabuiú sin a tardi-tectônico. A idade da intrusão desta rocha foi situada em de $578,6 \pm 6,5$ M.a. caracterizando a última fase da fusão parcial do Brasileiro (Nogueira Neto, 2004; Lima *et al.*, 2010; Lima, 2014).

Por fim, após a cristalização dos granitos do Tipo S gerados a partir da fusão parcial, rico em H₂O, voláteis e elementos incompatíveis, produziram líquido residual que proporcionou a formação dos pegmatitos. Estes pegmatitos apresentam contato intrusivo com os granitos e os gnaisses migmatizados, os quais foram datados em aproximadamente 530 M.a.. Toda a região exibe forte controle estrutural, definido pelas zonas de cisalhamento Senador Pompeu e Orós (Lima *et al.*, 2007; 2009; Marques Jr *et al.*, 1988; Marques Jr & Nogueira Neto, 1992).

CAPÍTULO 11

11. CONCLUSÃO

O presente trabalho, realizado a partir do mapeamento de detalhe (1:10.000) aliado às análises petrográficas, química mineral e litogeoquímica, permitiu o estabelecimento das seguintes conclusões:

- (i) Reconhecimento de três unidades litoestratigráficas (Unidade Acopiara, Granito Banabuiú e Pegmatitos), que estão em conformidade com o mapeamento regional da Folha Quixeramobim - SB.24-V-D-III (Almeida et al., 2008), além de identificar regiões com possíveis concentrações de minerais com teores consideráveis de lítio.
- (ii) O embasamento da área de estudo (Unidade Acopiara) de idade Paleoproterozoica é formado por gnaisses parcialmente migmatizados, intercalados com anfibolitos e xistos, que apresentam foliação S_{n+1} com direção preferencial NE-SW e N-S, e mergulhos médios a elevados para oeste. Tal foliação principal apresenta direção preferencial concordante com a descrita por Marques Jr & Nogueira Neto (1992).
- (iii) As análises petrográficas realizadas nas rochas do embasamento, permitiram reconhecer condições metamórficas de fácies anfibolito, apesar da divergência entre os dados obtidos utilizando o geotermômetro/geobarômetro onde duas das três amostras utilizadas indicam tratar-se de fácies granulito, e apenas uma amostra demonstrou ser compatível com as condições de fácies anfibolito superior. Sendo representado pela associação mineral de pico metamórfico Am+Pl, com temperatura de 647°C.
- (iv) A divergência acima salientada, pode ser explicada pelo uso do EDS, cuja técnica é qualitativa.
- (v) A partir das análises de petrografia e litogeoquímica realizadas nas amostras de anfibolito, foi possível determinar a composição pretérita, como sendo gabroica.
- (vi) Os anfibolitos foram projetados nos campos de arco vulcânico e arco vulcânico sin-colisionais, o que corrobora com as discussões das deformações ocorridas no Transamazônico (Paleoproterozoico).
- (vii) Os granitos da região estudada (Granito Banabuiú), de idade Neoproterozoica apresentam foliação de fluxo concordante com o embasamento, demonstrando

que tanto embasamento quanto granitos, sofreram efeitos deformacionais, mesmo que tardios no caso dos granitos.

- (viii) Foi possível concluir que os granitos correspondem ao tipo S, pela presença das duas micas observadas nas análises petrográficas, assim como dados litogeoquímicos composicionais.
- (ix) As análises geoquímicas realizadas nas amostras dos granitos resultaram na classificação de monzogranitos (granito stricto sensu) em sua maioria, e também quartzo-monzonito. Os granitos estão preferencialmente situados no campo da associação leucocrática, com caráter peraluminoso apresentando $Ms > Bt$, indicando tratar-se de granitos formados por anatexia crustal.
- (x) A projeção preferencial no campo “sin-colisional”, é correspondente aos granitos com duas micas do tipo “S”, formados na Orogênese Brasileira. Para a geração dos granitos os resultados das análises indicam contribuição crustal e o processo de cristalização fracionada nos magmas graníticos.
- (xi) Os pegmatitos são classificados como LCT e apresentam duas composições e estruturas distintas, uma mais rica em feldspato potássico e outra com maior proporção de albita e biotita apresentando a textura “espinha de peixe”.
- (xii) A partir das análises químicas de FC e o analisador portátil de lítio, foram reconhecidas concentrações significativas de Li nos minerais presentes, como no caso da lepidolita com 42.725 ppm. Também encontrou – se Li em minerais onde o Li não compõe a estrutura, como por exemplo a muscovita 2.507 ppm, berilo 1.533 ppm, turmalina rosa (elbaíta-rubelita) 23.890 ppm e turmalina preta 371 ppm.

Diante os estudos realizados e a constatação do potencial significativo da área com relação a ocorrência de lítio, faz-se necessário um maior aprofundamento em estudos e mapeamentos geológicos na região para o melhor entendimento da evolução desses corpos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F. F. M. et al. Províncias Estruturais Brasileiras. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8. 1977, Campina Grande. Boletim Resumos. Campina Grande: SBG, 1977. v. 6, p.363-391.

ALMEIDA, A. R.; PARENTE, C. V.; ARTHAUD, M. H. 2008. Geologia da folha Quixeramobim – SB.24-V-D-III. Programa Geologia do Brasil. UFC/CPRM. Ceará. p. 139-144.

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.

AMARAL, W.S.; SANTOS, T. J. S. 2008. Airborne geophysical and tectonics of the Ceará Central Domain, eastern region of the Santa Quitéria magmatic arc, Borborema Province, NE Brazil. *Revista Brasileira de Geofísica*. Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Campinas. 16 p.

ARCANJO, J. B. A. 2011. Fotogeologia: conceitos, métodos e aplicações. Salvador. CPRM.

ARTHAUD, M. H., VASCONCELOS, A. M., NOGUEIRA NETO, J.A., OLIVEIRA, F.V.C., PARENTE, C.V., MONIE, P., LIEGEOIS, J.P., CABY, R. & FETTER, A., 1998. International conferences on Pre-Cambrian and Craton Tectonics. Ouro Preto. International Basement Tectonics Association, 84-85p.

ARTHAUD, M.H. 2005. Geologia e tectônica no Domínio Ceará Central. Qualificação ao Doutorado em Geologia, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília (UNB).270p.

ARTHAUD, M.H. 2007. Evolução Neoproterozoica do Grupo Ceará (Domínio Ceará Central, NE do Brasil): Da Sedimentação à Colisão Continental Brasileira. Tese de Doutorado. Universidade de Brasília. 133p.

BATCHELOR, R. A.; BOWDEN, P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. *Chem Geol* 48. p. 43-55

BUCKLEY, S.G. 2014. LIBS Basics, Part I: Measurement Physics and Implementation. *Spectroscopy Online*. v 29. 1º ed. Disponível em: <https://www.spectroscopyonline.com/view/libs-basics-part-i-measurement-physics-and-implementation> Acesso em: 28 de outubro de 2025.

CAMPOS, M. DE, BRAGA, A. DE P.G., SOUZA E.M. DE et al., 1976: Projeto Rio Jaguaribe. Relatório final, v. 1. DNPM/CPRM. Recife. 149p.

CAVALCANTE, J. C. Limites e evolução geodinâmica do sistema Jaguaribeano, Província Borborema, Nordeste do Brasil. 1999. 177p. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 1999.

CERNY, P. ERCIT, T.S. (2005) The Classification of Granitic Pegmatites Revisited. *The Canadian Mineralogist*, 43, 2005-2026.

CLARKE, D.B. 1992. *Granitoid rocks*. Chapman and Hall, London. 283 pp.

DANTAS, E. L.; HACKSPACHER, P. C.; VAN SCHMUS, W.R. & BRITO NEVES, B.B. 1998. Archean accretion in the São José do Campestre Massif, Borborema Province, Northeast Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 28: 221-228.

DEBON, F.; LE FORT, P. 1983. A chemical–mineralogical classification of common plutonic rocks and associations. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh, Earth Sciences* 73. p. 135–149.

DEBON, F.; LE FORT, P. 1988. A cationic classification of common plutonic rocks and their magmatic associations: principles, method, applications. *Bulletin de Minéralogie* 111. p. 493–510.

DEBON, F. & LE FORT, P. 1983. A chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks and associations. *Trans. R. Soc. Edinburgh Earth Sci.*, 73: 135-149. Debon, F. & Le Fort, P. 1988. A cationic classification of common plutonic rocks and their magmatic associations: principles, method, applications. *Bull. Miner.* 111: 493 510.

DE LA ROCHE, H.; LETERRIER, J.; GRANDECLAUDE, P.; MARCHAL, M. 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1R2- diagram and major element analyses - its relationships with current nomenclature. *Chem Geol* 29. p. 221-228.

DIAS, L.S.O. (2022). Monitoramento Microssísmico de uma Cava e Barragem de Rejeitos em Mineração - Estudo de Caso de Cajati/SP. Tese de Doutorado. UFRJ. Rio de Janeiro. p. 33

DORADO, A. C. 1989. *Petrografia Basica: texturas, clasificacion y nomenclatura de rocas*. Madrid: Paraninfo, 1989.

FERNÁNDEZ-SANCHÉZ, M.L.; FERNÁNDEZ-ARGUELLES, M.T.; COSTA-FERNÁNDEZ, J.M. 2019. Espectometria de Emissão Atômica | Fotometria de Chama. *Enciclopédia de Ciência Analítica*. 3º ed. Universidade de Oviedo. Oviedo. Espanha. p 160-168.

FERREIRA J. M., OLIVEIRA R. T., TAKEYA M. K. & ASSUMPCÃO M. 1998. Superposition of local and regional stresses in northeast Brazil: Evidence from focal mechanism around the Potiguar marginal basin. *Geophysical Journal International*, 134:341 - 355.

FETTER, A. H. 1999. U/Pb and Sm/Nd Geochronological Constraints on the Crustal Framework and Geologic History of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the Assembly of Gondwana. Department of Geology, Kansas University, Lawrence, Tese de Doutorado, 164p.

FETTER, A.H.; VAN SCHMUS, W.R.; SANTOS, T.J.S.; NOGUEIRA NETO, J.A. & ARTHAUD, M.H., 2000. U/Pb and Sm/Nd Geochronological Constraints On The Crustal Evolution and Basement Architecture Of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications For The Existence Of The Paleoproterozoic Supercontinent "Atlantica". São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*. Vol. 30 (1): 102–106.

FORGIARINI, L. L.; BRAGA, I. F.; PALHETA, E. S. M.; FRIZZO, S. J.; COSTA, F. G.; GOMES, I. P. 2021. Geologia e recursos minerais da folha Independência – SB.24-V-D-I: Escala 1:100.000: Estado do Ceará. Fortaleza. p. 15-19.

HAMMARSTROM, J.M. & ZEN, E. A. 1986. Aluminum in hornblende: an empirical igneous geobarometer. *American Mineralogist*, 71: 1297 – 1313.

HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R.; ALMEIDA, F. F. M. de; BARTORELLI, A. 2012. *Geologia do Brasil*. São Paulo. Editora Beca. 1º ed. p. 254-288.

INPE. Topodata. Banco de dados geomorfométricos do Brasil. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>. Acesso em 26 de outubro de 2025.

JARDIM DE SÁ, E. F. & BARBALHO, A. P. 1991. Novos dados sobre a deformação tangencial na Faixa Seridó, NE do Brasil. In: SIMP. GEOL. NORDESTE, 14. Recife, 1991. Atas. Recife, SBG. p. 296-299.

JARDIM DE SÁ, E. F. & FOWLER, F.H. 1981. A Orogênese Brasileira e suas Relações com Faixas Supracrustais no Sudoeste do Ceará. In: X Simp. Geol. Nordeste, Recife. Atas. Recife: SBG/Nordeste. p. 337-350.

KLEIN, C. & DUTROW, B. Manual de ciência dos minerais. 23. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

LA ROCHE, H., LETERRIER, J., GRANDCLAUDE, P. & MARCHAL, M. 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1-R2 diagram and major element analysis. Its relationships with current nomenclature. *Chem. Geol.*, 29: 183-210.

LIMA, M. N. 2008. Caracterização litogeoquímica do granito Banabuiú e seu encaixante (Brasil). Tesis de Mestrado. Universidade de Aveiro, Portugal, 168 pp.

LIMA, M. N. 2007. Mapeamento Geológico e Potencial Metalogenético de uma Porção Localizada no Município de Banabuiú, Nordeste do Estado do Ceará. Relatório de Graduação. Universidade Federal do Ceará. 92p. Fortaleza - Ceará.

MARQUES JR. F.; NOGUEIRA NETO, J.A. & NÉRI, T.F.O. 1988. Contribuição à Geologia do Campo Pegmatítico de Berilândia, Ceará. IN : Anais do XXXV Congresso Brasileiro de Geologia, Belém. Vol.1: 329–337.

MARQUES JR, F.; NOGUEIRA NETO, J. A. 1992. Contribuição à Geologia do Campo Pegmatítico de Berilândia - CE. In CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA , 37., São Paulo. Boletim de Resumos Expandidos . São Paulo: SBG. Núcleo São Paulo, 1992. V.2, p. 53-54.

MARTINS, G.; OLIVEIRA, E. P.; LAFON, J. M. 2009. The Algodões amphibolite-tonalite gneiss sequence, Borborema Province, NE Brazil: geochemical and geochronological evidence for paleoproterozoic accretion of oceanic plateau/backarc basalts and adakitic plutons. *Gondwana Research*, v. 15, p. 71-85.

MIDDLEMOST, E. A. K. Naming materials in the magma/igneous rock system. *Earth-Science Reviews*, v. 37, n. 3-4, p. 215–224, 1994.

OTTEN, M. T. 1984. The origin of brown hornblende in the Artfl let gabbro and dolerites. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 86:189-199.

PALHETA, E. S. M. Geologia e recursos minerais da folha Senador Pompeu – SB.24-V-D-VI Escala 1:100.000. Estado do Ceará. 2017. CPRM. Fortaleza. p.121-124.

PARENTE, C.V. & ARTHAUD, M.H. 1995. O Sistema Orós-Jaguaribe no Ceará – NE do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*. Vol. 25 (4): 297–306.

PEARCE, J. A.; HARRIS, N. W.; TINDLE, A. G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J Petrology* 25. p. 956-983

QUALITEST, Advanced Testing Technologies. Analisador Libs. Princípio da Análise Libs. Disponível em: <https://www.worldoftest.com/pt/libs-analyzer> Acesso em: 28 de outubro de 2025.

SANTOS, E. J.; SOUZA NETO, J. A.; SILVA, M. R. R.; BEURLIN, H.; CAVALCANTI, J. A. D.; SILVA, M. G.; DIAS, V. M.; COSTA, Á. F.; SANTOS, R. B. 2014. Metalogênese das províncias norte e central da Província Borborema. Metalogênese das Províncias Tectônicas Brasileiras. CPRM. 46 p.

SOARES, P. C.; FIORI, A. P. 1976. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. *Notícia Geomorfológica*, Campinas, v. 16, n. 32 p. 71-104.

SOUZA, J. V. 1985. Geologia dos Pegmatitos de Metais Raros da Região W e NW de Solonópole – Ce (Brasil). Tese de Professor Titular, Centro de Ciências, Departamento de Geologia, UFC. 109p.

STRECKEISEN, A. L. 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth-Science Reviews*, 12: 1-33.

SUN, S. S.; MCDONOUGH, W. F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geological Society. London. Special Publications*. v. 42 p. 313-345.

TARNEY, J. 1977. Geochemistry of Archaen high-grade gneisses, with implications as to the origin and evolution of the Precambrian crust. In: Widley, B.F. (Eds.) *The early history of the earth*. London: John Wiley, 1976. p: 405-417.

TORQUATO, J. R.; SIDRIM, A. C. G.; MARANHÃO, C. M. L.; PARENTE C.V.; NOGUEIRA NETO, J. A.; ANDRADE FILHO, J. F.; SOUSA, J.V.; SOUZA, M. J. N.; ARTHAUD, M.H. & ALMEIDA, A.R. 1989. Granitoides do Ceará, Região de Quixadá Solonópole. *Revista de Geologia*. Vol. 2, nº 1/2. Universidade Federal do Ceará. 143p. Fortaleza – CE.

VAN SCHMUS, W. R., BRITO NEVES, B. B., HACKSPACHER, P., FETTER, A. H., KOZUCH, M., DANTAS, E. L. & BABINSKI, M. 1997. The Borborema Province: A Collage of Polycyclic Crustal Domains in NE Brazil. In: XVII Simpósio de Geologia do Nordeste, Volume 15, p. 115 – 120. Fortaleza –CE.

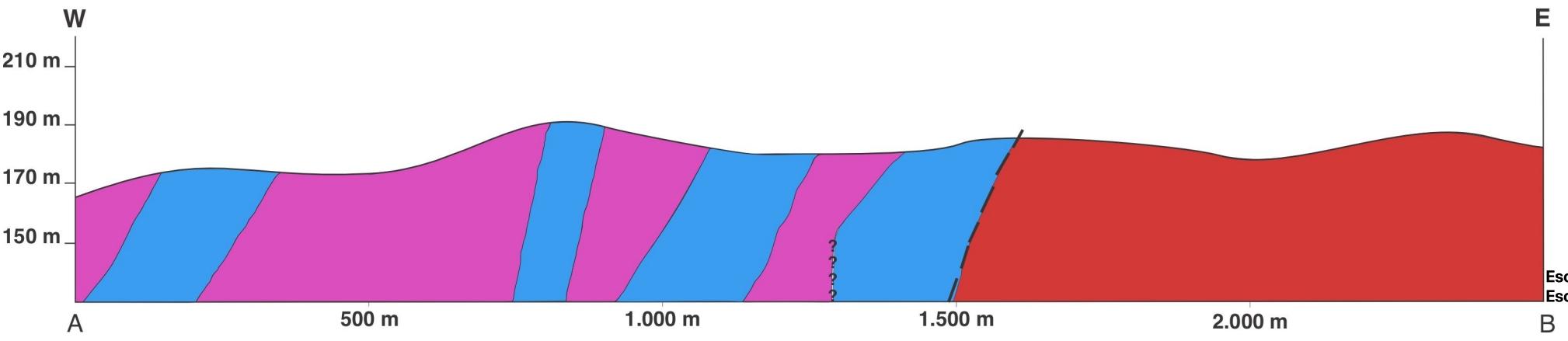
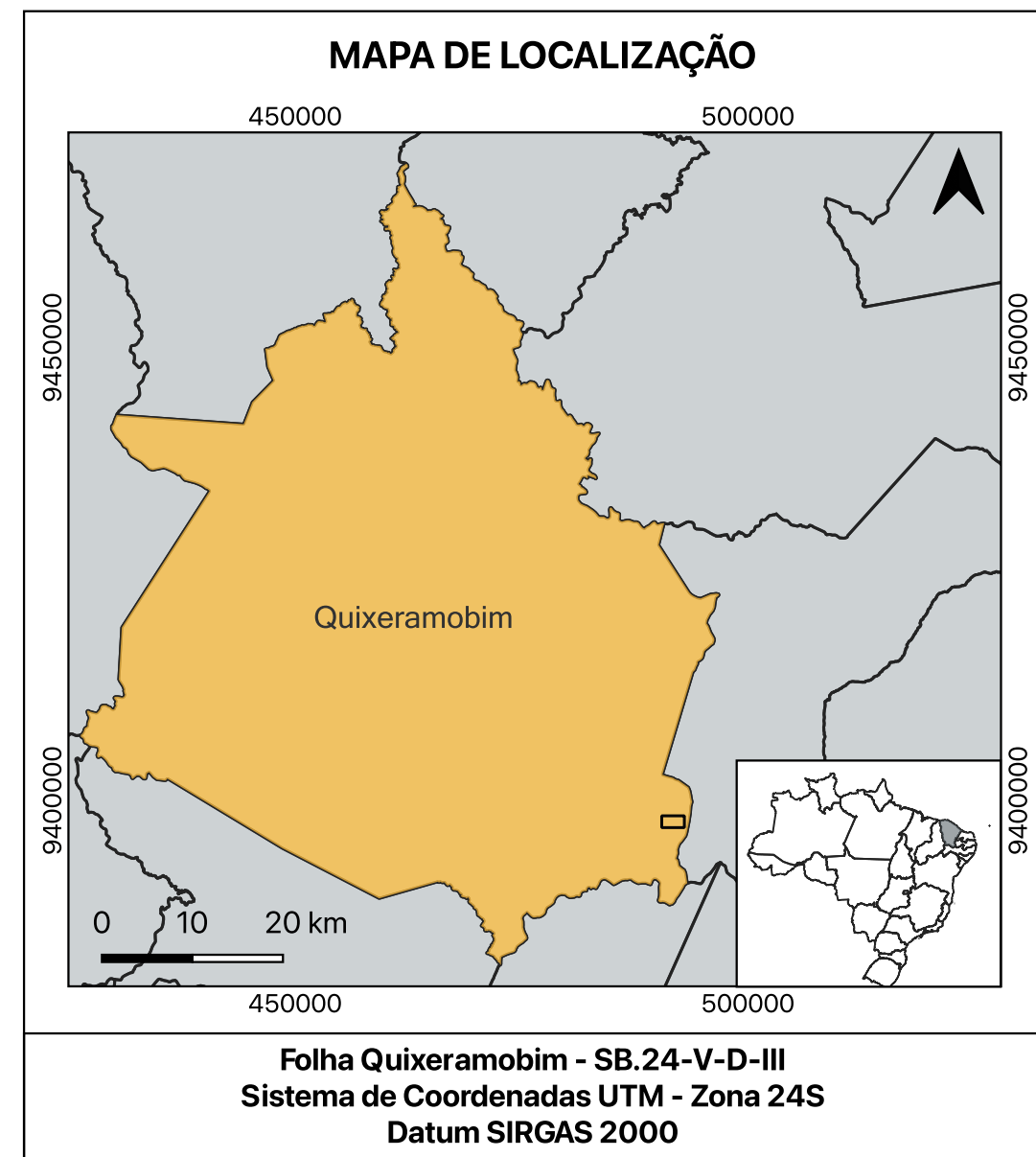
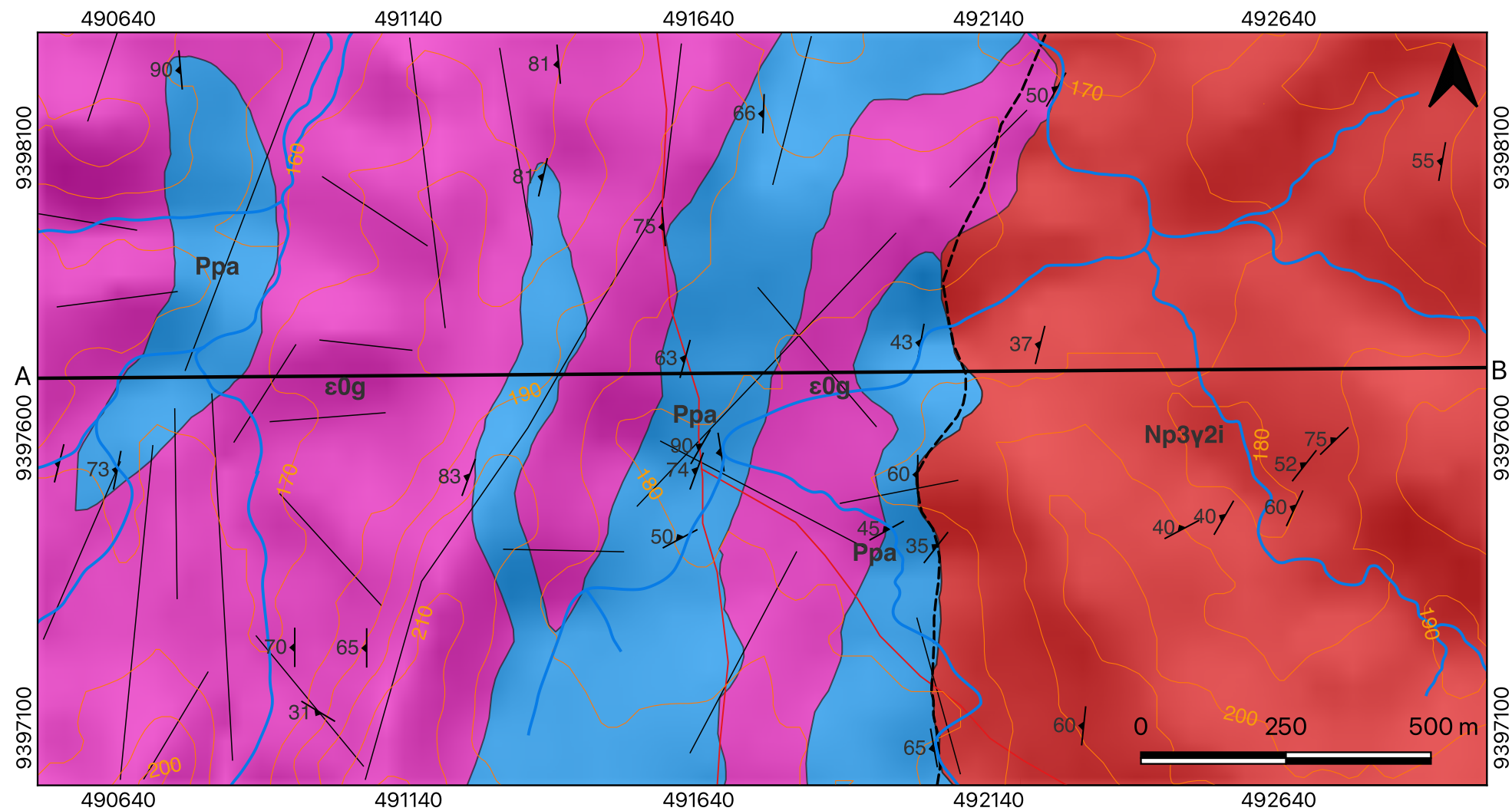
VAN SCHMUS, W. R.; BRITO NEVES, B. B.; WILLIAMS, L. S.; HACKSPACHER, P. C.; FETTER, A. H.; DANTAS, E. L. & BABINSKI, M. 2003. The Seridó Group of NE Brazil, a Late pre-to syn-collisional Basin in West Gondwana: Insights from SHIRIMP U-Pb Detrital Zircon Ages and Sm-Nd Crustal Residence (TDM) Ages. *Precambrian Research*, 127, 287-327.

VIDAL, F. W. H. & NOGUEIRA NETO, J. A. 2005. Minerais de Pegmatitos. IN: VIDAL, F. W. H.; SALES, F. A. C. B.; ROBERTO, F. A. C.; SOUSA, J. F.; MATTOS, I. C. *Rochas e Minerais Industriais do Estado do Ceará*. CETEM / UECE / DNPM / FUNCAP / SENAI, Fortaleza. p. 67 – 82.

WINKLER, H. G. F. 1978. *Petrogenesis de Rochas Metamórficas*. Ed. Espanhola, Tradução Cesar Casquet & Mercedes Peinado. H. Blume Ediciones, Madrid. 346p.

YARDLEY, B. W. D. 2004. Introdução à Petrologia Metamórfica. 2º edição, Tradução Reinhardt Adolfo Fuck. EDUB, Brasília. 432p.

MAPA GEOLÓGICO - SUDESTE DE QUIXERAMOBIM - CE




Escala Horizontal: 1 : 10.000
Escala Vertical: 1 : 2.000

Legenda

- Pegmatitos (ε0g) - Paleozoico (Ordoviciano)
Pegmatito de granulação grossa a muito grossa, composto essencialmente por quartzo, plagioclásio, feldspato potássico e muscovita. Portador de minerais gemológicos como berilo (água marinha), e as variedades de turmalina (shorlita, rubelita e elbaíta). Além da mica rica em Li, lepidolita. Ocorre intrudindo os corpos gnáissicos e graníticos.
- Granitos Neoproterozoicos - Granito Banabuiú (Np3γ2i)
Granito tipo S, de granulação fina a média, leococrático, com foliação de fluxo, composto essencialmente por quartzo, plagioclásio, feldspato potássico, muscovita e biotita.
- Embasamento Gnáissico Paleoproterozoico - Unidade Acopiara (Ppa)
Gnaiss de composição granítica a anfibolítica com porções migmatizadas, granulação fina a média e bandamento gnáissico. Ocorre com intercalações de anfibolitos e xistos.

Convenções Cartográficas e Geológicas

- Curva de nível 10 m
- Drenagem
- Estrada Vicinal
- Foliação
- Lineamentos Fotointerpretados
- Zona de Cisalhamento



UFG

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA
RELATÓRIO DE GRADUAÇÃO

MAPA GEOLÓGICO

MAPEAMENTO GEOLÓGICO DE DETALHE E
CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA EM CORPOS
PEGMATÍTICOS DE CONDADO, MUNICÍPIO DE
QUIXERAMOBIM (CE)
1 : 10.000

Adriany Castro Bueno
Amanda Martins Gomes

Orientador: Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto
Co-Orientadora: Prof^a. Dr(a). Martha Noélia Lima

Número_Ponto	Datum	Zona UTM	Coord_X	Coord_Y	Elevação (m)	Tipo de Ponto	Litotipo 1	Medida estrutural Direção/Mergulho	Litotipo 2	Medida estrutural Direção/Mergulho
25TF_001	Sirgas 2000	24 M	491681	9397138	191	Controle	Solo, com muscovita e quartzo desagregado			
25TF_002	Sirgas 2000	24 M	491691	9397211	188	Afloramento	Xisto			
25TF_003	Sirgas 2000	24 M	491673	9397344	176	Afloramento	Pegmatito			
25TF_004	Sirgas 2000	24 M	491682	9397414	185	Afloramento	Pegmatito			
25TF_005	Sirgas 2000	24 M	491607	9397429	185	Afloramento	Gnaisse	Sn=N28W/50 e Lm=N20W/30	Gnaisse com granulação mais fina	Sn=N28W/68
25TF_006	Sirgas 2000	24 M	491456	9397345	183	Afloramento	Pegmatito			
25TF_007	Sirgas 2000	24 M	491631	9397586	178	Afloramento	Gnaisse	Sn=300/90		
25TF_008	Sirgas 2000	24 M	491576	9397869	193	Afloramento e blocos	Pegmatito	SE/NW	Gnaisse	
25TF_009	Sirgas 2000	24 M	491574	9398290	187	Afloramento	Pegmatito			
25TF_010	Sirgas 2000	24 M	491806	9397454	180	Controle	Solo, blocos de quartzo e feldspato potássico			
25TF_011	Sirgas 2000	24 M	491963	9397443	181	Afloramento	Pegmatito		Gnaisse	Sn=N29W/45
25TF_012	Sirgas 2000	24 M	492047	9397413	180	Afloramento	Granito	Sn=N89W/45, Sn=S52W/35 e Sn=S46W/50	Pegmatito	
25TF_013	Sirgas 2000	24 M	492218	9397383	195	Afloramento	Granito			
25TF_014	Sirgas 2000	24 M	492371	9397450	199	Controle	Solo e blocos rolados de quartzo			
25TF_015	Sirgas 2000	24 M	492472	9397445	195	Afloramento	Granito	Sn=N28W/40 e Sn=N30W/50		
25TF_016	Sirgas 2000	24 M	492543	9397464	189	Afloramento	Granito	Sn=N60W/40		
25TF_017	Sirgas 2000	24 M	492682	9397554	202	Afloramento	Granito	Sn=N52W/52	Gnaisse	Sn=N30W/65
25TF_018	Sirgas 2000	24 M	492891	9397634	194	Controle	Solo e blocos de quartzo			

25TF_019	Sirgas 2000	24 M	492734	9397597	185	Afloramento	Gnaiss	Sn=N44W/75	Granito	
25TF_020	Sirgas 2000	24 M	492665	9397480	181	Afloramento	Gnaiss	Sn=N65W/60	Granito	
25TF_021	Sirgas 2000	24 M	492832	9397392	194	Afloramento	Granito		Pegmatito e Gnaiss	
25TF_022	Sirgas 2000	24 M	492846	9397337	193	Afloramento	Pegmatito			
25TF_023	Sirgas 2000	24 M	492914	9397125	205	Afloramento	Granito			
25TF_024	Sirgas 2000	24 M	492764	9397061	208	Afloramento	Gnaiss		Granito	
25TF_025	Sirgas 2000	24 M	492666	9397126	198	Afloramento	Gnaiss		Pegmatito	
25TF_026	Sirgas 2000	24 M	492478	9397124	206	Controle	Solo cinza com blocos de quartzos			
25TF_027	Sirgas 2000	24 M	492301	9397104	195	Afloramento	Granito com xenólito de gnaiss	Sn=N84W/60		
25TF_028	Sirgas 2000	24 M	492128	9397157	183	Afloramento	Granito		Gnaiss	
25TF_029	Sirgas 2000	24 M	491852	9397053	190	Controle	Solo avermelhado			
25TF_030	Sirgas 2000	24 M	491466	9397399	196	Afloramento	Pegmatito			
25TF_031	Sirgas 2000	24 M	491429	9397343	195	Afloramento	Pegmatito			
25TF_032	Sirgas 2000	24 M	491415	9397297	187	Afloramento	Pegmatito		Gnaiss	
25TF_033	Sirgas 2000	24 M	491315	9397272	200	Afloramento	Pegmatito		Gnaiss	
25TF_034	Sirgas 2000	24 M	491222	9397249	211	Afloramento	Pegmatito			
25TF_035	Sirgas 2000	24 M	491124	9397257	206	Afloramento	Pegmatito			
25TF_036	Sirgas 2000	24 M	491065	9397238	197	Afloramento	Pegmatito	F=N56E/60, F=N-S/82 (ângulo entre as fraturas 80°) e Sn=E-W/65		
25TF_037	Sirgas 2000	24 M	490966	9397236	186	Afloramento	Xisto		Anfibolito	
25TF_038	Sirgas 2000	24 M	490941	9397239	182	Afloramento	Gnaiss	E-W/70W	Anfibolito	
25TF_039	Sirgas 2000	24 M	490818	9397242	175	Controle	Solo marrom			
25TF_040	Sirgas 2000	24 M	490708	9397249	199	Afloramento	Pegmatito			

25TF_041	Sirgas 2000	24 M	490642	9397206	183	Controle	Solo marrom, com blocos de quartzo e pegmatito			
25TF_042	Sirgas 2000	24 M	490713	9397297	182	Controle	Solo			
25TF_043	Sirgas 2000	24 M	490663	9397132	203	Controle	Solo			
25TF_044	Sirgas 2000	24 M	490753	9397184	186	Controle	Solo, blocos de quartos			
25TF_045	Sirgas 2000	24 M	490895	9397122	170	Afloramento	Pegmatito			
25TF_046	Sirgas 2000	24 M	491059	9397122	209	Controle	Solo			
25TF_047	Sirgas 2000	24 M	491281	9397137		Afloramento	Pegmatito			
25TF_048	Sirgas 2000	24 M	491403	9397124	183	Afloramento	Pegmatito			
25TF_049	Sirgas 2000	24 M	491444	9397131	189	Blocos soltos	Pegmatito			
25TF_050	Sirgas 2000	24 M	491222	9397132	208	Blocos soltos	Pegmatito			
25TF_051	Sirgas 2000	24 M	490983	9397126	185	Afloramento	Pegmatito	Sn=211/31		
25TF_052	Sirgas 2000	24 M	491825	9397056	190	Afloramento	Pegmatito cortando gnaisse			
25TF_053	Sirgas 2000	24 M	492043	9397065	191	Afloramento	Granito	Sn=S80W/65		
25TF_054	Sirgas 2000	24 M	491614	9397737	176	Afloramento	Gnaisse e Anfibolito	Sn=285/63		
25TF_055	Sirgas 2000	24 M	491915	9397744	178	Afloramento	Pegmatito		Gnaisse	
25TF_056	Sirgas 2000	24 M	492020	9397764	172	Afloramento	Gnaisse e Xisto	Sn=280/43 Sn=263/60	Pegmatito	
25TF_057	Sirgas 2000	24 M	492095	9397744	181	Afloramento	Granito			
25TF_058	Sirgas 2000	24 M	492226	9397701	177	Afloramento	Granito	Sn=284/37 e F=10/70		
25TF_059	Sirgas 2000	24 M	492495	9397760	183	Afloramento	Granito		Pegmatito	
25TF_060	Sirgas 2000	24 M	492677	9397825	194	Afloramento	Granito			
25TF_061	Sirgas 2000	24 M	492709	9397943	186	Afloramento	Granito			
25TF_062	Sirgas 2000	24 M	492803	9398004	190	Afloramento	Granito			
25TF_063	Sirgas 2000	24 M	492919	9398077	204	Afloramento	Granito	Sn=280/55		
25TF_064	Sirgas 2000	24 M	492628	9397881	190	Afloramento	Granito			
25TF_065	Sirgas 2000	24 M	492521	9397911	191	Afloramento	Granito		Pegmatito	

25TF_066	Sirgas 2000	24 M	492415	9397949	182	Afloramento	Granito			
25TF_067	Sirgas 2000	24 M	492325	9397946	180	Afloramento	Pegmatito			
25TF_068	Sirgas 2000	24 M	492202	9398001	175	Controle	Solo bege com blocos de quartzo			
25TF_069	Sirgas 2000	24 M	492066	9397830	180	Afloramento	Granito			Pegmatito
25TF_070	Sirgas 2000	24 M	492019	9397895	196	Afloramento	Xisto			Granito
25TF_071	Sirgas 2000	24 M	491841	9397838	170	Afloramento	Pegmatito			
25TF_072	Sirgas 2000	24 M	491634	9397544	169	Afloramento	Gnaiss e Anfibolito	Sn=290/74		Pegmatito
25TF_073	Sirgas 2000	24 M	491491	9397550	191	Afloramento	Pegmatito			
25TF_074	Sirgas 2000	24 M	491332	9397543	204	Afloramento	Pegmatito			
25TF_075	Sirgas 2000	24 M	491241	9397533	203	Afloramento	Pegmatito			Gnaiss
25TF_076	Sirgas 2000	24 M	491172	9397384	211	Controle	Solo bege com blocos de quartzo			
25TF_077	Sirgas 2000	24 M	491141	9397378	192	Afloramento	Pegmatito			
25TF_078	Sirgas 2000	24 M	491137	9397542	185	Controle	Solo bege com blocos de quartzo			
25TF_079	Sirgas 2000	24 M	490987	9397542	196	Afloramento	Pegmatito			
25TF_080	Sirgas 2000	24 M	490899	9397548	166	Afloramento	Pegmatito			
25TF_081	Sirgas 2000	24 M	490732	9397540	177	Afloramento	Anfibolito			
25TF_082	Sirgas 2000	24 M	490635	9397545	187	Afloramento	Gnaiss e Anfibolito	Sn=281/73		Pegmatito
25TF_083	Sirgas 2000	24 M	490535	9397557	191	Afloramento	Granito			
25TF_084	Sirgas 2000	24 M	490679	9397741	168	Afloramento	Gnaiss			Pegmatito
25TF_085	Sirgas 2000	24 M	490871	9397739	168	Afloramento	Gnaiss			Pegmatito
25TF_086	Sirgas 2000	24 M	491087	9397741	177	Afloramento	Pegmatito			
25TF_087	Sirgas 2000	24 M	491169	9397740	174	Afloramento	Pegmatito			
25TF_088	Sirgas 2000	24 M	491301	939739	180	Afloramento	Pegmatito			
25TF_089	Sirgas 2000	24 M	491399	9397727	192	Afloramento	Granito			Pegmatito

25TF_090	Sirgas 2000	24 M	491497	9397731	196	Controle	Solo bege com blocos de quartzo			
25TF_091	Sirgas 2000	24 M	491594	9398231	198	Afloramento	Pegmatito			
25TF_092	Sirgas 2000	24 M	491396	9398244	179	Afloramento	Pegmatito	Sn=265/81		
25TF_093	Sirgas 2000	24 M	491195	9398231	175	Afloramento	Pegmatito			
25TF_094	Sirgas 2000	24 M	491071	9398238	161	Afloramento	Pegmatito		Gnaisse	
25TF_095	Sirgas 2000	24 M	490745	9397234	174	Afloramento	Gnaisse migmatizado	Sn=265/90		
25TF_096	Sirgas 2000	24 M	490598	9398237	178	Afloramento	Pegmatito			
25TF_097	Sirgas 2000	24 M	490663	9398193	191	Afloramento	Pegmatito			
25TF_098	Sirgas 2000	24 M	490707	9398158	192	Afloramento	Pegmatito			
25TF_099	Sirgas 2000	24 M	491579	9398020	180	Afloramento	Pegmatito		Pegmatito	
25TF_100	Sirgas 2000	24 M	491497	9398049	183	Afloramento	Gnaisse		Pegmatito	
25TF_101	Sirgas 2000	24 M	491369	9398050	181	Afloramento	Gnaisse	Sn=283/81		
25TF_102	Sirgas 2000	24 M	491248	9398057	190	Afloramento	Pegmatito		Gnaisse	
25TF_103	Sirgas 2000	24 M	491153	9398047	186	Afloramento	Gnaisse		Pegmatito	
25TF_104	Sirgas 2000	24 M	491067	9397998	176	Controle	Blocos de quartzo			
25TF_105	Sirgas 2000	24 M	491052	9397867	177	Afloramento	Granito			
25TF_106	Sirgas 2000	24 M	490853	9397835	165	Afloramento	Anfibolito			
25TF_107	Sirgas 2000	24 M	490625	9397851	178	Afloramento	Pegmatito			
25TF_108	Sirgas 2000	24 M	490726	9397864	184	Controle	Solo bege			
25TF_109	Sirgas 2000	24 M	491577	9397964	195	Afloramento	Gnaisse	Sn=265/75	Pegmatito	
25TF_110	Sirgas 2000	24 M	491676	9397575	189	Afloramento	Gnaisse	Sn=261/67		
25TF_111	Sirgas 2000	24 M	491833	9397626	180	Controle	Solo marrom			
25TF_112	Sirgas 2000	24 M	491934	9397579	181	Afloramento	Pegmatito			
25TF_113	Sirgas 2000	24 M	492015	9397537	183	Afloramento	Gnaisse	Sn=270/60	Pegmatito	
25TF_114	Sirgas 2000	24 M	492055	9397608	209	Afloramento	Gnaisse		Pegmatito	
25TF_115	Sirgas 2000	24 M	492120	9397675	187	Afloramento	Gnaisse			
25TF_116	Sirgas 2000	24 M	492236	9397669	192	Afloramento	Granito		Pegmatito	
25TF_117	Sirgas 2000	24 M	492005	9397622	182	Afloramento	Gnaisse		Pegmatito	

25TF_118	Sirgas 2000	24 M	491616	9398200	206	Controle	Solo bege com blocos de quartzo			
25TF_119	Sirgas 2000	24 M	491608	9398160	204	Afloramento	Pegmatito			
25TF_120	Sirgas 2000	24 M	491749	9398159	189	Afloramento	Gnaiss	Sn=272/66		
25TF_121	Sirgas 2000	24 M	491914	9398159	182	Afloramento	Gnaiss		Pegmatito	
25TF_122	Sirgas 2000	24 M	492091	9398206	184	Afloramento	Migmatito	Foliação N-S		
25TF_123	Sirgas 2000	24 M	492254	9398202	177	Afloramento	Granito	Sn=300/50		
25TF_124	Sirgas 2000	24 M	492215	9398205	183	Afloramento	Granito			
25TF_125	Sirgas 2000	24 M	492560	9398257	186	Afloramento	Granito			
25TF_126	Sirgas 2000	24 M	492748	9398236	201	Afloramento	Granito			

AMPHIBOLE CALCULATION SHEET v1.2

© Jeremy Preston & John Still, 2001

Ponto: Hbl 2

Droop equation No 5 * assuming 15 cations excluding Na & K

(suitable for Fe-Mg amphiboles & coexisting calcic amphiboles)

	Wt%	Mol Prop	At Prop	O	No anions	Formula	Normalised form.
SiO2	47,100	0,784	1,568	13,414	Si	6,707	6,879
TiO2	2,100	0,026	0,053	0,450	Ti	0,225	0,231
Al2O3	14,300	0,140	0,421	3,600	Al	2,400	2,461
Cr2O3	0,000	0,000	0,000	0,000	Cr	0,000	0,000
FeO	14,800	0,206	0,206	1,762	Fe(ii)	1,762	1,807
MnO	0,000	0,000	0,000	0,000	Mn	0,000	0,000
MgO	8,800	0,218	0,218	1,868	Mg	1,868	1,916
CaO	10,900	0,194	0,194	1,663	Ca	1,663	1,705
Na2O	1,300	0,021	0,021	0,179	Na	0,359	0,368
K2O	0,700	0,007	0,007	0,064	K	0,127	0,130
ZrO2	0,000	0,000	0,000	0,000	Zr	0,000	0,000
TOTAL	100,000		2,688		TOTAL	15,111	15,499

No Oxyg 23
T2 8,555

Cation total ex. Na&K - (S) 14,625

T = 15
T/S 1,026
Fe(ii) 2,987
Fe(iii) -1,179
Fe2/(Fe2+Fe3) 1,652
Fe3/(Fe3+Fe2) -0,652

	Wt%	Formula	Formula
SiO2	47,100	Si	6,707
TiO2	2,100	Ti	0,225
Al2O3	14,300	Al	2,400
Cr2O3	0,000	Cr	0,000

Fe2O3	0,000	Fe(iii)	0,000
FeO	14,800	Fe(ii)	1,762
MnO	0,000	Mn	0,000
MgO	8,800	Mg	1,868
CaO	10,900	Ca	1,663
Na2O	1,300	Na	0,359
K2O	0,700	K	0,127
ZrO2	0,000	Zr	0,000
TOTAL	100,000	TOTAL	15,111

Mg/(Mg+Fe2+) 0,51
Fe3+/(Fe3++[6]Al) 0,00

MOLECULAR WEIGHTS

SiO2	60,08	*Min. Mag. 1987, vol 51, pp. 431-435
TiO2	79,88	**amp_class
Al2O3	101,96	
Cr2O3	151,99	
FeO	71,85	Fe(iii) -1,179
MnO	70,94	2-Ca 0,337
MgO	40,3	8-Si 1,293
CaO	56,08	Al-(8-Si) 1,107
Na2O	61,98	
K2O	94,2	
ZrO2	123,22	

For classification spread sheet**

Si	6,707	Si	6,707
Al (iv)	1,293	Al	1,293
T	8,000		
Al (vi)	1,107	Al	1,107
		Fe(iii)	0,000

Ti	0,225	Ti	0,225
Cr	0,000	Cr	0,000
Fe(iii)	0,000	Fe(ii)	1,762
Fe(ii)	1,762	Mn	0,000
Mn	0,000	Mg	1,868
Mg	1,868	Ca	1,663
Ca	1,663	Na	0,359
C + B	6,625	K	0,127
		TOTAL	15,111
Na ***	0,359		
K	0,127		
A	0,486		

***It is assumed that all Na+K confined to A site

AMPHIBOLE CALCULATION SHEET v1.2

© Jeremy Preston & John Still, 2001

Ponto: Hbl 4

Droop equation No 5 * assuming 15 cations excluding Na & K

(suitable for Fe-Mg amphiboles & coexisting calcic amphiboles)

	Wt%	Mol Prop	At Prop	O	No anions	Formula	Normalised form.
SiO2	45,800	0,762	1,525	13,057	Si	6,528	6,687
TiO2	1,600	0,020	0,040	0,343	Ti	0,172	0,176
Al2O3	16,200	0,159	0,477	4,082	Al	2,721	2,787
Cr2O3	0,000	0,000	0,000	0,000	Cr	0,000	0,000
FeO	14,600	0,203	0,203	1,740	Fe(ii)	1,740	1,782
MnO	0,000	0,000	0,000	0,000	Mn	0,000	0,000
MgO	8,200	0,203	0,203	1,743	Mg	1,743	1,785
CaO	11,400	0,203	0,203	1,741	Ca	1,741	1,783
Na2O	1,800	0,029	0,029	0,249	Na	0,497	0,509
K2O	0,500	0,005	0,005	0,045	K	0,091	0,093
ZrO2	0,000	0,000	0,000	0,000	Zr	0,000	0,000
TOTAL	100,100		2,686		TOTAL	15,233	15,603

No Oxyg 23
T2 8,564

Cation total ex. Na&K - (S) **14,645**
T = 15

	Formula
SiO2	Si 6,528
TiO2	Ti 0,172
Al2O3	Al 2,721
Cr2O3	Cr 0,000
Fe2O3	Fe(iii) 0,000
FeO	Fe(ii) 1,740
MnO	Mn 0,000

T/S	1,024
Fe(ii)	2,897
Fe(iii)	-1,115
Fe2/(Fe2+Fe3)	1,625
Fe3/(Fe3+Fe2)	-0,625
Mg/(Mg+Fe2+)	0,50

MgO 8,200
CaO 11,400
Na2O 1,800
K2O 0,500
ZrO2 0,000
TOTAL 100,100

Mg 1,743
Ca 1,741
Na 0,497
K 0,091
Zr 0,000
TOTAL 15,233

Fe³⁺/(Fe³⁺+6Al) 0,00

For classification spread sheet**

Si 6,528
 Al (iv) 1,472
T 8,000

Si 6,528
 Al 1,472

Al (vi) 1,250
 Ti 0,172
 Cr 0,000
 Fe(iii) 0,000
 Fe(ii) 1,740
 Mn 0,000
 Mg 1,743
 Ca 1,741
C + B 6,645

Al 1,250
 Fe(iii) 0,000
 Ti 0,172
 Cr 0,000
 Fe(ii) 1,740
 Mn 0,000
 Mg 1,743
 Ca 1,741
 Na 0,497
 K 0,091
TOTAL 15,233

Na *** 0,497
 K 0,091
A 0,588

***It is assumed that all Na+K confined to A site

MOLECULAR WEIGHTS

SiO2 60,08
 TiO2 79,88
 Al2O3 101,96

*Min. Mag. 1987, vol 51, pp. 431-435

**amp_class

Cr2O3	151,99		
FeO	71,85	Fe(iii)	-1,115
MnO	70,94	2-Ca	0,259
MgO	40,3	8-Si	1,472
CaO	56,08	Al-(8-Si)	1,250
Na2O	61,98		
K2O	94,2		
ZrO2	123,22		

AMPHIBOLE CALCULATION SHEET v1.2

© Jeremy Preston & John Still, 2001

PONTO: Hbl 5

Droop equation No 5 * assuming 15 cations excluding Na & K

(suitable for Fe-Mg amphiboles & coexisting calcic amphiboles)

	Wt%	Mol Prop	At Prop	O	No anions	Formula	Normalised form.
SiO2	46,900	0,781	1,561	13,263	Si	6,631	6,805
TiO2	1,500	0,019	0,038	0,319	Ti	0,160	0,164
Al2O3	15,600	0,153	0,459	3,899	Al	2,599	2,667
Cr2O3	0,000	0,000	0,000	0,000	Cr	0,000	0,000
FeO	12,900	0,180	0,180	1,525	Fe(ii)	1,525	1,565
MnO	0,000	0,000	0,000	0,000	Mn	0,000	0,000
MgO	9,300	0,231	0,231	1,960	Mg	1,960	2,012
CaO	11,500	0,205	0,205	1,742	Ca	1,742	1,788
Na2O	1,800	0,029	0,029	0,247	Na	0,493	0,506
K2O	0,500	0,005	0,005	0,045	K	0,090	0,093
ZrO2	0,000	0,000	0,000	0,000	Zr	0,000	0,000
TOTAL	100,000		2,708		TOTAL	15,201	15,599

No Oxyg 23
T2 8,495

Cation total ex. Na&K - (S) **14,618**
T = 15

	Formula
SiO2	Si 6,631
TiO2	Ti 0,160
Al2O3	Al 2,599
Cr2O3	Cr 0,000
Fe2O3	Fe(iii) 0,000
FeO	Fe(ii) 1,525
MnO	Mn 0,000

T/S	1,026
Fe(ii)	2,768
Fe(iii)	-1,203
Fe2/(Fe2+Fe3)	1,769
Fe3/(Fe3+Fe2)	-0,769
Mg/(Mg+Fe2+)	0,56

MgO 9,300
CaO 11,500
Na2O 1,800
K2O 0,500
ZrO2 0,000
TOTAL 100,000

Mg 1,960
Ca 1,742
Na 0,493
K 0,090
Zr 0,000
TOTAL 15,201

Fe³⁺/(Fe³⁺+6Al) 0,00

For classification spread sheet**

Si 6,631
 Al (iv) 1,369
T 8,000

Al (vi) 1,231
 Ti 0,160
 Cr 0,000
 Fe(iii) 0,000
 Fe(ii) 1,525
 Mn 0,000
 Mg 1,960
 Ca 1,742
C + B 6,618

Na *** 0,493
 K 0,090
A 0,584

Si 6,631
 Al 1,369
 Al 1,231
 Fe(iii) 0,000
 Ti 0,160
 Cr 0,000
 Fe(ii) 1,525
 Mn 0,000
 Mg 1,960
 Ca 1,742
 Na 0,493
 K 0,090
TOTAL 15,201

***It is assumed that all Na+K confined to A site

MOLECULAR WEIGHTS

SiO₂ 60,08

*Min. Mag. 1987, vol 51, pp. 431-435

TiO2	79,88
Al2O3	101,96
Cr2O3	151,99
FeO	71,85
MnO	70,94
MgO	40,3
CaO	56,08
Na2O	61,98
K2O	94,2
ZrO2	123,22

**amp_class

Fe(iii)	-1,203
2-Ca	0,258
8-Si	1,369
Al-(8-Si)	1,231