

Área III - Projeto Mara Rosa



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
TRABALHO FINAL DE GRADUAÇÃO

Luis Fernando Borba Rodrigues

Marco Túlio Dias do Couto

TF 2022 - Projeto Mara Rosa

Área III

Brasília/DF

2022

FOLHA DE APROVAÇÃO

**TRABALHO DE MAPEAMENTO GEOLÓGICO FINAL - PROJETO MARA ROSA
2022**

Autores: Luis Fernando Borba Rodrigues e Marco Túlio Dias do Couto

Monografia submetida ao corpo docente do Curso de Graduação em Geologia, do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília – UnB, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Banca Examinadora aprovada por:

Guilherme de Oliveira Gonçalves

Professor da Universidade de Brasília (UnB)

Jérémie Garnier

Professor da Universidade de Brasília (UnB)

Luciano Soares da Cunha

Professor da Universidade de Brasília (UnB)

Brasília, 14 de fevereiro de 2023.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO DE GEOLOGIA

Luis Fernando Borba Rodrigues

Marco Túlio Dias do Couto

TF 2022 PROJETO MARA ROSA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geociências como requisito à obtenção do diploma do Curso de Graduação em Geologia.

ORIENTADORES

Claudinei Gouveia de Oliveira (coordenador)

Elton Luiz Dantas

Guilherme de Oliveira Gonçalves

Henrique Llacer Roig

Luis Gustavo Ferreira Viegas

Maria Emilia Schutesky

Natalia Hauser

Roberta Mary Vidotti

Valmir Silva Souza

Brasília/DF

2022

Área III - Projeto Mara Rosa



“Escolha a estrada e o caminho certo. As falhas existem”.

(Elton Dantas, 2023)

AGRADECIMENTOS

Luis Fernando Borba Rodrigues

Antes de todos, agradecer aos meus pais, Jorge e Ieda, que sempre me apoiaram em todos os momentos da vida, por serem os meus pilares nessa trajetória na geologia. Espero ter $\frac{1}{3}$ da força que vocês sempre me deram e continuam me dando, vocês são a minha inspiração de vida.

Aos meus amigos que sempre estiveram comigo durante essa trajetória na Universidade de Brasília: Riccardo, Luiz, Bruno, Radis, Sofia, Alice, Barbara, Zambom, Diogo e Thales. Amigos que a UnB me deu e que pretendo levar para o resto da vida. Obrigado por todos esses anos de amizade e por sempre me apoiarem e por sempre estarem do meu lado nos momentos difíceis.

Aos meus professores orientadores dos projetos realizados durante a graduação, Luciano, Catarina e Adalene, muito obrigado pela confiança e por tanto conhecimento passado ao longo dos projetos. Em especial a Adalene por estar comigo em toda a trajetória desde a entrada no curso de geofísica até minha formação como geólogo. Espero ser um geólogo tão bom quanto vocês.

Aos meus queridos amigos que levarei para minha vida toda, Alice, Barbara, Milena, Athayde, Coutinho, Dudu, Emília, Tatiana e Lucas. Obrigado pela amizade.

Aos meus queridos Santa Cruzers, muito obrigado por toda a troca e todas as risadas que me proporcionaram nesse último ano, muito obrigado por toda a ajuda e por todo o companheirismo.

Agradecimento especial a minha dupla de TF, Marco Túlio por toda a paciência e companheirismo em todos esses anos de parceria, que desde quando ele se mudou pra Brasília, fomos parceiros em quase todos os trabalhos da graduação, muito obrigado pelas trocas.

Aos professores do Projeto Mara Rosa, muito obrigado por todo o conhecimento passado e pela parceria ao longo do projeto, aos colegas do TF que sempre ajudaram e trocaram várias informações ao longo da realização do trabalho, obrigado a todos.

AGRADECIMENTOS

Marco Túlio Dias do Couto

Aos meus pais, Cândida e Ladislau, por sempre serem o meu maior exemplo e os meus heróis. Aprendi e aprendo muito com vocês diariamente, e, caso seja 10% da pessoa que são, serei totalmente realizado. Gabriel, Rafael e Rodolfo são os melhores irmãos que poderia ter. Nem se pudesse escolher, seriam tão perfeitos. Aos meus primos próximos, Lucas e Paulo Bruno, obrigado pela parceria de sempre. Muito obrigado, família, por estarem sempre comigo, da forma que for, me apoiando, me incentivando e me protegendo.

Aos meus amigos de ensino médio, que estão comigo até hoje: Ana Vitória, Ana Carolina, Bianca, Bola, Bruna Anyfantis, BV, Gabi Machado, Loirão, Luísa Amorim, Lucin, Pandinha, Russo, Sekão, Stievano e Vrum. Obrigado por esses mais de 10 anos de amizade, que serão para a vida toda.

Aos meus amigos esmeraldinos, especialmente os Cartoloucos e a Família Minions: Balauzin, Bianka, Celsin, Cilho, Gelatina, Guguzazzo, Karol, MV, Laryssa, Letícia, Túlio, Vic e Yan. Apesar do nosso time não ser lá essas coisas, vocês são pessoas maravilhosas e sou grato por todos os momentos vividos.

As minhas queridas primas Álex, o leão, e Isa a bella, muito obrigado pelas histórias, revoadas, risadas e Fiesta (quase) morrendo. Vocês duas são incríveis.

Aos amigos, de longa data, que vieram da internet, mas hoje já conheço a maioria, e fazem parte da minha vida: BL Selecionado, Cartola Team (CT) e hj eu to Messi. Se ainda uso o WhatsApp, muito é por causa de vocês.

Ao Luis, meu parceiro de TF e de vida. Fizemos (quase) todas as matérias juntos durante a pandemia e no pós, principalmente os campos. Obrigado por sempre me aguentar e aturar. Seu futuro vai ser brilhante, meu querido.

A todos os amigos do Projeto Mara Rosa, em especial aos Santa Cruzers, que me receberam de braços abertos, vindo de outra faculdade e de outra cultura. Vocês tornaram prazeroso concluir esse curso e viver a vida de geólogo. Não teria turma melhor para formar. Obrigado a todos vocês!

RESUMO

O Projeto Mara Rosa tem como caráter ser o Trabalho Final de Graduação em Geologia, realizado no ano de 2022 por alunos da Universidade de Brasília (UnB). O produto final deste Projeto é o mapa geológico, na escala 1:25000, percorrendo uma área de aproximadamente 645 km², localizado na porção norte do Estado de Goiás, próximo ao município de Mara Rosa. A participação ocorre com 29 alunos, distribuídos em 11 áreas, e 9 professores. A área está inserida no Cráton São Francisco, na Zona Interna da Faixa Brasília, na porção do Arco Magmático de Goiás. No período de nove meses, ocorreu, em etapas pré-campo, o levantamento bibliográfico preliminar, processamento de imagens orbitais e de dados aerogeofísicos, que corroborou para as informações a respeito das estruturas e petrográficas que seriam vistas em campo. A partir disso, pôde-se interpretar todos os produtos gerados em conjunto com os dados obtidos em campo, o que possibilitou a criação de hipóteses e sugestões sobre eventos deformacionais, metamorfismo, evolução geológica e tectônica e potencial econômico da região, na etapa pós-campo. Por fim, os produtos finais do Projeto Mara Rosa foram a formulação do mapa geológico e estrutural integrado e do presente relatório, caracterizando os aspectos geológicos, as litologias, a geologia estrutural, a potencial econômica e a evolução tectônica da área.

Palavra-Chave: Zona Interna, Faixa de Dobramentos Brasília, Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha, Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa, Mara Rosa, Campinorte, Arco Magmático de Goiás.

ABSTRACT

The Projeto Mara Rosa is the degree completion report developed during the year of 2022, by geology students of Universidade de Brasília (UnB). The final product of this Project is a geological map, at a scale of 1:25000, covering an area of approximately 645 square kilometers area, located in the northern portion of the State of Goiás, close to the municipality of Mara Rosa. Participation takes place with 29 students, distributed in 11 areas, and 9 teachers. The area is inserted in the São Francisco Craton, in the Internal Zone of the Brasília Belt, in the portion of the Goiás Magmatic Arc. In the period of nine months, there was, in pre-field stages, the preliminary bibliographic survey, processing of orbital images and aerogeophysical data, which corroborated the information regarding the structures and petrographics that would be seen in the field. From this, it was possible to interpret all the products generated together with the data obtained in the field, which allowed the creation of hypotheses and suggestions about deformational events, metamorphism, geological and tectonic evolution and economic potential of the region. Finally, the final products of the Projeto Mara Rosa were the formulation of the integrated geological and structural map and the present report, characterizing the geological aspects, lithologies, structural geology, economic potential and tectonic evolution of the area.

Keywords: Internal Zone, Brasília Belt, Vulcanosedimentary Sequence Santa Terezinha, Vulcanosedimentary Sequence Mara Rosa, Mara Rosa, Campinorte, Goiás Magmatic Arc.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1:** Mapa de localização das áreas de estudo do Projeto Mara Rosa; os retângulos na figura da direita representam as áreas mapeadas, divididas em onze grupos (Área XI está tampada pelo “Alto Horizonte”).....27
- Figura 1.2:** Gráfico em que mostra a temperatura, máxima e mínima, e a precipitação, todas em média, acerca do município de Mara Rosa (Fonte: Climatempo).....28
- Figura 1.3:** Fotografia tirada em campo na Área III, em que é possível observar o comportamento padrão da vegetação nativa como Cerrado.....29
- Figura 1.4:** Mapa Pedológico do Projeto Mara Rosa (Adaptado de SIEG/GO, IBGE, Alos Palsar, 1:250.000). O retângulo preto representa a Área III e o branco o Mapeamento Geológico 2, realizado em 2021/2.....30
- Figura 1.5:** Mapa Geomorfológico do Projeto Mara Rosa (Adaptado de SIEG/GO, IBGE, Alos Palsar, 1:250.000). O retângulo vermelho representa a Área III e o branco o Mapeamento Geológico 2, realizado em 2021/2.....32
- Figura 1.6:** Mapa de Bacias Hidrográficas do Projeto Mara Rosa (Adaptado de SIEG/GO, IBGE, Alos Palsar, 1:250.000). O retângulo preto representa a Área III e o branco o Mapeamento Geológico 2, realizado em 2021/2.....33
- Figura 1.7:** Fluxograma com todas as atividades desenvolvidas em cada etapa no Projeto Mara Rosa.....34
- Figura 1.8:** Mapa de pontos referentes à Área III do Projeto Mara Rosa.....36
- Figura 2.1:** A: Mapa do Brasil em que é possível visualizar a Província Tocantins, em meio ao escudo brasileiro, e a área de estudo, no retângulo preto. B: Esquemática de cinturões no contexto da Província Tocantins (Fuck *et al.*, 2017).....38
- Figura 2.2:** Mapa Geológico do Orógeno Brasília (Adaptado e modificado de Fuck *et al.*, 2017).....39
- Figura 2.3:** Mapa geológico (Oliveira *et al.*, 2016) do segmento Mara Rosa do Arco Magmático de Goiás, mostrando as sequências metavulcanossedimentar de Mara Rosa (900-800 Ma) e Santa Terezinha (670-600 Ma).....42
- Figura 2.4:** A: Mapa geológico esquemático do arco magmático Mara Rosa (Pimentel *et al.*, 1997). B: Mapa geológico do distrito de Au e Cu-Au Chapada-Mara Rosa (modificado de Arantes *et al.*, 1991). C: Seção estrutural esquemática em virtude do arco magmático Mara Rosa (Palermo *et al.*, 2000).....49
- Figura 3.1:** Comparação entre os sensores LANDSAT 8 OLI/TIRS e LANDSAT 7 ETM+, sendo a linha superior indicativa das bandas espectrais do LANDSAT 8 OLI/TIRS e a linha inferior das bandas do LANDSAT 7 ETM+.....53
- Figura 3.2:** Fluxograma evidenciando o processamento ocorrido durante a etapa do sensoriamento remoto.....56
- Figura 3.3:** Mapa Hipsométrico do Projeto Mara Rosa, mostrando a variação de altitude (de 250 a 800 metros).....57
- Figura 3.4:** Mapa base regional do Projeto Mara Rosa. Área III marcada com retângulo preto mais grosso e com destaque para as drenagens, vias de acesso, curvas de nível e propriedades.....59
- Figura 3.5:** A: Mapa de composição RGB 321, utilizada principalmente para fins de localização. B: Mapa de composição RGB 432 ressaltando a vegetação ativa. C: Mapa de composição RGB 423, evidenciando a diferença do solo, que se destaca pela da diferença de coloração azul esverdeada. Em retângulo vermelho, Área III ressaltada.....60

Figura 3.6: Mapa de lineamentos de relevo do Projeto Mara Rosa, com marcações em vermelho. A Área III é ressaltada pelo retângulo preto.....	62
Figura 3.7: Roseta de lineamentos de relevo do Projeto Mara Rosa, com $n = 128$ e orientação preferencial 26°	63
Figura 3.8: Mapa de lineamentos de drenagem do Projeto Mara Rosa, com marcações em azul. A Área III é ressaltada pelo retângulo preto.....	64
Figura 3.9: Roseta de lineamentos de drenagem do Projeto Mara Rosa, com $n = 272$ e orientação preferencial 355°	64
Figura 3.10: Mapa base cartográfico referente a Área III, com destaque para as drenagens, rodovias e curvas de nível.....	65
Figura 3.11: A/B/C: Composições coloridas da imagem CBERS 04A, utilizada no Projeto Mara Rosa, para a análise e interpretação da Área III.....	66
Figura 3.12: Relevo sombreado e curvas de nível geradas a partir do MDE ALOS PALSAR. A: Relevo sombreado das áreas do Projeto Mara Rosa. B: Relevo sombreado da Área III. C: Curvas de nível da Área III com espaçamento de 30 metros.....	67
Figura 3.13: Mapa com lineamentos de relevo (em vermelho) e de drenagem (em azul) referentes a Área III.....	68
Figura 3.14: Roseta de lineamentos de relevo da Área III, com $n = 62$ e orientação preferencial 26°	69
Figura 3.15: Roseta de lineamentos de drenagem da Área III, com $n = 92$ e orientação preferencial 357°	69
Figura 3.16: Localização do Projeto Levantamento Magnético Aerogeofísico do Estado de Goiás 1ª Etapa: Arco Magmático de Mara Rosa e do Projeto Mara Rosa (em vermelho).....	70
Figura 3.17: Fluxograma referente às etapas e produtos gerados pelo processamento dos dados aerogeofísicos magnetométricos. AM-Anomalias Magnéticas; 1Dx-Primeira Derivada horizontal do AM no eixo X; 1Dy- Primeira Derivada horizontal do AM no eixo Y; 1Dz-Primeira derivada vertical do AM; SA3D-Sinal analítico em três dimensões x,y e z; GHT-Gradiente Horizontal Total.....	72
Figura 3.18: Fluxograma referente às etapas e produtos gerados pelo processamento dos dados aerogeofísicos gamaespectrométricos sendo K(%): porcentagem de Potássio; eTh e eU: Equivalente em Tório (ppm) e Urânio (ppm), respectivamente; RGB (K eTh eU): composição ternária RGB (K, eTh, eU) e CMY (K, eTh, eU): composição ternária CMY (K, eTh, eU); e CT(μ R/h) : contagem total em microRontgen por hora.....	73
Figura 3.19: A: Mapa de anomalia magnética (AM). B: Mapa da primeira derivada vertical (DZ). C: Mapa do gradiente horizontal total (GHT). D: Mapa do gradiente total ou sinal analítico 3-D (SA3D)...	77
Figura 3.20: A: Imagem RGB. B: Imagem CMY.....	80
Figura 3.21: A: Mapa de contagem total (CT). B: Mapa da concentração de potássio. C: Mapa da concentração de tório equivalente. D: Mapa da concentração de urânio equivalente.....	80
Figura 3.22: Interpretação dos domínios geofísicos identificados no Projeto Mara Rosa, sobreposta na imagem RGB.....	81
Figura 3.23: A: Imagem RGB com os domínios geofísicos da Área III. B: Imagem eTh (ppm).....	83
Figura 3.24: Mapa GHT com a interpretação de lineamentos geofísicos sobrepostos.....	84
Figura 3.25: A: Mapa DZ. B: Mapa GHT com lineamentos magnéticos da Área III.....	85

- Figura 4.1:** Mapa Geológico Integrado do Projeto Mara Rosa (versão simplificada).....87
- Figura 5.1:** Mapa Geológico da Área III do Projeto Mara Rosa (versão simplificada), com todas as subunidades vistas e suas disposições ao longo da região.....95
- Figura 5.2:** Amostra de leucotonalito com veio de epidoto. A rocha possui granulação fina e é formada por minerais majoritariamente félsicos (TF22-III-5).....96
- Figura 5.3:** Representação petrográfica do leucotonalito (TF22-III-5). A/B: nicois descruzados e cruzados, respectivamente, em que é possível notar domínio de epidoto com quartzo-feldspático. C/D: nicois descruzados e cruzados, nessa ordem, em que é visto cristais de plagioclásio com biotita, muscovita e epidoto. Ep = Epidoto, Qtz = Quartzo, Bt = Biotita, Pl = Plagioclásio e Ms = Muscovita.....97
- Figura 5.4:** As duas imagens, em recorte de mapas, demonstram o contato entre as Áreas II e III. A: Contato litológico entre as áreas, em que é visto os pontos marcados pela Área II, descrito anteriormente. B: Contato visto no mapa GHT, facilitando a percepção do corpo do Faina, que sai da Área II e percorre a Área III.....98
- Figura 5.5:** A: Afloramento *in-situ* e centimétrico de quartzo-muscovita xisto, orientados em uma direção principal, seguindo a foliação micácea (TF22-III-35). B: Afloramento *in-situ* em beira de água lótica, em que é possível observar a direção principal (290/41) do caimento das camadas (TF22-III-51). C: Solo e vegetação típica da área, em que é possível grande desenvolvimento das lateritas.....100
- Figura 5.6:** A: Afloramento típico dessa unidade, na forma de blocos imersos na vegetação (TF22-III-54). B: Quartzo-muscovita xisto, de granulação fina, com foliação bem marcada e crenulação visível, em par S-C. É possível observar as lamelas micáceas e alterações em tons avermelhados (TF22-III-34). C: Muscovita-quartzo xisto bastante alterado, com presença de matéria orgânica em sua composição (TF22-III-35). D: Quartzo-muscovita xisto bastante alterado por óxidos (TF22-III-34).....101
- Figura 5.7:** Fotos da lâmina TF22-III-54. A/B: A nicois descruzados e cruzados, respectivamente, presença de foliação micácea de muscovita, com textura mica *fish*, englobando cristais de cianita e estauroлита, que aparecem de forma associada. C/D: Em nicois descruzados e cruzados, por ordem, relação da fração quartzosa com a micácea. St = Estauroлита, Ms = Muscovita, Ky = Cianita e Qtz = Quartzo.....102
- Figura 5.8:** Fotos do afloramento TF22-III-57. A: Rocha de granulação fina a média, de coloração escura, em que é possível presenciar a granada, por vezes rotacionada. É observada a crenulação de par S-C, marcada em branco na Figura. B: O quartzo-granada-muscovita apresenta foliação de par S-C visível, com as granadas rotacionadas e é possível notar a direção preferencial da foliação, marcada pelos domínios micáceos.....103
- Figura 5.9:** Fotos da lâmina TF22-III-57. A: Com nicois descruzados, cristais de granada que truncam a foliação micácea, de textura lepidoblástica, de caráter pós-tectônico. B: Com nicois descruzados, cristais de granada envoltos pela foliação micácea, de caráter sin-tectônico. C: A nicois cruzados, nota-se feição pisciforme nos cristais de biotita, além da presença de granada truncando a foliação. D: Em nicois descruzados, é possível observar a presença de cianita em meio a foliação micácea. E: Com os nicois descruzados, percebe-se a clorita retrometamórfica, com relação com a granada e foliação micácea. Grt = Granada, Ky = Cianita, Ms = Muscovita, Bt = Biotita, Pl = Plagioclásio e Chl = Clorita.105
- Figura 5.10:** Rocha de granulação fina a média, de coloração escura, de mineralogia composta por quartzo, plagioclásio, biotita, muscovita, granada, estauroлита e cianita, além de óxidos. É observado o início de crenulação, assim como textura lepidoblástica, marcada pelas micas, e nematoblástica, evidenciada pela estauroлита (TF22-III-51).....106
- Figura 5.11:** Fotos da lâmina TF22-III-51, todas a nicois descruzados. A: Associação de granada, estauroлита, cianita e biotita, além de minerais opacos, classificados como helmo-ilmenite. B: Cristais de granada truncando a foliação micácea, de caráter pós-tectônico. C: Associação de estauroлита com granada. D: Estauroлита esquelética, envolta pela foliação micácea. St = Estauroлита, Grt = Granada, Bt = Biotita e Ky = Cianita.....107
- Figura 5.12:** A e B: Quartzo-actinolita xisto, em que é possível observar a rocha de granulação fina, de coloração acinzentada esverdeada, com mineralogia composta, sumariamente, por actinolita, quartzo e muscovita. É possível notar alterações, possivelmente oxidações da muscovita. A actinolita,

sendo a parte maior da rocha, gera a textura nematoblástica, o que corrobora para a foliação ser bem marcada (TF22-III-33).....108

Figura 5.13: Fotos da lâmina TF22-III-33, ambas a nicois descruzados. A: Arranjo lepidoblástico, caracterizado pela direção preferencial da actinolita, que são intercaladas com quartzo. B: Cristais de titanita com alterações, possivelmente ocorridas pela relação com a ilmenita. Qtz = quartzo, Act = Actinolita e Ttn = Titanita.....109

Figura 5.14: Cianitito em que é possível notar grandes cristais de cianita (TF22-III-53).....110

Figura 5.15: O cianitito apresenta bastante alteração, em que os cristais de cianita estão sendo transformados em micas (TF22-III-39).....111

Figura 5.16: A/B: A nicois cruzados e descruzados, respectivamente, apresenta cianita cloritizada, muscovita e biotita, em uma textura lepidoblástica, com alto grau de alteração (TF-III-39). A massa branca da Figura corresponde a alteração de cianita para alguma mica. Chl = Clorita e Bt = Biotita....111

Figura 5.17: A: Amostra de cianitito, em que é possível observar a cianita muito bem preservada, em rocha bem amarronzada devido a alteração (TF-III-53). B: Rocha classificada em campo como hidrotermalito, de granulação média, é composta por quartzo, epidoto e clorita (TF-III-92). C: Contato entre rocha hidrotermal e diorito, em que o hidrotermalito é composto por quartzo, clorita, carbonato, feldspato potássico e sulfetos (TF-III-148).....112

Figura 5.18: A e B: A nicois descruzados e cruzados, nessa ordem, a rocha foi classificada epidotito, em que se nota textura porfiroblástica; possui pequena fração de quartzo (TF-III-92). Ep = Epidoto e Qtz = Quartzo.....113

Figura 5.19: Os três principais tipos de afloramento dos Ortognaisses Mara Rosa. A: Afloramento decimétrico, com blocos métricos, em que a maioria é *in-situ* (TF-III-74). B: Afloramento de blocos métricos, em que é notável a intercalação entre diorito e tonalito (TF-III-132). C: Afloramento decimétrico, com blocos rolados e *in-situ*.....114

Figura 5.20: A: Amostra de tonalito onde é possível observar granulação média e a abundância de minerais máficos (TF-III-62). B: Amostra de leucognaisse, com grande quantidade de minerais félsicos, sendo possível notar o bandamento gnáissico (TF-III-9). C: Amostra de ortognaisse tonalítico, com bandamento composicional (TF-III-162). D: Amostra de tonalito, com minerais orientados em uma direção preferencial, notando-se domínio de minerais máficos (TF-III-74).....115

Figura 5.21: A: A nicois descruzados, textura vermiforme em epidoto, com presença de anfibólio (hornblenda), biotita e quartzo (TF-III-85). B: Em nicois descruzados, cristais de granada com inclusões, não orientadas, de quartzo e opacos em seu núcleo, o que pode indicar ser granada sin a pós-tectônica (TF-III-26). C: Textura porfiroblástica, marcada pela fração quartzo-feldspática, em contato com minerais micáceos, visto em nicois cruzados (TF-III-85). D: Textura porfiroblástica, ressaltada pela fração quartzo-feldspática, com presença de mica e epidoto, analisado em nicois cruzados (TF-III-74). Qtz = Quartzo, Pl = Plagioclásio, Ep = Epidoto, Anf = Anfibólio, Grt = Granada, Ms = Muscovita e Bt = Biotita.....117

Figura 5.22: Amostra de gondito, de coloração preta pela abundância de manganês em sua composição, além de cristais de granada e quartzo (TF22-III-93).....118

Figura 5.23: A: Amostra de hornblendito, com granulação média a fina, com a mineralogia composta por anfibólio, sumariamente, com cristais de quartzo e plagioclásio (TF22-III-159). B: Amostra de talco anfibolito, formada por anfibólio, talco e clorita, com granulação média a fina (TF22-III-96B).....119

Figura 5.24: Todas as fotos estão a nicois descruzados. A: Textura nematoblástica, em que é possível notar direção preferencial dos cristais de tremolita (TF22-III-96A). B: Textura nematoblástica caracterizada pela orientação preferencial dos cristais de hornblenda (TF22-III-44). C: Cristais de hornblenda com inclusões de quartzo (TF22-III-44). D: Cristais de actinolita, hornblenda e plagioclásio em contato (TF22-III-96B). Tr = Tremolita, Hbl = Hornblenda, Act = Actinolita e Pl = Plagioclásio.....121

Figura 5.25: A: Talco-tremolita xisto, de granulação fina, com quartzo e pseudomorfos de pirita, além de alteração e oxidação (TF22-III-150). B: Afloramento de talco-clorita xisto, *in-situ* e com muitos blocos rolados (TF22-III-4). C: Afloramento centimétrico de talco xisto, em corte de estrada, em que é possível

notar os planos de textura decussada, com mineralogia composta por talco, tremolita e minerais micáceos (TF22-III-157).122

Figura 5.26: Fotos da lâmina TF22-III-4, todas a nicois cruzados. A: Arranjo lepidoblástico, caracterizado pela direção preferencial do talco, que são intercaladas com clorita. B: Arranjo lepidoblástico com arranjo nematoblástico, caracterizado por talco e tremolita, respectivamente. Chl = Clorita, Tlc = Talco e Tr = Tremolita.....123

Figura 5.27: Diagrama de fácies metamórfica, em que o destaque azul, marca o intervalo de temperatura e pressão à qual o Projeto Mara Rosa foi submetido (Adaptado de Bucher & Grapes, 2011).....124

Figura 5.28: Figura esquemática para representar onde se encontra cada zona de metamorfismo da Área III. A Zona Oeste representa a porção que abrange as unidades de Santa Terezinha, enquanto a Zona Leste possui as unidades pertencentes a Mara Rosa.....124

Figura 5.29: Diagrama An-Ab-Or para a classificação de feldspatos para os xistos subordinados em Santa Terezinha, com os teores de An calculados para cada ponto (Modificado de Deer *et al.*, 1963).....126

Figura 5.30: Diagrama ACF ilustrando a assembleia mineralógica principal em fácies anfíbolito. A Área III contém ortogneisses com paragênese principal destacada pelo triângulo em vermelho com exceção da área em verde, sendo plagioclásio, muscovita, biotita e quartzo, com granada e hornblenda em pontos locais (Winter, 2001).....128

Figura 6.1: Mapa Estrutural Integrado do Projeto Mara Rosa, evidenciando os domínios estruturais definidos para a região.....130

Figura 6.2: Estereogramas referente ao Domínio Estrutural I - Transbrasiliano. A: Estereograma com densidade de pólos de foliações mergulhando 30 a 60° para NW. B: Estereograma com a densidade das medidas de lineação destacando os caimentos de 40 a 80° para NW.....131

Figura 6.3: Estereogramas referente ao Domínio Estrutural II - Mara Rosa. A: Estereograma com densidade de pólos de foliações mergulhando 30 a 60° para NW; B: Estereograma com a densidade das medidas de lineação destacando os caimentos de suaves a moderados (15-45°) para WSW e NW. C: Estereograma com densidade de pólos de foliações mergulhando >60° para W; D: Estereograma com a densidade das medidas de lineação destacando os caimentos de <30° para SW.....133

Figura 6.4: Estereogramas referente ao Domínio Estrutural III - Bom Jesus. A: Estereograma com densidade de pólos de foliações mergulhando 30 a 60° para NW. B: Estereograma com a densidade das medidas de lineação destacando os caimentos de <15° para NNE e localmente de 20° para SW. C: Estereograma com densidade de pólos de foliações mergulhando 30 a 60° para NNW. D: Estereograma com a densidade das medidas de lineação destacando os caimentos de <15° para NE.....134

Figura 6.5: Estereogramas referente ao Domínio Estrutural IV - Campinorte. A: Estereograma com densidade de pólos de foliações mergulhando 30° a 80° para NW. B: Estereograma com a densidade das medidas de lineação destacando os caimentos de 0° a 40° para N.....136

Figura 6.6: Mapa Estrutural da Área III do Projeto Mara Rosa, representando o único domínio presente na área, denominado domínio Mara Rosa.....137

Figura 6.7: Estereogramas de foliações correspondentes ao domínio Mara Rosa. A: Foliação correspondente a Sequência Santa Terezinha. B: Foliação correspondente a Sequência Mara Rosa. C: Figura esquemática representativa da Área III, indicando o comportamento e localização dos domínios estruturais presentes. ST: Santa Terezinha. MR: Mara Rosa.....138

Figura 6.8: Projeção estereográfica para as medidas dos pólos (209 no total) de foliação obtidas para S_n e S_{n+1} . É possível notar concentração na região SE.....139

Figura 6.9: A: Anfibólio xisto, com textura nematoblástica evidenciada pela hornblenda, além de domínios com minerais micáceos, formando textura lepidoblástica (TF22-III-33). B: Rocha classificada como quartzo-muscovita xisto, com foliação bem marcada pelos dos minerais micáceos (TF22-III-38). C: Afloramento de quartzo-muscovita xisto com visível crenulação (TF22-III-54). D: Microfotografia em que é possível notar a textura *mica fish*, na qual os cristais de biotita estão cavalgando sob o outro (TF22-III-57).....140

Figura 6.10: Projeção estereográfica para as medidas dos pólos (64 no total) de foliação obtidas para a Sequência Santa Terezinha, observando concentração na região ESE/SE.....141

Figura 6.11: A: Bandamento composicional muito bem evidenciado no ortognaisse de composição diorítica (TF22-III-62). B: Bandamento composicional entre frações quartzo-feldspáticas e frações máficas, compostas por anfibólios (TF22-III-44).....142

Figura 6.12: A: A rocha, classificada como tremolita-talco xisto, apresenta foliação como xistosidade, dominada pelos minerais micáceos e com leve crenulação (TF22-III-4). B: Classificada como talco-tremolita xisto, a rocha possui orientação preferencial devido aos minerais micáceos, além de pseudomorfos de pirita e oxidação presente (TF22-III-150).....142

Figura 6.13: A: Rocha classificada como anfibolito, em que é possível notar maior foliação nas bordas e aumento da granulometria ao centro, indicando resfriamento mais rápido (TF22-III-136). B: A rocha, classificada actinolito, evidencia a textura nematoblástica, em que os cristais de anfibólio têm uma orientação preferencial em uma direção (TF22-III-96B).....143

Figura 6.14: Projeção estereográfica para as medidas dos pólos (143 no total) de foliação obtidas para a Sequência Mara Rosa, com maior concentração em SE, mas outros pontos em NE.....143

Figura 6.15: Em amarelo, tanto em A (TF22-III-56) como em B (TF22-III-54), é possível observar a presença da foliação S_{n+1} com suas lineações de crenulação.....144

Figura 6.16: A: A lineação de estiramento (Lx) é definida pelo estiramento dos grãos micáceos na rocha (TF22-III-57). B: A lineação de crenulação formou microdobras e foliação do tipo S-C (TF22-III-167).....145

Figura 6.17: Projeção estereográfica para as medidas de lineação obtidas em quatro imagens. A: Estereograma com todas as lineações (n=31). B: Estereograma com lineações minerais (n=19). C: Estereograma com lineações de estiramento (n=9). D: Estereograma com lineações de crenulação (n=3).....146

Figura 6.18: A: Sigmóide em granada-quartzo xisto, com orientação destal, indicado em preto (TF22-III-57). B: Sigmóide em afloramento de ortognaisse de composição tonalítica, indicando movimentação destal, indicado em preto (TF22-III-74).....147

Figura 6.19: A (TF22-III-74) e B (TF22-III-86): As duas rochas, classificadas como ortognaisse de composição tonalítica, apresentam foliação do tipo S-C (indicado pelo tracejado em amarelo), próximos a lupa em cada figura, em que a ponta da lupa está direcionada para o norte.....147

Figura 6.20: A/B (TF22-III-54): Dobra vista em afloramento de quartzo-muscovita xisto, com sua representação esquemática em B. O flanco A tem atitude 319/53, o flanco B possui atitude 068/64 e o flanco C apresenta atitude 244/66. Em (1), eixo da dobra possui 051/12 de atitude e seu plano axial mede 056/18, enquanto em (2), seu eixo da dobra tem 295/19 como atitude e 020/25 no plano axial.148

Figura 6.21: Em branco, dobra recumbente (marcada em tracejado branco) em afloramento de ortognaisse de composição tonalítica (TF22-III-86).....149

Figura 6.22: Bloco diagrama esquemático com os principais elementos estruturais pertencentes à Área III. A: Lineação de estiramento em nível rico em quartzo. B: Sigmóide com cinemática destal, representado em cor amarela. C: Nível centimétrico, como visto pela escala em martelo, de segregação de quartzo.....150

Figura 6.23: A: Os espaços gerados pelas fraturas estão sendo preenchidos por veios de quartzo, como é possível observar na figura (TF22-III-86). B: Fratura de cisalhamento, em que é possível observar deslocamento milimétrico dos estratos (TF22-III-74). C: As fraturas ocorrem em pares conjugados, como é possível notar na figura. Além disso, com o espaço formado, injeções posteriores de feldspatos aconteceram, entrando na foliação (TF22-III-44)..... 151

Figura 6.24: Diagrama de rosetas com as fraturas encontradas na Área III. É possível observar uma família de fraturas orientadas preferencialmente em NW e outra família em ENE..... 152

Figura 7.1: Mapa geológico simplificado do Arco Magmático Mara Rosa destacando zonas hidrotermais e correlação com estruturas regionais. Há uma coincidência espacial entre as ocorrências e depósitos de Cu-Au e Au, e zonas de alteração hidrotermal avançadas, marcadas por rochas aluminosas, podendo conter cianita, e rochas calcissilicáticas. Essas zonas hidrotermais, por sua vez, coincidem com sistemas de falhas transcorrentes (Modificado de Oliveira et al., 2016)..... 158

Figura 7.2: Mapa Geológico da Área III do Projeto Mara Rosa, com os pontos de ocorrência dos recursos minerais..... 163

Figura 7.3: A/B: Foto das amostras do afloramento TF22-III-93 referentes aos gonditos..... 164

Figura 7.4: A/B: Amostras de campo do afloramento TF22-III-156 dos cianititos..... 165

Figura 7.5: A/B: Amostras de campo do afloramento TF22-III-4 do clorita-talco xisto..... 167

Figura 8.1: Modelo de evolução tectônica do Maciço de Goiás durante a fase do orógeno (2200 a 2000Ma). Destaque para a formação do Arco Campinorte, o qual é a única unidade contida no contexto do PMR (Adaptado de Cordeiro *et.al*, 2017)..... 169

Figura 8.2: Estágio de Arco Paleoproterozoico, ocorrido entre 2200 e 2000 Ma. CP = Arco Campinorte..... 170

Figura 8.3: Estágio de Arco Intra-Oceânico Neoproterozoico. CP = Arco Campinorte, MR = Arco Mara Rosa..... 171

Figura 8.4: Estágio de Colisão Arco-Continente. ST= Arco Santa Terezinha de Goiás; MR = Arco Mara Rosa; CP = Arco Campinorte; LTB = Lineamento Transbrasiliano..... 173

Figura 8.5: Estágio Colisional a Pós-Colisional. LTB = Lineamento Transbrasiliano; ST= Arco Santa Terezinha de Goiás; MR = Arco Mara Rosa; CP = Arco Campinorte..... 174

Figura 8.6: Estágio Extensional a Pós-Orogênico. Destaque para o colapso aproveitando as estruturas formadas durante o Transbrasiliano. LTB = Lineamento Transbrasiliano; ST= Arco Santa Terezinha de Goiás; MR = Arco Mara Rosa; CP = Arco Campinorte..... 174

Figura 8.7: Estágios de evolução tectônica do Orógeno Brasília envolvendo os arcos Campinorte, Mara Rosa e Santa Terezinha de Goiás; (A) Estágio de Arco Intra-Oceânico Paleoproterozoico, correspondente ao Arco Campinorte, 2200-2000 Ma; (B) Maciço de Goiás como uma extensão pericratônica do Cráton São Francisco, 2000 Ma; (C) Estágio de Arco Intra-Oceânico Neoproterozoico, correspondente ao Arco Mara Rosa, 900-800 Ma; (D) Estágio de Colisão Arco-Continente, correspondente ao Arco Santa Terezinha de Goiás, 670-600 Ma; (E) Estágio Colisional a Pós-Colisional, destacando a influência do Lineamento Transbrasiliano no Orógeno Brasília após a formação do supercontinente Gondwana pela colisão entre os crátons. Adaptado de Oliveira *et al.* (2004)..... 176

Figura 9.1: Mapa geológico integrado, em sua versão simplificada, da área do Projeto Mara Rosa... 181

Figura 9.2: Mapa geológico simplificado da área do Projeto Mara Rosa, de acordo com a Folha Campinorte SD.22-Z-B-I..... 182

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Tabela sintetizando as características espectrais dos sensores OLI e TIRS do satélite Landsat 8.....	52
Tabela 3.2: Comparativo entre os sensores que compõem o CBERS 04: WPM, MUX e WFI (adaptado de INPE, 2019).....	54
Tabela 3.3: Características gerais do sensor PALSAR do satélite ALOS.....	54
Tabela 3.4: Parâmetros detalhados e utilizados para a modelagem do MDE.....	56
Tabela 3.5: Valores numéricos atribuídos aos intervalos de cada elemento (K, eU e eTh) definidos para determinar os domínios com princípios quantitativos-qualitativos.....	78
Tabela 3.6: Domínios gamaespectrométricos do Projeto Mara Rosa individualizados por seus valores qualitativos de abundância dos radioelementos K (%), eTh e eU. Além disso, foi feita uma interpretação possível da origem das rochas contempladas pelo domínio.....	78
Tabela 5.1: Tabela com as quatro lâminas de xistos analisadas: TF22-III-33, TF22-III-51, TF22-III-54 e TF22-III-57. Em azul, os minerais que compõem a mineralogia de cada rocha.....	100
Tabela 5.2: Tabela com as três lâminas de ortognaisses analisadas: TF22-III-26, TF22-III-74 e TF22-III-84. Em azul, os minerais que compõem a mineralogia de cada rocha.....	115
Tabela 5.3: Tabela com as três lâminas de anfibolitos analisadas: TF22-III-44, TF22-III-96A e TF22-III-96B. Em azul, os minerais que compõem a mineralogia de cada rocha.....	120
Tabela 6.1: Representação dos eventos deformacionais da Área III, marcada por três fases.....	153
Tabela 8.1. Resumo dos principais estágios de evolução tectônica das unidades geológicas da área do PMR.....	165

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Anf - Anfibólio

AVNIR- 2 - Advanced Visible and Near Infrared Radiometer-type 2

ALOS - Advanced Land Observing Satellite

AM - Anomalia Magnética

AMG - Arco Magmático de Goiás

An - Anortita

ASF - Alaska Satellite Facility

AW - Clima tropical de savana

Bt - Biotita

CA - Cráton Amazônico

CAST - Academia Chinesa de Tecnologia Espacial

CBERS - China-Brazil Earth Resources Satellite

Chl - Clorita

CMT - Campo Magnético Total

CMY - Cyan- Magenta - Yellow

CP - Cráton Paranapanema

CPRM - Serviço Geológico do Brasil

CT - Contagem Total

CSF - Cráton São Francisco

CXbd - Cambissolo Háptico distrófico

Dx - Primeira Derivada horizontal do CMA no eixo X

Dy - Primeira Derivada horizontal do CMA no eixo Y

Dz - Primeira derivada vertical do CMA

Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Ep - Epidoto

eTh - Equivalente de Tório

eU - Equivalente de Urânio

FFc - Plintossolo Pétrico concrecionário

FICO - Ferrovia de Integração do Centro-Oeste

FUNMINERAL - Fundo de Fomento à Mineração

Ga - Bilhões de anos

GHT - Gradiente Horizontal Total

GPS - Global Positioning System

Grt - Granada

Hbl - Hornblenda

IAEA - International Atomic Energy Agency

IG - Instituto de Geociências

IGRF - International Geomagnetic Reference Field

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

JAXA - Japan Aerospace Exploration Agency

K-Feldspato - Feldspato potássico

KF - Feldspato potássico

Ky - Cianita

Landsat - Land Remote-Sensing Satellite (System)

LASA - Latin American Studies Association

Lc - Lineação de crenulação

Ln - Lineação mineral

LVd - Latossolo Vermelho distrófico

LVAd - Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico

Lx - Lineação de estiramento

Ma - Milhões de anos

MC - Morros e Colinas

MDE - Modelo Digital de Elevação

MME - Ministério das Minas e Energia

Mn - Manganês

MR - Mara Rosa

Ms - Muscovita

MUX - Câmera Multiespectral

NDVI - Normalized Difference Vegetation Index

NE - Nordeste

NIR - Near-infrared spectroscopy

NO - Noroeste

OLI - Operational Land Imager

P - Banda Pancromática

P - Pressão

PALSAR - Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar

PCA - Principal Component Analysis

PFm - Planície Fluvial com Padrão Meandriforme

PI - Plagioclásio

PMR - Projeto Mara Rosa

ppm - Partes por milhão

PRISM - Panchromatic Remote-Sensing Instrument for Stereo Mapping

PVAd - Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico

Qtz - Quartzo

RGB - Red - Green - Blue

RLd - Neossolo Litólico distrófico

SA3D - Sinal Analítico em três dimensões

SAG - Bacia intracratônica (intraplacas)

SE - Sudeste

SGMTM - Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

SIEG - Sistema Estadual de Geoinformação do Governo do Estado de Goiás

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SMR - Sequência Mara Rosa

SRA - Superfície Regional de Aplainamento

SST - Sequência Santa Terezinha

ST - Santa Terezinha

St - Estaurolita

SW - Sudoeste

T - Temperatura

TDM - Idade Modelo do Manto

TIRS - Thermal Infrared Sensor

Tlc - Talco

Tr - Tremolita

Ttn - Titanita

UnB - Universidade de Brasília

UTM - Universal Transversa de Mercator

WFI - Câmera de Campo Largo

WPM - Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura

SUMÁRIO

Capítulo 1 - Introdução	25
1.1 Apresentação	25
1.2 Objetivos	25
1.3 Localização	26
1.4 Aspectos Fisiográficos	27
1.4.1 Clima	27
1.4.2 Vegetação	28
1.4.3 Pedologia	29
1.4.4 Geomorfologia	31
1.4.5 Hidrografia	32
1.5 Materiais e Métodos	33
1.5.1 Etapa Pré-Campo	34
1.5.2 Etapa Campo	35
1.5.3 Etapa Pós-Campo	37
Capítulo 2 - Geologia Regional	38
2.1 Província Tocantins e Faixa Brasília	38
2.2 Contexto Geológico Regional do Projeto Mara Rosa	41
2.2.1 Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte	42
2.2.1.1 Suíte Plutônica Pau-de-Mel	43
2.2.1.2 Grupo Serra da Mesa	43
2.2.2 Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa	44
2.2.3 Ortognaisses Tonalíticos	45
2.2.4 Sequência metavulcanossedimentar Santa Terezinha de Goiás	46
2.2.5 Intrusões Tardi a Pós-Orogênicas	46
2.2.5.1 Suíte Amarolândia	47
2.2.5.2 Suíte Plutônica do Arco Magmático de Goiás - Plúton Faina	47
2.2.6 Associações Hidrotermais e Mineralizações Associadas	48
2.2.7 Cianititos	49
Capítulo 3 - Sensoriamento Remoto e Geofísica Aérea	51
3.1 Introdução	51
3.2 Sensoriamento Remoto	51
3.2.1 Landsat 8	52
3.2.2 CBERS 04A	53
	21

3.2.3 ALOS PALSAR	54
3.3 Processamento de dados	55
3.3.1 Modelo Digital de Elevação (MDE)	56
3.3.2 Sensores Ópticos	57
3.4 Análise e Interpretação dos dados provenientes do Sensoriamento Remoto	61
3.4.1 Contexto Projeto Mara Rosa	61
3.4.2 Contexto Área III	64
3.5 Aerogeofísica	69
3.5.1 Dados Utilizados	70
3.5.2 Processamento dos Dados	71
3.5.2.1 Magnetometria	71
3.5.2.2 Gamaespectometria	72
3.5.3 Métodos	73
3.5.3.1 Método Magnetométrico	73
3.5.3.1.1 Interpolação de Dados	73
3.5.3.1.2 Derivada de Primeira Ordem	73
3.5.3.1.3 Gradiente Horizontal Total (GHT)	74
3.5.3.1.4 Sinal Analítico (SAD3D)	74
3.5.3.2 Gamaespectometria	75
3.5.3.2.1 Canais Individuais	75
3.5.3.2.2 Contagem Total	75
3.5.3.2.3 Mapas de Composição Ternária	75
3.5.4 Análise das imagens processadas	76
3.5.4.1 Dados Magnéticos	76
3.5.4.2 Dados Gamaespectométricos	77
3.5.5 Interpretação Regional e Interpretação da Área III	81
Capítulo 4 - Geologia do Projeto Mara Rosa	86
4.1 Arco Magmático Campinorte	86
4.2 Arco Magmático Mara Rosa	88
4.2.1 Unidade Metavulcanossedimentar	88
4.2.2 Unidade Metassedimentar	89
4.2.3 Rochas Intrusivas Pré a Sin-tectônicas	90
4.2.4 Unidade Hidrotermal	91
4.3 Grupo Serra da Mesa	91
4.4 Rochas Intrusivas Tardi a Pós-tectônicas	92
Capítulo 5 - Geologia Local	94

5.1 Unidades Estratigráficas da Área III	94
5.1.1 Plutônicas Tardi a Pós-Tectônicas	95
5.1.1.1 Leucogranito Bom Jesus	95
5.1.1.2 Plúton Faina	97
5.1.2 Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha	98
5.1.2.1 Unidade Metassedimentar Psamo-Pelítica	99
5.1.3 Unidade Hidrotermal	110
5.1.3.1 Associação Aluminosa	110
5.1.3.2 Associação Calcissilicática	112
5.1.4 Ortognaisses Mara Rosa Indiferenciados	113
5.1.5 Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa	117
5.1.5.1 Unidade Metassedimentar Química	118
5.1.5.2 Unidade Metavulcânica Máfica	118
5.1.5.3 Unidade Metaultramáfica	121
5.2 Metamorfismo	123
5.2.1 Metamorfismo na Zona Oeste	125
5.2.2 Metamorfismo na Zona Leste	127
Capítulo 6 - Geologia Estrutural	129
6.1 Domínios Estruturais do Projeto Mara Rosa	129
6.1.1 Domínio I - Transbrasiliano	131
6.1.2 Domínio II - Mara Rosa	132
6.1.3 Domínio III - Bom Jesus	133
6.1.4 Domínio IV - Campinorte	134
6.2 Geologia Estrutural Local	136
6.2.1 Trama Dúctil	138
6.2.1.1 Foliações	138
6.2.1.2 Lineações	144
6.2.1.3 Indicadores Cinemáticos	146
6.2.1.4 Dobras	147
6.2.2 Trama rúptil	150
6.2.2.1 Fraturas	150
6.2.2.2 Falha de Empurrão Amaralina	152
6.3 Eventos Deformacionais	152
Capítulo 7 - Geologia Econômica	154
7.1 Recursos Minerais do Projeto Mara Rosa	154
7.1.1 Sistema Pórfiro-Epitermal	155

7.1.2 Sistema Aurífero Orogênico	156
7.1.3 Sistema Residual/Supergênico	157
7.1.4 Minerais e Rochas Industriais	157
7.2 Recursos Minerais da Área III	159
7.2.1 Sistema Residual/Supergênico	160
7.2.2 Minerais e Rochas Industriais	162
Capítulo 8 - Evolução Tectônica	165
8.1. Evolução Tectônica do Orógeno Brasília	166
8.2. Evolução Tectônica do Arco Magmático Goiás	167
8.2.1. Estágio de Arco Paleoproterozoico	167
8.2.2. Estágio de Arco Intra-Oceânico Neoproterozoico	170
8.2.3. Estágio de Colisão Arco-Continente	171
8.2.4. Estágio Colisional a Pós-Colisional	173
8.2.5. Estágio Extensional Pós-Orogênico	174
8.3. Modelo Evolutivo do Arco Magmático Mara Rosa	175
Capítulo 9 - Conclusão	177
REFERÊNCIAS	183

Capítulo 1 - Introdução

1.1 Apresentação

O presente relatório apresenta os resultados obtidos no Trabalho de Mapeamento Final 2022, chamado Projeto Mara Rosa, do curso de Graduação em Geologia da Universidade de Brasília no ano de 2022. O trabalho consiste na realização de um mapeamento na região de Mara Rosa, no norte do estado de Goiás, a 350 km de Brasília. A região de Mara Rosa foi escolhida pelo seu grande potencial econômico, em que há várias empresas da área de mineração atuando nas proximidades.

O Projeto abrangeu o mapeamento, em escala de 1:25000, de uma área que está inserida na Folha SD.22-Z-A-III Santa Terezinha de Goiás, perfazendo uma superfície de aproximadamente 645 km². Ao todo, 29 alunos participaram do Projeto, divididos em onze áreas, com dez áreas de 60 km² e uma área de 44,5 km².

A coordenação deste Projeto foi liderada pelo professor Dr. Claudinei Gouveia de Oliveira e contou com a colaboração dos professores Drs. Elton Luiz Dantas, Guilherme de Oliveira Gonçalves, Henrique Llacer Roig, Luis Gustavo Ferreira Viegas, Maria Emília Schutesky, Natalia Hauser, Roberta Mary Vidotti e Valmir da Silva Souza.

O presente relatório irá apresentar as etapas do mapeamento da Área III, iniciado na etapa pré-campo, passando pelas atividades durante o campo e, posteriormente, com o trabalho pós-campo, em que os dados foram integrados com as outras áreas do Projeto, gerando como produto final um mapa e um relatório sobre a área.

1.2 Objetivos

O Projeto Mara Rosa tem como principal objetivo o mapeamento geológico da região próxima à cidade de Mara Rosa/GO, podendo reunir os conhecimentos teóricos e práticos obtidos ao longo do curso de graduação em Geologia. Este trabalho ocorreu entre os dias 16 de setembro e 01 de outubro de 2022.

A cidade de Mara Rosa está inserida no contexto tectônico do Arco Magmático de Goiás, mais exatamente em sua porção norte, o Arco Mara Rosa. Pelo mapeamento em menor escala, houve avanço do conhecimento geológico prévio. Foi possível melhorar os contatos entre as diferentes litologias, detalhar o arcabouço estrutural e a cinemática da região, além de melhor avaliar o seu potencial metalogenético. Por fim, ao integrar os dados com os outros grupos, um mapa geológico por Área e um mapa regional puderam ser produzidos.

1.3 Localização

O acesso de Brasília até a região de Mara Rosa, município indicado para a realização do presente Projeto, começou pela rodovia federal BR-070, saindo de Brasília, até chegar à cidade de Cocalzinho de Goiás, após 85 km percorridos. Em seguida, foi utilizada a rodovia federal BR-414 em direção à cidade de Cachoeira, por 74 km. Na sequência, o acesso se fez pela rodovia federal BR-080, por 55 km, até a cidade de Taquaral, onde a nova direção se valeu pela rodovia federal BR-153, por mais 71 km. Por fim, chega-se na rodovia estadual GO-239, sentido oeste, percorrendo mais 10 km e chegando à região de Mara Rosa (Figura 1.1).

A chegada à região mapeada foi realizada, principalmente, pela rodovia estadual GO-239 e por outras vias de acesso não pavimentadas, pertencentes aos municípios de Mara Rosa e Amaralina.

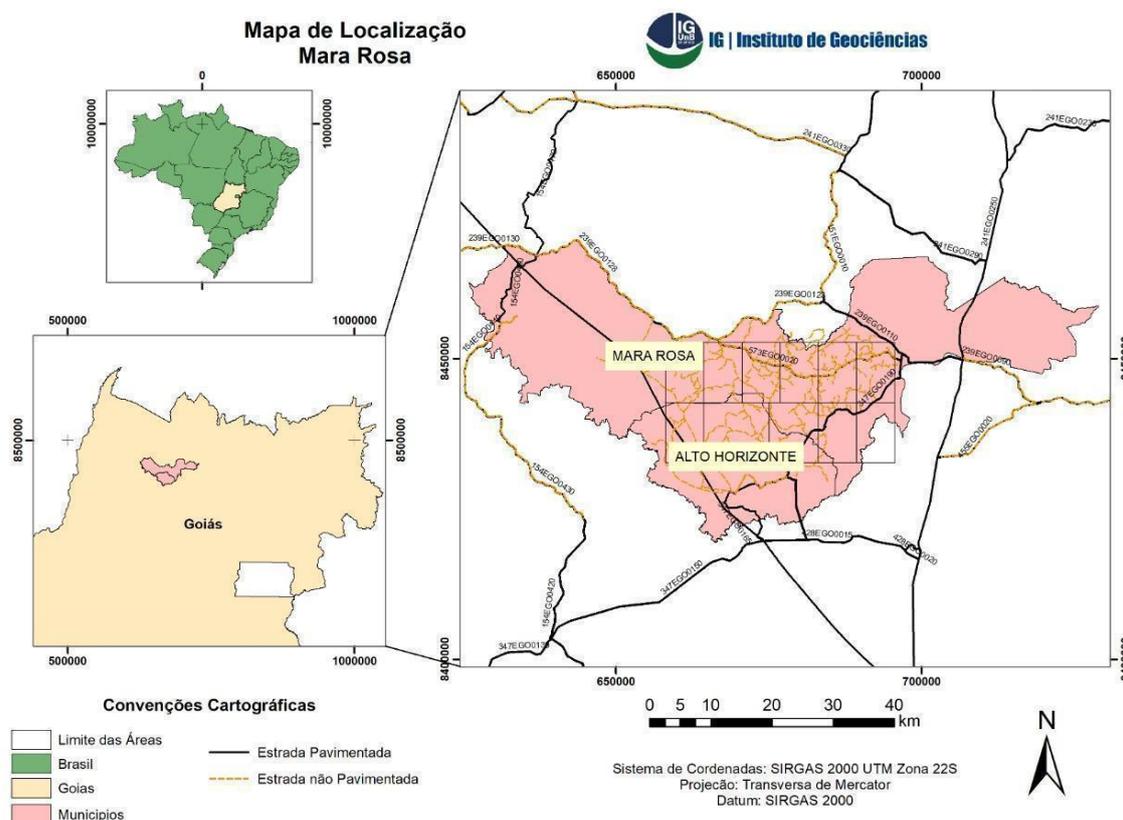


Figura 1.1: Mapa de localização das áreas de estudo do Projeto Mara Rosa; os retângulos na figura da direita representam as áreas mapeadas, divididas em onze grupos (Área XI está tampada pelo “Alto Horizonte”).

1.4 Aspectos Fisiográficos

1.4.1 Clima

O clima da região de Mara Rosa é o tropical úmido, em que há duas estações muito bem definidas entre si: uma seca e fria, entre maio a setembro, e uma úmida e quente, entre outubro e abril, com classificação AW (clima tropical com inverno seco), segundo Koppen (1948).

A precipitação média anual apresenta valores próximos a 1.500 mm, principalmente entre os meses de dezembro e março, com escassas chuvas ao longo dos outros meses (Figura 1.2).

Em relação a temperatura, ela possui média anual de 26,3° C. É visto que a maior temperatura se encontra em setembro, enquanto a menor ocorre nos meses entre junho e julho (Figura 1.2).

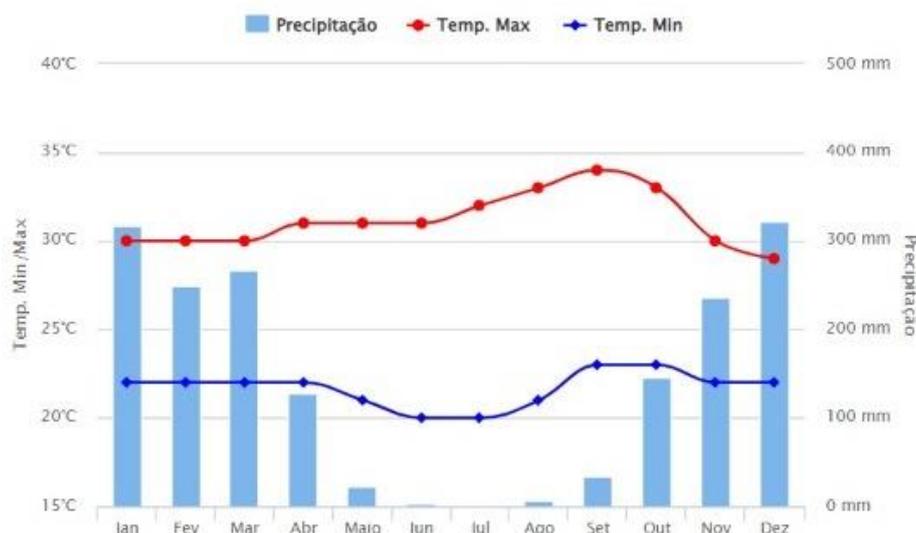


Figura 1.2: Gráfico em que mostra a temperatura, máxima e mínima, e a precipitação, todas em média, acerca do município de Mara Rosa (Fonte: Climatempo).

1.4.2 Vegetação

Na área do Projeto Mara Rosa, a vegetação nativa é o Cerrado, em que as plantas estão adaptadas ao clima semiárido. Originalmente, é uma região muito rica e diversificada, com coberturas de formação florestais (savana arborizada com floresta de galeria), savânicas (savana arborizada sem floresta de galeria), cerradão (savana florestada) e vegetação secundária (Santos, 2000).

Esses tipos de vegetação encontrados na região são bem parecidos entre si. Há o predomínio de árvores em que as folhas caem na seca, galhos tortuosos, componentes arbustivo-arbóreos de aspecto xeromorfo e com solos profundos e pouco férteis, como latossolos (Santos, 2000).

Em que pese a área de cobertura vegetal mapeada no Projeto Mara Rosa, é importante salientar que se trata de uma região com grandes áreas de cobertura laterítica, devido, principalmente, a evolução geomorfológica da região. Tal fato corrobora para o Projeto possuir muitas áreas sem afloramento e feições geológicas.



Figura 1.3: Fotografia tirada em campo na Área III, em que é possível observar o comportamento padrão da vegetação nativa como Cerrado.

1.4.3 Pedologia

A região do Projeto Mara Rosa é caracterizada por seis tipos de solo (SIC - Superintendência de Geologia e Mineração, SIEG/GO), sendo eles: Plintossolo Pétrico concrecionário (FFc), o Latossolo Vermelho distrófico (LVd), o Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd), o Neossolo Litólico distrófico (RLd), o Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (PVAd) e Cambissolo Háptico distrófico (CXbd).

O Plintossolo Pétrico concrecionário (FFc) abrange cerca de 55% da área do Projeto, ocorrendo principalmente em áreas baixas e bordas de chapadas. É considerado pobre em nutrientes e está diretamente associado a terrenos de várzeas. Esse tipo de solo possui coloração variada e são fortemente ácidos.

O Cambissolo Háptico distrófico (CXbd) corresponde a cerca de 20% da área do Projeto. É pouco espesso e está relacionado a processos de pedogênese. Este solo pode ser caracterizado como pouco intemperizado e possui a presença de material parental.

O Latossolo Vermelho distrófico (LVd) representa cerca de 15% da área de estudo. É associado a um estágio avançado de intemperismo, sendo bem drenado, com grande profundidade e fortemente ácido.

O Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd) constitui cerca de 3% da área, sendo solo bem evoluído, homogêneo, rico em óxidos e hidróxidos de Fe e Al.

O Neossolo Litólico distrófico (RLd) reflete 5% da área total do Projeto. É pouco espesso e não apresenta grandes alterações em relação ao material originário. É constituído por matéria orgânica e minerais.

O Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (PVAd) corresponde a 2% da área. A coloração do solo é tipicamente vermelha-amarelada, sendo moderadamente ácido e hidromórfico.

A Área III apresenta três tipos (Figura 1.4): Cambissolo Háplico distrófico (CXbd) à norte/nordeste, Latossolo Vermelho distrófico (LVd) à centro-leste e o restante da área é recoberta por Plintossolo Pétrico concrecionário (FFc).

Mapa Pedológico - Projeto Mara Rosa

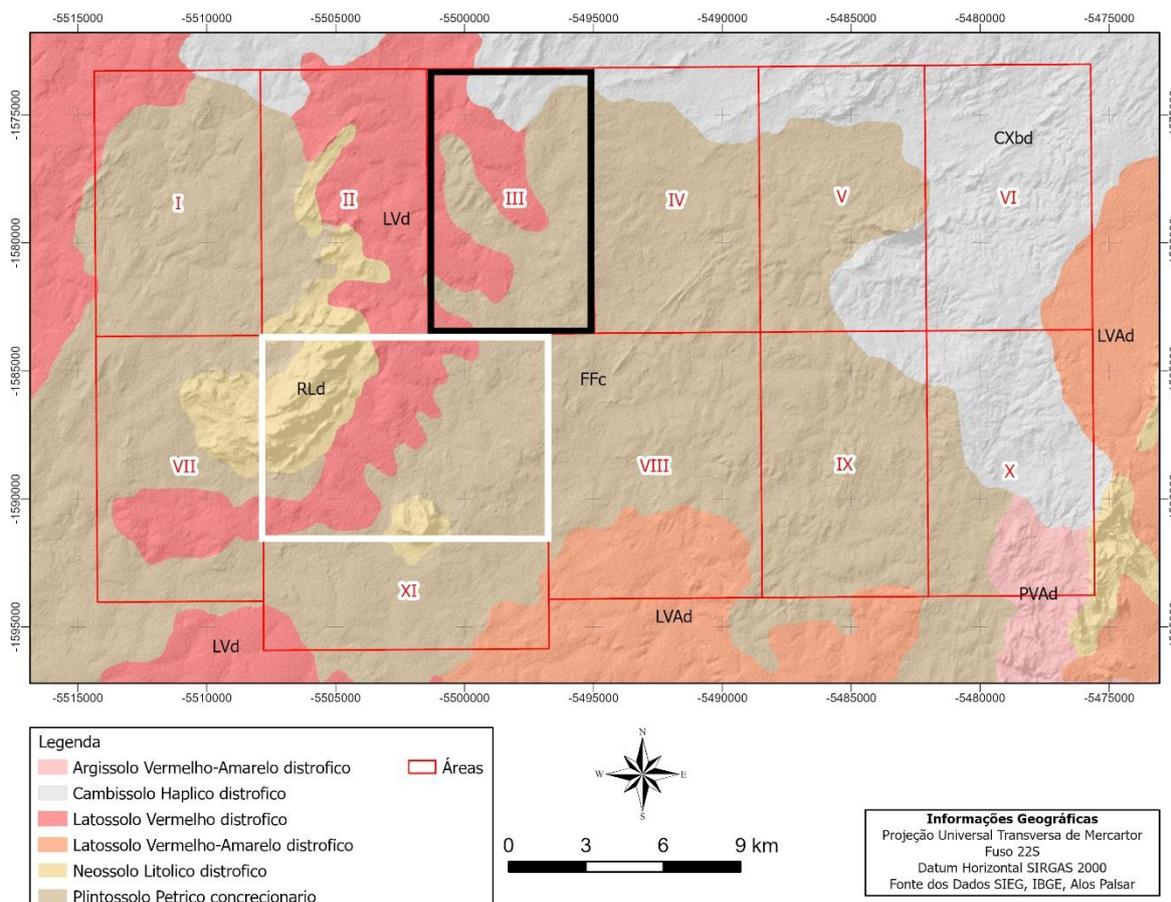


Figura 1.4: Mapa Pedológico do Projeto Mara Rosa (Adaptado de SIEG/GO, IBGE, Alos Palsar, 1:250.000). O retângulo preto representa a Área III e o branco o Mapeamento Geológico 2, realizado em 2021/2.

1.4.4 Geomorfologia

A unidade geomorfológica a qual o Projeto está inserida é a Superfície Tocantins, em que é caracterizada pela presença de terrenos aplainados e com dissecação, na qual o aprofundamento das drenagens possui caráter bem fraco. Ainda é possível notar a presença de couraças ferruginizadas e pavimentos detríticos superficiais (Lacerda Filho, 2000).

As áreas do Projeto Mara Rosa estão inseridas em uma região, predominantemente, de superfícies aplainadas e de cotas altimétricas baixas (entre 300 e 500 metros). Essa erosão, associada ao grande grau de intemperismo da região, gerou grande quantidade de coberturas detrito-lateríticas Terciárias e Quaternárias, que não são o objetivo do Projeto, tendo em vista que o intuito ocorre com os protólitos desse intemperismo.

A Figura 1.5 é o mapa geomorfológico do Projeto Mara Rosa, dividido em três grandes domínios: Morros e Colinas (MC), Planície Fluvial com Padrão Meandriforme (PFm) e Superfície Regional de Aplainamento (IIIA, IVA e IVC). As superfícies de aplainamento, de cotas entre 250 e 400 metros, perfazem quase toda a área mapeada. Na região oeste, as rochas pertencem à unidade Santa Terezinha, com o relevo tendo dissecação média. Já na região leste, a dissecação é mais fraca, em que as superfícies de aplainamento atingem cotas de 700 a 800 metros, com rochas pertencentes à unidade Campinorte. É possível notar, também, alguns pontos locais de morros e colinas, possivelmente relacionados a serras e intrusões graníticas.

A Área III é constituída, basicamente, por superfícies de aplainamento (cotas entre 250 e 400 metros) de dissecação fraca, desenvolvida em rochas Pré-Cambrianas. Ao norte, há uma pequena presença de morros e colinas.

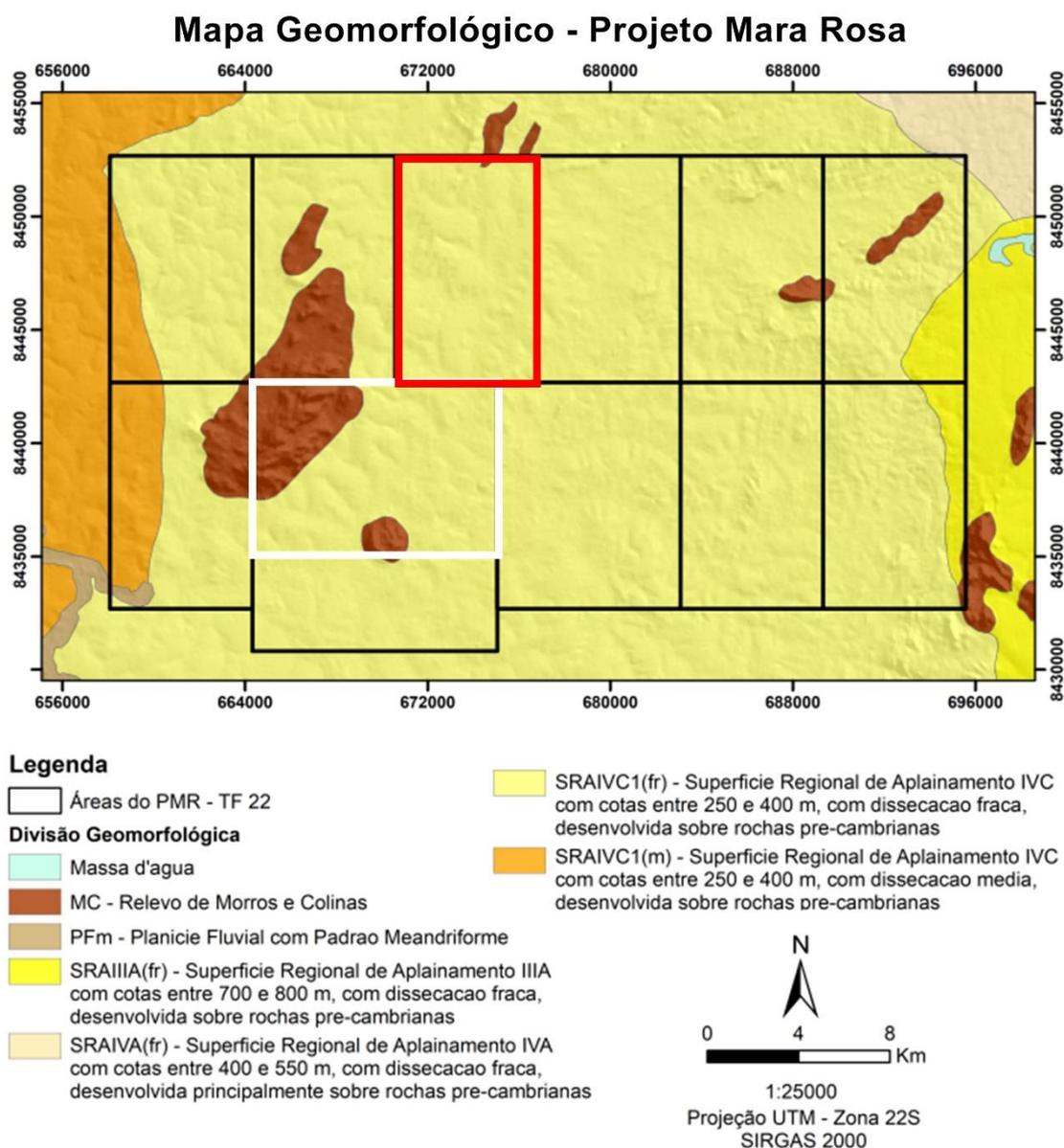


Figura 1.5: Mapa Geomorfológico do Projeto Mara Rosa (Adaptado de SIEG/GO, IBGE, Alos Palsar, 1:250.000). O retângulo vermelho representa a Área III e o branco o Mapeamento Geológico 2, realizado em 2021/2.

1.4.5 Hidrografia

A área de estudo está inserida na região hidrográfica do rio Tocantins, compreendendo a bacia hidrográfica do ribeirão Santa Maria, rio Formiga, rio do Ouro e córrego Armador, além das regiões hidrográficas rio dos Bois.

O rio Formiga caracteriza o principal curso d'água inserido no contexto do estudo. Apresenta direção SW-NE, localizando-se na região central da área do Projeto Mara Rosa.

Na Área III, a rede de drenagem não é densa, e é constituída principalmente pelo rio Formiguinha, um afluente do rio Formiga. Apresenta disposição NW/SE, mais ao centro-norte; já a centro-sul, apresenta disposição N/S.

Mapa de Bacias Hidrográficas - Projeto Mara Rosa

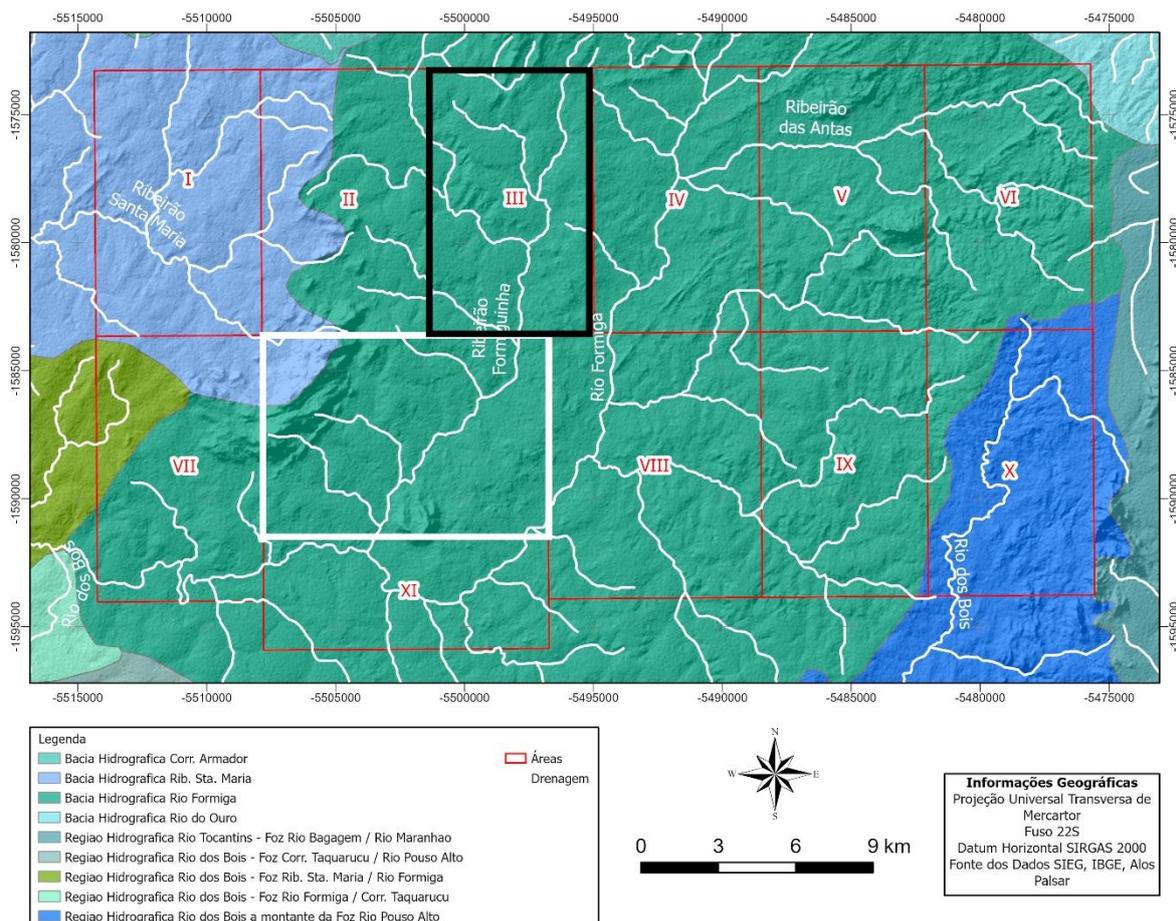


Figura 1.6: Mapa de Bacias Hidrográficas do Projeto Mara Rosa (Adaptado de SIEG/GO, IBGE, Alos Palsar, 1:250.000). O retângulo preto representa a Área III e o branco o Mapeamento Geológico 2, realizado em 2021/2.

1.5 Materiais e Métodos

O Projeto Mara Rosa teve duração entre os meses de maio de 2022 e fevereiro de 2023, com planejamento detalhado na Figura 1.7, em que cada etapa foi desenvolvida e cumprida de acordo com o cronograma.

Área III - Projeto Mara Rosa

Etapas	Atividades	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro
P R É - C A M P O	Revisão Bibliográfica	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Interpretação de dados Aerogeofísicos e Sensoriamento Remoto		■							
	Geologia Regional		■	■						
	Introdução			■						
	Mapa Base Integrado			■						
	Mapa geológico-geofísico integrado e interpretado			■						
CAMPO	Mapeamento geológico e confecção do mapa geológico preliminar				■					
P Ó S - C A M P O	Confecção do mapa geológico					■	■	■	■	■
	Petrografia						■	■	■	
	Refinamento do mapa geológico						■	■	■	
	Geologia do Projeto Mara Rosa						■	■	■	
	Geologia Local							■	■	
	Geologia Estrutural							■	■	
	Geologia Econômica								■	■
	Evolução Tectônica								■	■
	Conclusões									■
	Volume Final						■	■	■	■

Figura 1.7: Fluxograma com todas as atividades desenvolvidas em cada etapa no Projeto Mara Rosa.

1.5.1 Etapa Pré-Campo

A principal etapa nas atividades do pré-campo foi baseada no estudo e reconhecimento da geologia regional da região de Mara Rosa, a área mapeada. Para isso, foi necessário a utilização de vários trabalhos e referências que tange o contexto do Arco Magmático de Goiás, especialmente o Arco Magmático Mara Rosa, sequência metavulcanossedimentar Santa Terezinha, suíte Amarolândia, plúton Faina e a sequência metavulcanossedimentar Campinorte.

Em suma, as principais referências utilizadas no Projeto são de Araújo Filho (2000; 2007), Kuyumjian (1989), Arantes *et al.* (1991), Viana *et al.* (1995), Giustina (2009), Pimentel (1997; 1998; 2000), Oliveira & Pimentel (1998; 2000), Junges *et al.* (2002; 2003), Oliveira *et. al.* (2004; 2006; 2007; 2016; 2017), e Fuck *et al.* (1994; 2006), detalhadas no Capítulo 2 (Geologia Regional).

Acrescido a isso, outras ferramentas auxiliaram o mapeamento geológico, como levantamentos aerogeofísicos (magnetometria e gamaespectrometria), imagens de satélites e modelos digitais de elevação. A partir da junção dessas ferramentas, foi

possível entender, preliminarmente, o comportamento e disposição das unidades geológicas presentes, detalhadas no Capítulo 3 (Sensoriamento Remoto e Geofísica Aérea).

Por fim, com todas as informações reunidas, foi confeccionado o mapa base do Projeto, que pode gerar todo o planejamento logístico de deslocamento e elaboração dos perfis diários.

1.5.2 Etapa Campo

A segunda etapa foi realizada totalmente no campo, entre os dias 16 de setembro e 01 de outubro de 2022, com base no município de Mara Rosa, em Goiás. No total, foram realizados 12 dias de trabalho de campo e 3 dias de trabalho em escritório.

A Área III possui 60 km² e o mapeamento foi realizado com perfis de caminhada em direções próximas a E/W, preferencialmente, perfazendo cerca de 160 km da área. Foram realizados 175 pontos, sendo 111 pontos de afloramento e 64 pontos controle (devido a grande quantidade de laterita), além de 67 amostras coletadas (Figura 1.8). Em cada ponto visitado, houve a descrição macroscópica, acompanhada da curetagem de amostras, quando possível, além de medidas estruturais e seções geológicas.

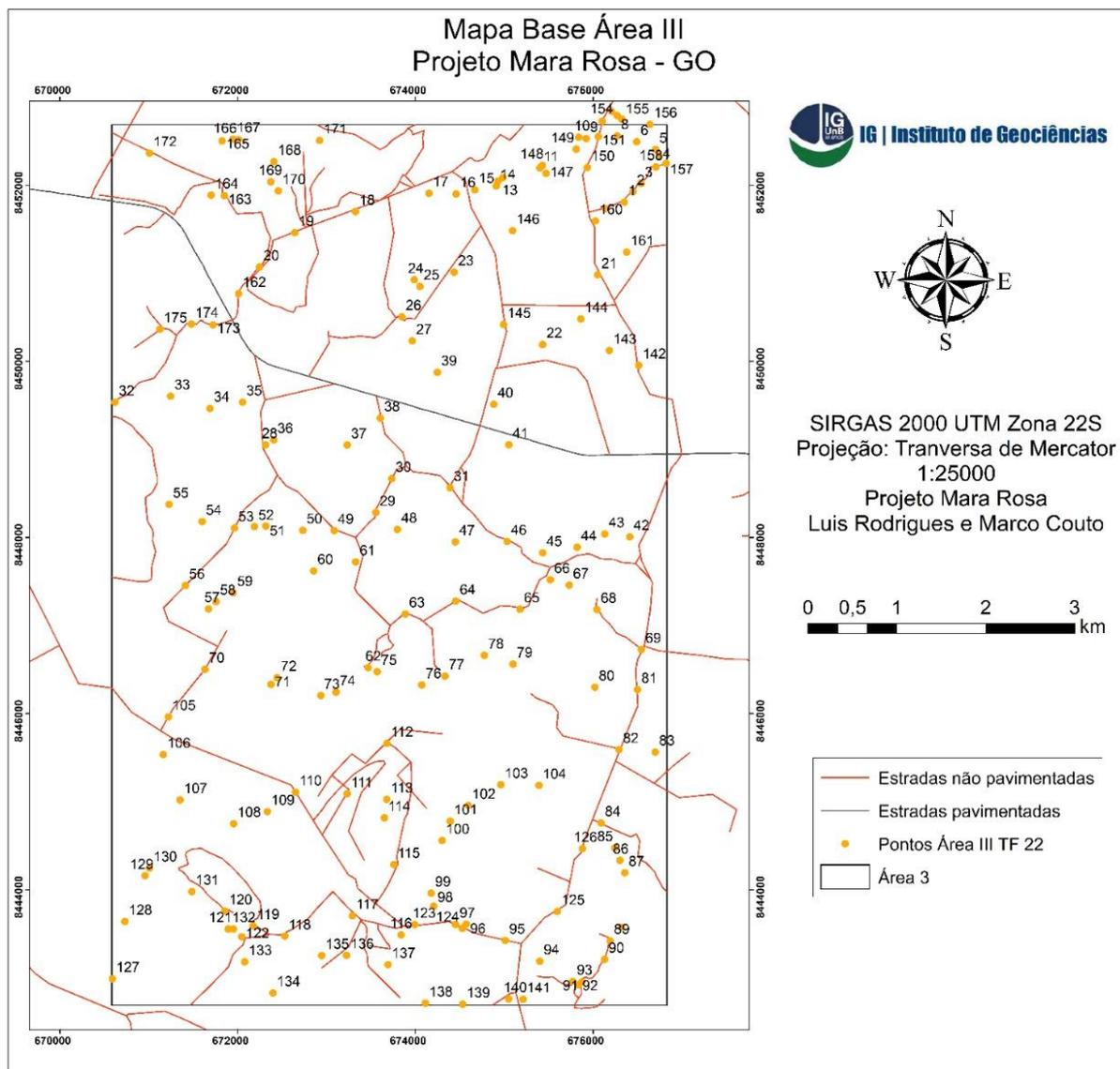


Figura 1.8: Mapa de pontos referentes à Área III do Projeto Mara Rosa.

Durante todo o trabalho no campo, os itens de equipamento de proteção individual obrigatório foram usados, assim como lupa de bolso, martelo, marreta e canivete. Além disso, o Instituto de Geociências disponibilizou um GPS Garmin Etrex 10, uma bússola tipo Brunton e um rádio comunicador.

Outra parte importante na etapa campo foram as reuniões realizadas no final de cada dia, em que era definido o perfil de caminhada do dia seguinte e as informações com as outras áreas pudessem ser integradas, o que permitia saber e avaliar o andamento do mapeamento.

1.5.3 Etapa Pós-Campo

A etapa pós-campo aconteceu entre outubro de 2022 e fevereiro de 2023. O primeiro trabalho realizado foi a seleção de amostras para confecção de lâminas delgadas, divididas em dois lotes, confeccionadas pelo Geolab. Para a Área III, foram confeccionadas 15 lâminas delgadas, que puderam ser detalhadamente analisadas e descritas, por meio de microscópios petrográficos de luz transmitida e luz refletida.

A compartimentação tectônica-estrutural, pôde ser definida por meio dos domínios estruturais e litológicos, podendo, então, estabelecer os eventos deformacionais e evolução tectônica. Por fim, com todas as informações integradas, o mapa geológico do Projeto Mara Rosa foi confeccionado, englobando todas as áreas do estudo.

Capítulo 2 - Geologia Regional

2.1 Província Tocantins e Faixa Brasília

A Província Tocantins está localizada na região central do Brasil, abrangendo os estados do Tocantins, Goiás e o Distrito Federal, além de parte dos estados do Pará, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais. A região foi gerada pela colisão entre os blocos continentais Cráton Amazônico, que está a oeste, Cráton São Francisco, a leste, e o Cráton Paranapanema, a sudoeste (Almeida, 1981), que formaram um sistema composto por orógenos brasileiros, constituídos pelas faixas de dobramentos neoproterozoicas Brasília, Araguaia e Paraguai (Figura 2.1).

Segundo Almeida (1981), a província Tocantins é estabelecida como uma orogênese integrante do sistema Brasileiro/Pan-Africano, tendo sido formado durante as colisões que formaram o Gondwana Ocidental (Unrug, 1992). A província apresenta direção preferencial norte-sul com aproximadamente 2000 km de comprimento e 800 km de largura.

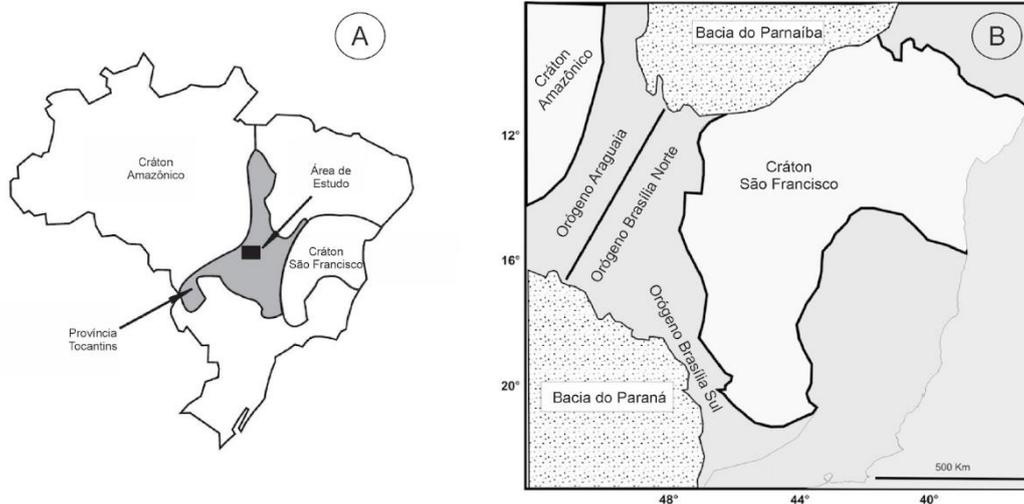


Figura 2.1: A: Mapa do Brasil em que é possível visualizar a Província Tocantins, em meio ao escudo brasileiro, e a área de estudo, no retângulo preto. B: Esquematisação de cinturões no contexto da Província Tocantins (Fuck *et al.*, 2017).

O orógeno Brasília (Figura 2.2) faz parte de um cinturão Neoproterozoico, que foi desenvolvido durante o evento Brasileiro (Pimentel *et al.*, 2004). Esta faixa apresenta dimensões aproximadas de 1200 km de comprimento por 300 km de largura. É um cinturão orogênico de dobras e cavalgamentos de idade neoproterozóica. Tal faixa apresenta uma estrutura denominada Sintaxe dos Pirineus, em que sua concavidade é voltada para a região de antepaís, separando a faixa em

duas porções com distintas histórias evolutivas: a Orógeno Brasília Norte (*trend N/NE*) e a Orógeno Brasília Sul (*trend N/NW*) (Araújo Filho, 2000) (Figura 2.1). A porção sul é resultado da interação entre os Crátons São Francisco e Paranapanema, enquanto a porção norte registra a interação entre os Crátón São Francisco e Amazônico.

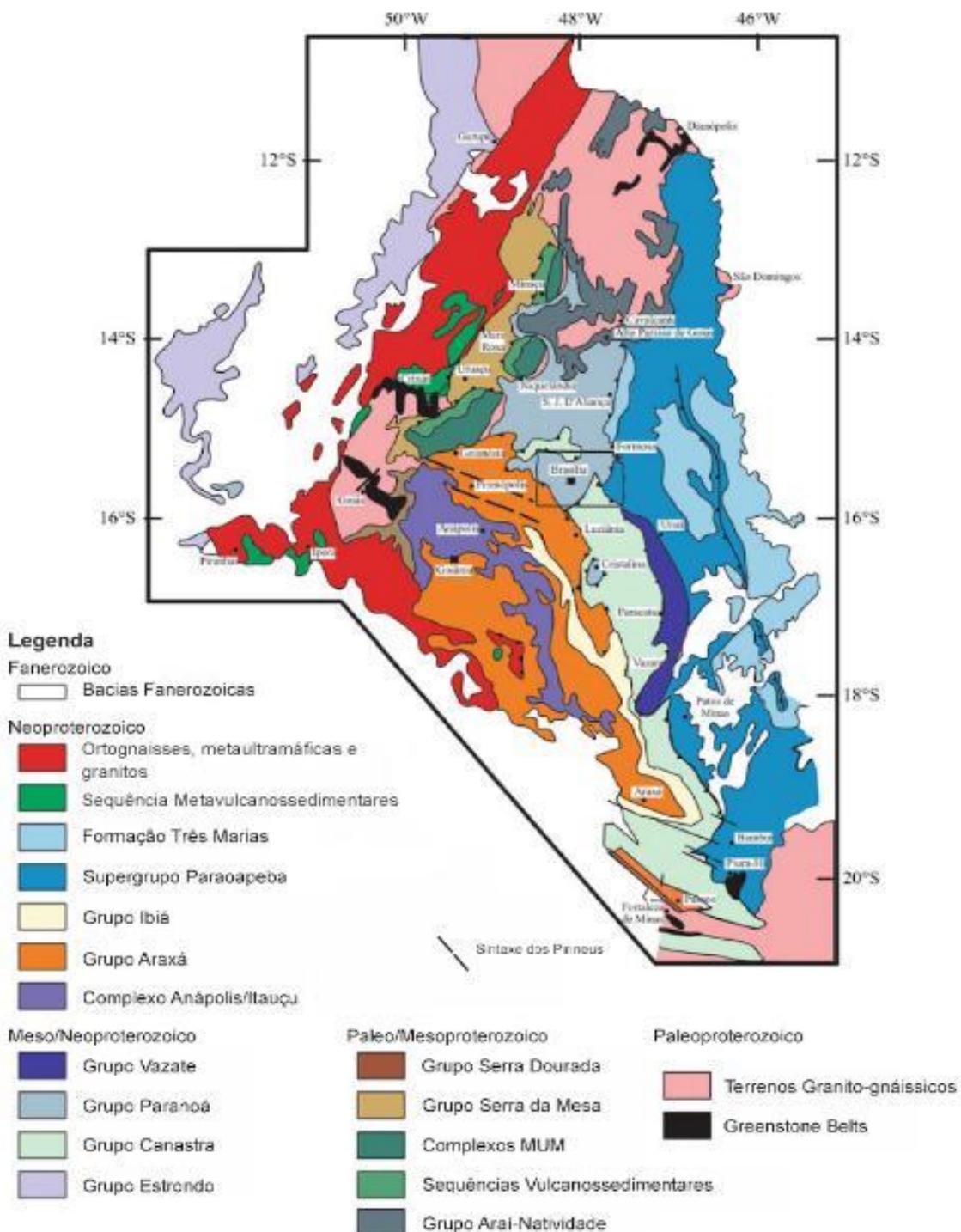


Figura 2.2: Mapa Geológico do Orógeno Brasília (Adaptado e modificado de Fuck *et al.*, 2017).

O orógeno Brasília é compartimentado, de leste a oeste, em três unidades estruturais: Cratônica, Externa e Interna (Fuck *et al.* 1994; Uhlein *et al.* 2012).

- Unidade Cratônica: constitui-se pelos grupos Bambuí e Vazante (Dardenne, 1981, 2000), de sedimentos argilo-carbonáticos, suavemente dobrados a sub-horizontais, e extensas coberturas fanerozoicas. O cráton possui domínio autóctone, sem deformação no embasamento. Limita-se com o orógeno Brasília por falhas de empurrão de baixo a médio ângulo, que expõem os grupos Paranoá e Canastra, unidades essas de idades mesoproterozoicas.

- Unidade Externa: classificada por Dardenne (1981, 2000), Faria (1995) e Guimarães (1997), é composta por unidades metassedimentares, incluindo os grupos Araí, Natividade, Paranoá e Canastra, além de porções do embasamento Arqueano-Paleoproterozóico, que mostram rejuvenescimento graças à tectônica Brasileira.

- Unidade Interna: conforme Pimentel *et al.* (2000), inclui unidades alóctones dos grupos Araxá e Serra da Mesa e porções do embasamento fortemente envolvido na tectônica Brasileira. Em alguns locais, nota-se a presença de complexos máfico-ultramáficos granulitizados (Ferreira Filho *et al.*, 1992) e sequências vulcanossedimentares proterozoicas (Pimentel *et al.*, 2000).

A Unidade Interna é subdividida em três compartimentos tectônicos principais: o Maciço de Goiás, o Núcleo Metamórfico (Complexo Anápolis-Itauçu) e o Arco Magmático de Goiás.

- Maciço de Goiás: é interpretado como um microcontinente (Jost *et al.*, 2013) que configura o complexo crustal mais antigo acrescentado durante a orogênese Brasileira (Fuck, 1994). Por outro lado, Cordeiro & Oliveira (2017) mostram evidências, a partir de estudos de geologia, geofísica e geocronologia, desta região ter sido afetada no paleoproterozoico, entre 2,19 a 2,04 Ga. Ou seja, o Maciço de Goiás pode ser tratado como uma extensão pericratônica à margem oeste do Cráton, pela semelhança nas idades e metamorfismo.

- Núcleo Metamórfico: compreende terrenos do embasamento e agregados. Esta porção da faixa é balizada por duas grandes descontinuidades que se constituem em falhas de borda de um importante sistema transpressivo, o Lineamento

Transbrasiliano (Fonseca *et al.*, 1995). O Complexo Anápolis-Itauçu, compreende rochas de metamorfismo de alto grau. Apresenta granulitos de temperatura ultra-alta retrometamorfisados em diversos estágios (Moraes *et al.*, 2002). É interpretado como a raiz do orógeno Brasília.

- Arco Magmático de Goiás: faixa de acreção crustal neoproterozoica com aproximadamente 1000 km orientada em N/NE, formada entre 930 e 600 Ma, em resposta a obliteração da litosfera oceânica, em virtude da convergência, entre os paleocontinentes Amazônico e São Francisco-Congo (Giustina *et al.*, 2009; Pimentel *et al.*, 1997), durante uma fase inicial da colagem do supercontinente Gondwana. Abrange terrenos de ortognaisses e sequências vulcanossedimentares. Numerosos granitos tardios pós-tectônicos (590-480 Ma) sucederam a justaposição dos diferentes segmentos do arco, como intrusões pontuais ao longo da região. A evolução do arco aconteceu em duas etapas: primeiramente com ambiente orogênico de arco de ilhas, em 900 Ma (Pimentel & Fuck, 1992) e, por fim, com o evento do fechamento do oceano Goiás-Pharusian, datado entre 630 e 600 Ma (Cordani *et al.*, 2013).

2.2 Contexto Geológico Regional do Projeto Mara Rosa

A compartimentação tectônica do Arco Magmático de Goiás consiste de dois segmentos principais: Mara Rosa e Arenópolis.

O segmento Arenópolis é a porção sul do Arco Magmático de Goiás, ocorrendo em grandes áreas à sudoeste e à sul de Goiás, composto por ortognaisses cálcico a cálcico-alcálicos, unidades supracrustais e granitos tipo I e A (Pimentel & Fuck, 1992).

O segmento Mara Rosa representa a porção norte do Arco Magmático de Goiás (Figura 2.3) com 15 a 45 km de largura e 450 km de extensão. É compartimentado nas sequências metavulcanossedimentares de Mara Rosa e Santa Terezinha de Goiás, além de terrenos graníticos sin, sin a tardi e pós-tectônicos, todos de idade neoproterozoica.

A leste do segmento Mara Rosa, está inserida a Sequência Campinorte, de idade paleoproterozoica, composta por quartzo-mica xistos, com a presença de material carbonático e depósitos químicos. Essa unidade é limitada pela falha Rio dos Bois, estando compartimentada próximo ao complexo ultramáfico de Niquelândia (Cordeiro *et al.*, 2014).

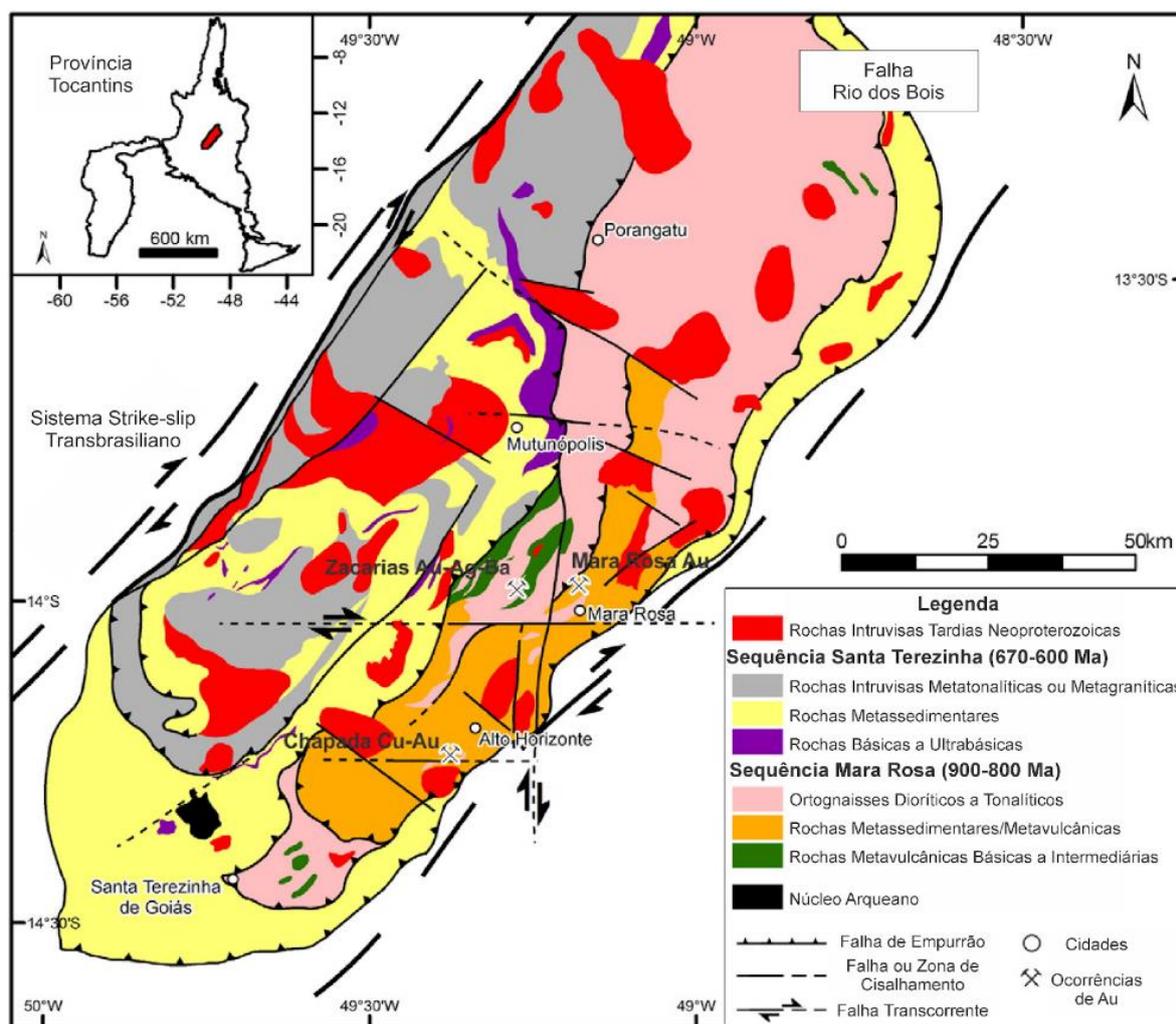


Figura 2.3: Mapa geológico (Oliveira *et al.*, 2016) do segmento Mara Rosa do Arco Magmático de Goiás, mostrando as sequências metavulcanossedimentar de Mara Rosa (900-800 Ma) e Santa Terezinha (670-600 Ma).

2.2.1 Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte

O domínio Campinorte de idade paleoproterozóica é limitado pelo empurrão do Rio dos Bois a oeste e pelo empurrão do Rio Maranhão à leste, com limites norte e sul não expostos (Cordeiro *et al.*, 2014). As estruturas estão situadas entre o segmento Mara Rosa e os complexos ultramáficos de Niquelândia e Barro Alto.

A Sequência Campinorte trata-se de uma sequência metavulcanossedimentar, associada a uma série de corpos graníticos. É predominantemente detrítica e as estruturas e características originais são observadas em alguns locais. A estratigrafia original, no entanto, não pode ser reconhecida devido a um intenso retrabalho das

unidades geológicas, devido às deformações paleoproterozóicas e Brasileiro-Pan-Africanas (Giustina *et al.*, 2009).

O principal tipo de rocha da unidade é o quartzo-mica xisto com variadas quantidades de material carbonático, lentes de quartzito, além de depósitos químicos de gonditos e *metachert*, que aparecem como lentes nas rochas metassedimentares (Giustina *et al.*, 2009). Em suma, a sequência é constituída pelos metatonalitos, metagranodioritos, metamonzogranitios e granulitos da Suíte Pau de Mel, sendo amplamente cobertas pelas rochas metassedimentares do Grupo Serra da Mesa, de idade meso a neoproterozoica.

As datações de U-Pb realizadas em zircão nos metagranitos fornecem 2175 ± 12 Ma para a cristalização ígnea (Pimentel *et al.*, 1997). As análises de Sm-Nd rochas metagraníticas apontam idades modelo (TDM) entre 2,52 e 2,3 Ga (Oliveira & Pimentel, 1998; Kuyumjian *et al.*, 2004).

2.2.1.1 Suíte Plutônica Pau-de-Mel

A suíte é formada por uma vasta variação de rochas plutônicas ácidas calcialcalinas deformadas e metamorfizadas em fácies xisto verde a fácies anfibolito, estando inserida na Sequência Campinorte. Tais rochas constituem equivalentes plutônicos do vulcanismo ácido da Sequência Campinorte (Oliveira 2007).

Dentro desta suíte, destacam-se o milonito granítico Mundinho e Viúva, que hospedam depósitos auríferos orogênicos, além do gnaiss tonalítico Pau-de-Mel (Oliveira *et al.*, 2004).

2.2.1.2 Grupo Serra da Mesa

O Grupo Serra da Mesa é composto, majoritariamente, por uma sequência de rochas metassedimentares psamo-pelíticas, constituídas de quartzitos finos a médios e quartzo xistos, com poucos afloramentos de xistos com clorita, muscovita, magnetita e granada (Marques *et al.*, 2009)

O grupo foi definido como uma sequência psamo-pelito carbonatada por Araújo Filho *et al.* (2007), composta da base para o topo por: xistos (grafita xistos), biotita xistos feldspáticos, silimanita-grafita-granada-biotita xistos e granada-biotita xistos com grafita disseminada), lentes de rochas calcissilicáticas e mármore puros, sucedidos por quartzito com lamelas de muscovita. Já o topo é formado por muscovita-biotita xistos, com lentes de rocha calcissilicática, mármore e quartzito.

O metamorfismo ocorreu em fácies anfibolito e xisto verde alto durante a Orogênese Brasileira. Martins-Ferreira *et al.* (2018) dataram a idade da máxima deposição aproximada a 1,55 Ga, obtida por meio de zircão detrítico. Isso indica formação durante a fase pós-*rift* em relação ao Araí, embora a sequência basal do Grupo Serra da Mesa seja contemporânea à fase sag do *rift*.

2.2.2 Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa

A sequência metavulcanossedimentar Mara Rosa, inserida ao norte no Arco Magmático de Goiás, possui faixas orientadas em N/NE e é formado por ortognaisses tonalíticos/dioríticos sobrepostos por largas áreas de sequências metavulcanossedimentares e granitos tardi a pós-orogênicos (Viana *et al.*, 1995; Pimentel *et al.*, 2000b). A sequência é formada por anfibolitos e hornblenditos, variações de gnaisses (microclínio leucocrático a biotita-plagioclásio gnaisses), xistos (cianita-silimanita-muscovita xisto a quartzo xisto), *metacherts* grafitosos e talco xistos em menor quantidade (Palermo *et al.*, 2000).

Posteriormente, os estudos da sequência Mara Rosa puderam dividir as rochas em três subunidades (Oliveira *et al.*, 2007):

- Subunidade metavulcânica básica: associação de rochas metavulcânicas (anfibolitos finos) e metaplutônicas básicas (anfibolito, quartzo anfibolito e quartzo-biotita-granada anfibolito), com metassedimentares químicas e pelíticas. Há ainda corpos intrusivos de metatonalitos, metadioritos e hornblenditos deformados (Oliveira *et al.*, 2007). Junges *et al.* (2003) dataram anfibolitos de idades entre 603±6 Ma e 638±2 Ma, pelo método U/Pb em zircão.

- Subunidade metassedimentar: associação de rochas psamo-pelíticas, ao longo de corretor transcorrente NE, sendo encaixantes do Granito Bom Jesus. A litologia é composta por granada-estaurolita-plagioclásio-quartzo-muscovita-biotita xisto, cianita-granada-biotita xisto, biotita-quartzo xisto e rochas metassedimentares químicas (gonditos e *metacherts*) (Oliveira *et al.*, 2007). Viana *et al.* (1995) analisou metassedimentos nas áreas fontes, interpretando que são sedimentos imaturos derivados do próprio arco magmático. Junges *et al.* (1998) interpreta que são metagrauvas de origem igual aos tonalitos do local.

- Subunidade metavulcanossedimentar: as litologias principais são rochas metavulcânicas básicas (anfibolitos com granada, biotita e epidoto) a ácidas (gnaisses

com biotita, muscovita, plagioclásio e feldspato potássico) (Oliveira *et al.*, 2007). Tais rochas ocorrem em associação a metassedimentares psamo-pelíticas e químicas, de maior variedade petrográfica, compostas por xistos (com quartzo, plagioclásio e biotita, associadas a anfibólio, clorita, estauroлита, granada, muscovita, feldspato potássico e cianita) (Oliveira *et al.*, 2016). Há ainda produtos hidrotermais associados a mineralizações. Pimentel e Fuck (1992), Pimentel *et al.* (1997) e Junges *et al.* (2002), pela geocronologia, encontraram dois eventos distintos no Arco Mara Rosa. O primeiro, em 900 Ma, está relacionado à formação do arco de ilha oceânico na margem oeste do Cráton São Francisco. Já o segundo, em 630 Ma, ocorre devido à formação do arco magmático.

Pimentel *et al.* (1993, 1997), com o método de datação U/Pb em zircão de meta-vulcânica félsica e de metatonalito, encontrou idades de cristalização de 862 ± 8 Ma e 856 Ma, respectivamente.

Dados isotópicos de Sm/Nd para rochas metassedimentares do Arco Mágmatco de Mara Rosa indicam valores de ϵ_{Nd} , como assinatura isotópica, predominantemente entre 900 e 1200 Ma. Isto mostra que são produto da erosão de rochas do arco em contexto intraoceânico (Pimentel *et al.*, 2000).

2.2.3 Ortognaisses Tonalíticos

Os ortognaisses tonalíticos estão dispostos na forma de dois grandes corpos: um a leste-nordeste de Santa Terezinha de Goiás e outro na porção norte (CPRM, 2007).

Alvarenga *et al.* (2017) mostram que tal subunidade é composta por, essencialmente, biotita-hornblenda gnaiss, em que os corpos possuem geometria sigmoidal (Oliveira *et al.*, 2016).

A datação em zircão por U/Pb nesses gnaisses evidenciam idades de 845 ± 5 Ma (Melo *et al.*, 2006), no depósito Zacarias, próximo as idades dos metatonalitos e metagranitos de Posse, cerca de 856 ± 13 e 862 ± 8 Ma (Pimentel *et al.*, 1997).

A unidade dos ortognaisses tonalíticos indica que foram deformados e metamorfizados em conjunto as unidades das rochas supracrustais.

2.2.4 Sequência metavulcanossedimentar Santa Terezinha de Goiás

A Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha de Goiás compreende rochas supracrustais, principalmente por metassedimentares, além de metamórficas variadas, incluindo quartzitos, clorita-muscovita xistos, clorita xistos, anfibólio xistos, xistos feldspáticos, provavelmente de origem sedimentar dominante, embora haja contribuição significativa de origem vulcânica, principalmente anfibolitos (Souza e Leão Neto, 1984; Fuck *et al.* 2006).

A geometria vista na região ocorre em estruturada arqueada, em *strike* NE/SW, limitada por zonas de cisalhamento compressionais. Alvarenga *et al.* (2007) dividiram tal unidade em duas: metavulcanossedimentar e metassedimentar.

A subunidade metavulcanossedimentar é composta por anfibolitos finos e epidoto anfibolitos, além de corpos de anfibolitos mais grossos, intercalados com xistos (assembleia composta por biotita, muscovita, hornblenda, granada e epidoto) (Oliveira *et al.*, 2016). Já a subunidade metassedimentar é uma variação entre tipos de xistos, em que a mineralogia pode possuir plagioclásio, granada, carbonatos, óxidos, biotita, muscovita, granada, quartzo, epidoto e clorita (Oliveira *et al.*, 2016). Em relação ao metamorfismo, predominam paragêneses indicativas de fácies xisto verde.

2.2.5 Intrusões Tardi a Pós-Orogênicas

Corpos tardi a pós-tectônicos se estendem por toda a região do Arco Magmático de Goiás, em intrusões aos gnaisses e rochas supracrustais, com dois tipos distintos de corpos intrusivos, um dominado por dioritos e outro por granitos (composições gabróicas e graníticas) (Viana *et al.*, 1995; Pimentel *et al.*, 2004).

Gonçalves *et al.* (2011) interpretam que os granitos, de corpos médios a grandes, são predominantemente biotita granito leucocráticos. As intrusões graníticas são as mais comuns, de tamanho variados (atinge até vários quilômetros de extensão), predominantemente biotita granitos leucocráticos. Em sua maioria, são de composição intermediária a ácida (SiO₂: 65% a 73%) e afinidade calci-alcálicas Pimentel *et al.* (2004).

2.2.5.1 Suíte Amarolândia

Segundo Alvarenga *et al.* (2007), a suíte Amarolândia é formada por corpos e intrusões batolíticas de tonalitos, pouco deformados, que ocorrem em toda extensão do arco magmático Mara Rosa, com destaque para as intrusões aflorantes no entorno de Amarolândia e na área do depósito Chapada.

As rochas mais representativas desta suíte exibem macroestrutura isótropa ligeiramente foliada, granulação média e tonalidade mosqueada de branco e cinza escuro. O milonito tonalítico da suíte apresenta uma foliação milonítica definida por superfícies anastomosadas, formada por quartzo e biotita neoformados e/ou recristalizados; há a presença de epidoto e clorita ligados ao metamorfismo de fácies xisto verde (Oliveira *et al.*, 2007).

A análise U-Pb em zircão de tonalito do depósito Chapada mostra idade de $635 \pm 2,4$ Ma, interpretada como cristalização magmática e tida como representativa da suíte tonalítica Amarolândia (Melo, 2006).

2.2.5.2 Suíte Plutônica do Arco Mágmatco de Goiás - Plúton Faina

É uma suíte de rochas plutônicas ácidas, comumente representada por corpos pequenos, pouco ou não deformados, de natureza pós-tectônica. As intrusões graníticas incluem, principalmente, biotita granito e leucogranitos a duas micas, com fácies granodiorítica subordinada, que exibem granulação média a grossa e tonalidade cinza claro (Oliveira *et al.*, 2009).

O Plúton Faina constitui um batólito alongado disposto segundo NE/SW, localizado a cerca de 15 km a noroeste de Alto Horizonte, em Goiás (Depósito de Chapada). A principal fácies deste batólito, inclusive aproveitada como rocha ornamental, exibe granulação média a grossa, macroestrutura isótropa a ligeiramente foliada e compõe-se de feldspato potássico, plagioclásio, quartzo, biotita, muscovita e granada. O contato deste corpo com as metassedimentares encaixantes é marcado por uma faixa larga de milonitos a ultramilonitos (Oliveira *et al.*, 2007).

O Plúton Faina foi datado em 576 ± 6 Ma (Junges *et al.*, 2002, 2003), enquanto as idades modelo TDM pelo método Sm-Nd se situam entre 1,1 e 1,5 Ga (Viana *et al.*, 1995, Junges *et al.*, 2002).

2.2.6 Associações Hidrotermais e Mineralizações Associadas

A área de estudo se insere no contexto do distrito auro-cuprífero Chapada-Mara Rosa (Oliveira *et al.*, 2000, 2004). Este distrito, que vem sendo investigado por companhias de mineração desde o início da década de 70, contém importantes depósitos de Au (Posse, Mundinho, Viúva e Sururuca), Au-Ag-Ba (Zacarias) e Cu-Au (Chapada), além de várias ocorrências auríferas pouco estudadas (Lacerda, 1986).

Os principais depósitos de ouro e cobre-ouro do distrito Chapada-Mara Rosa podem ser identificados por quatro associações distintas: (i) Depósito Zacarias (Au-Ag-Ba), interpretado como vulcanogênico disseminado de natureza estratiforme (Pool, 1994); (ii) Depósito Chapada (Cu-Au), interpretado como vulcanogênico disseminado (Kuyumjian, 1989) ou cobre-porfirítico (Richardson, 1986); (iii) Depósito Posse (Au), definido como disseminado, controlado por zona de cisalhamento mesozonal (Palermo *et al.*, 2000); (iv) Depósito Mundinho (Au-Cu-Bi), considerado como veios quartzo-sulfetados, controlados por zona de cisalhamento com magmatismo pós-orogênico associado (Oliveira *et al.*, 2000) (Figura 2.4).

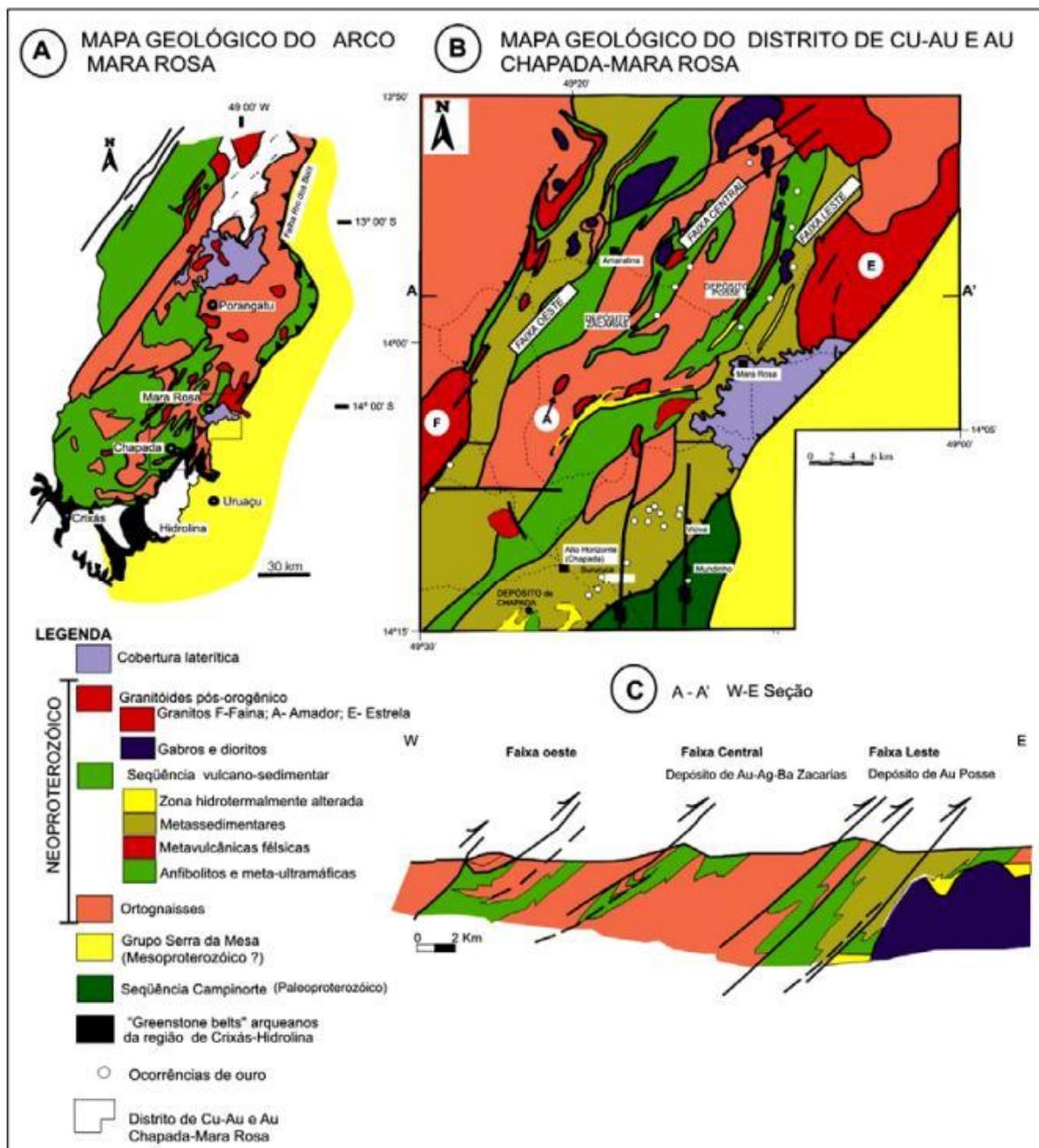


Figura 2.4: A: Mapa geológico esquemático do arco magmático Mara Rosa (Pimentel *et al.*, 1997). B: Mapa geológico do distrito de Au e Cu-Au Chapada-Mara Rosa (modificado de Arantes *et al.*, 1991). C: Seção estrutural esquemática em virtude do arco magmático Mara Rosa (Palermo *et al.*, 2000).

2.2.7 Cianititos

Os cianititos se destacam das outras unidades por apresentarem grande contribuição de metassedimentares ricas em cianita como granada-cianita-muscovita-biotita xisto, quartzo-muscovita-cianita xisto, cianita quartzito e cianitito (Oliveira *et al.*,

2007). Esta unidade ocorre frequentemente envolvendo as serras de cianititos ao longo da zona de cisalhamento da Serra de Bom Jesus, no entorno de Mara Rosa.

Os cianititos compreendem mais de 90% de cianita, à qual se associam quartzo, muscovita e rutilo. A rocha é azul, em geral isótropa e sua textura é diablástica, com granulação média a grossa. Nos quartzitos, de cor branca a azulada, a cianita perfaz em geral entre 30 e 65% do volume da rocha, a ela se associam quantidades variáveis de quartzo e muscovita, além de rutilo como acessório (Oliveira *et al.*, 2007).

Foi aplicado o método de datação U-Pb em rutilo incluso em cianita de cianitito na zona de cisalhamento, apresentando idade de 569 ± 9 Ma. Este resultado é interpretado como ligado ao resfriamento do evento metamórfico de fácies anfibolito, iniciado em cerca de 630 Ma (Oliveira *et al.*, 2007).

Segundo Palermo (1996), o crescimento da cianita pode estar ligado à alteração hidrotermal-magmática prévia de rochas intrusivas ácidas, datadas em cerca de 860 Ma (Pimentel *et al.*, 1997). Posteriormente, é seguido por metamorfismo de fácies anfibolito, de produtos hidrotermais aluminosos do estágio avançado de alteração, durante pico do metamorfismo de fácies anfibolito (Junges *et al.*, 2002).

Capítulo 3 - Sensoriamento Remoto e Geofísica Aérea

3.1 Introdução

A geotecnologia é uma ferramenta muito importante para o mapeamento geológico, pois pode auxiliar com melhor exatidão as interpretações do campo. O presente capítulo visa descrever as ferramentas utilizadas, assim como detalhar o processamento dos dados e interpretar seus resultados.

As imagens aerogeofísicas no trabalho são a aerogamaespectometria e aeromagnetometria, que possibilitaram a identificação de melhor definição de possíveis rochas, contatos litológicos, delimitação de alvos e caminhamento durante todo o mapeamento geológico.

Os dados obtidos no sensoriamento remoto são oriundos dos satélites *Landsat 8 OLI* e *ALOS PALSAR*, utilizados na produção dos mapas base, de lineamentos e geomorfológicos, além da aquisição da estrutura geológica da área, das redes de drenagem, do relevo, dentre outros.

3.2 Sensoriamento Remoto

Sensoriamento remoto é um conjunto de técnicas aplicadas à obtenção de imagens à distância, a partir de alvos presentes na superfície terrestre, sem que seja necessário contato físico direto ou a presença no local. Os aparelhos, em sensores, utilizados transformam a energia em um sinal que é convertido em informação (Arcanjo, 2011). Portanto, para a área de estudo do Projeto Mara Rosa, as características dos espectros em superfícies, estruturação, drenagem e padrões de relevo geraram produtos importantes para o entendimento da região.

Para o presente trabalho, o processamento e a análise de imagens multiespectrais aconteceram pelo *Landsat 8 OLI*, *CBERS 04A* e *ALOS PALSAR*. Com isso, foi possível gerar informações importantes a respeito da geomorfologia, estruturas e litologias. As imagens do sensor *Landsat 8*, de composição colorida RGB e em escala 1:25000, foram recebidas de cena LC08_L2SP_222070_20210726_20210804_02_T1. As imagens do sensor *CBERS 04A* de composição colorida RGB foram tratadas a partir da cena

CBERS_4A_WPM_20220612_209_131_L4. Já no modelo digital de elevação, usou-se cenas do Alos Palsar.

3.2.1 Landsat 8

O satélite *Landsat 8 (Land Remote Sensing Satellite)*, escolhido para o trabalho, possui sensores que captam 11 bandas espectrais: OLI (9 bandas) e TIRS (2 bandas). Ao analisar a resolução espacial, é notado que as bandas 1 a 7 e 9 possuem 30 metros, enquanto a 8 possui 15 metros. As bandas termais, de TIRS, fornecem as temperaturas terrestres mais precisamente, coletadas a 100 metros.

Tabela 3.1: Tabela sintetizando as características espectrais dos sensores OLI e TIRS do satélite *Landsat 8*.

Sensor	Bandas Espectrais	Comprimento de onda (µm)	Resolução espacial
OLI	Banda 1 - Ultra azul (Aerosol/Costeiro)	0.43 a 0.45	30
OLI	Banda 2 - Azul	0.45 a 0.51	30
OLI	Banda 3 - Verde	0.53 a 0.59	30
OLI	Banda 4 - Vermelho	0.64 a 0.67	30
OLI	Banda 5 - Infravermelho próximo (NIR)	0.85 a 0.88	30
OLI	Banda 6 - Infravermelho de ondas curtas (SWIR) 1	1.57 a 1.65	30
OLI	Banda 7 - Infravermelho de ondas curtas (SWIR) 2	2.11 a 2.29	30
OLI	Banda 8 - Pancromática	0.50 a 0.68	15
OLI	Banda 9 - Cirros	1.36 a 1.38	30
TIRS	Banda 10 - Infravermelho termal 1	10.60 a 11.19	100* (30)
TIRS	Banda 11 - Infravermelho termal 2	11.50 a 12.51	100* (30)

O motivo da preferência pelo satélite *Landsat 8* e não os outros modelos, como *Landsat 5* e *Landsat 7*, é em decorrência de possuir mais bandas espectrais, de diferentes combinações em RGB, abrindo um leque maior de informações espectrais e por possuir cenas mais recentes, considerando que o *Landsat 5* e *Landsat 7* pararam de operar há alguns anos. A Figura 3.1 mostra os comprimentos de onda do *Landsat 7* e 8, bem como sua comparação, onde é possível observar o número maior de bandas presentes no *Landsat 8*.

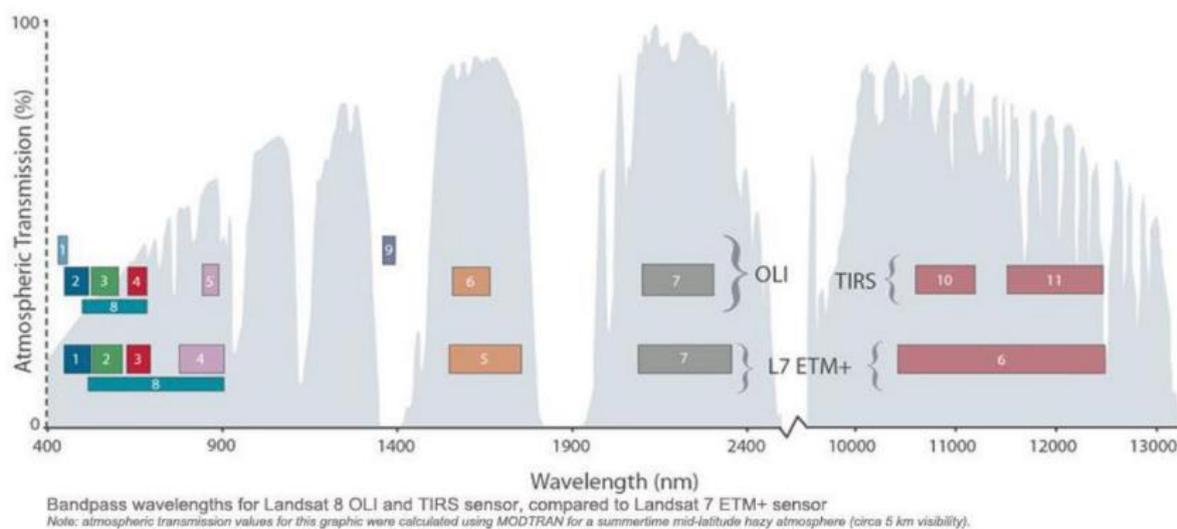


Figura 3.1: Comparação entre os sensores LANDSAT 8 OLI/TIRS e LANDSAT 7 ETM+, sendo a linha superior indicativa das bandas espectrais do LANDSAT 8 OLI/TIRS e a linha inferior das bandas do LANDSAT 7 ETM+.

3.2.2 CBERS 04A

O satélite CBERS 04A é continuação do programa CBERS, fruto de uma parceria entre os governos do Brasil e da China, onde suas agências espaciais, INPE (Brasil) e CAST (China), juntaram-se para desenvolver o programa de construção dos satélites CBERS (INPE, 2019).

O CBERS 4A foi lançado no ano de 2019, com o objetivo principal de monitoramento ambiental, como controle de queimadas, monitoramento de recursos hídricos, áreas agrícolas, uso e ocupação do solo, entre outras aplicações (INPE, 2018). O satélite opera nas faixas espectrais do visível e do infravermelho próximo, com resoluções espaciais na faixa de 2 a 60 metros.

O satélite conta com três sensores distintos. O primeiro sensor é a Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (WPM), possuindo três bandas no visível e uma no infravermelho, todas com resolução de 8 metros, além de uma banda pancromática com resolução de 2 metros. Já o segundo é a Câmera Multiespectral (MUX), com três bandas no visível e uma no infravermelho, apresentando resolução espacial de 16,5 metros. E a Câmera de Campo Largo (WFI), que também possui também três bandas no visível e uma no infravermelho, com resolução espacial de 55 metros.

Tabela 3.2: Comparativo entre os sensores que compõem o CBERS 04: WPM, MUX e WFI (adaptado de INPE, 2019).

Características	WPM (µm)	MUX (µm)	WFI (µm)
Bandas espectrais	B1 0.45 a 0.52 (B) B2 0.52 a 0.59 (G) B3 0.63 a 0.69 (R) B4 0.77 a 0.89 (NIR) P 0.45 a 0.90 (PAN)	B5 0.45 a 0.52 (B) B6 0.52 a 0.59 (G) B7 0.63 a 0.69 (R) B8 0.77 a 0.89 (NIR)	B13 0.45 a 0.52 (B) B14 0.52 a 0.59 (G) B15 0.63 a 0.69 (R) B16 0.77 a 0.89 (NIR)
Resolução	2m 8m	16.5m	55m
Largura da faixa imageada	92 km	95 km	684 km
Visada lateral de espelho	Não	Não	Não
Revisita	31 dias	31 dias	5 dias
Quantização	10 bits	8 bits	10 bits
Taxa de dados bruta	1800.8 Mbps 450.2 Mbps	65 Mbps	50 Mbps

3.2.3 ALOS PALSAR

A JAXA (*Japan Aerospace Exploration Agency*) lançou ao espaço, em janeiro de 2006, o satélite ALOS. Este é composto por três sensores diferentes, cada qual com seu objetivo definido (Embrapa, 2018). O primeiro são os radiômetros PRISM (*Panchromatic Remote Sensing Instrument for Stereo Mapping*), que adquirem imagens detalhadas da superfície terrestre em 3D. O segundo é o multiespectral AVNIR-2 (*Advanced Visible and Near Infrared Radiometer-type 2*), mapeando o uso e a cobertura do solo. E, por último, o sensor microondas PALSAR (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*), usado na produção do MDE (Modelo Digital de Elevação). A Tabela 3.3 traz luz às informações do PALSAR.

Tabela 3.3: Características gerais do sensor PALSAR do satélite ALOS.

Sensor	Canais/Bandas espectrais	Frequência	Ângulo de visada
PALSAR	Fine - single	1270 MHz (banda L)	8° a 60°
PALSAR	Fine - dual	1270 MHz (banda L)	8° a 60°
PALSAR	ScanSAR	1270 MHz (banda L)	18° a 43°
PALSAR	Polarimetric	1270 MHz (banda L)	8° a 30°

As imagens foram fornecidas pela JAXA e distribuídas pela ASF (*Alaska Satellite Facility*), de cena AP_26927_FBS_F6900_RT1, com resolução espacial de 12,5 metros, de raio FBS (*Beam Mode*).

A partir da cena citada e com o uso do software Arcmap (v.10.3) no processamento dos dados, um MDE foi gerado pela ferramenta *hillshade*. Tal produto possibilitou reconhecer e extrair os lineamentos de relevo da área e rosetas, que serão melhor descritos no próximo tópico.

3.3 Processamento de dados

As imagens orbitais, bem como os demais dados vetoriais e matriciais utilizados no Projeto Mara Rosa, foram trabalhados em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas). Para isto, diferentes softwares de geoprocessamento foram utilizados, incluindo *Google Earth Pro* e QGIS (3.20.2), ambos de utilização livre e gratuita, e *ArcMap* (10.5), licenciado por meio do uso institucional fornecido pelo IG/UnB. Cada etapa em cada software está detalhada na Figura 3.2.

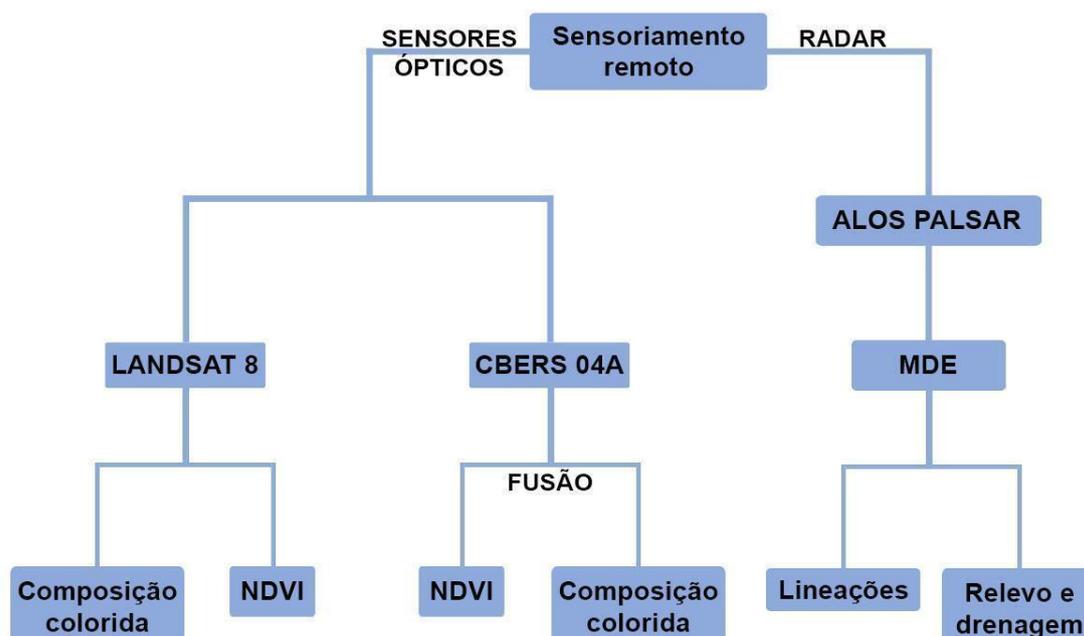


Figura 3.2: Fluxograma evidenciando o processamento ocorrido durante a etapa do sensoriamento remoto.

3.3.1 Modelo Digital de Elevação (MDE)

O Modelo Digital de Elevação (MDE) foi gerado a partir dos dados do Alos Palsar, na qual foram aplicados os algoritmos de sombreamento de relevo (*hillshade*) e de extração de curvas de nível (*contour*), com seus parâmetros de entrada detalhados na Tabela 3.4. Este processo resultou na geração de um dado matricial de relevo simulado e um dado vetorial de elevação do terreno.

Tabela 3.4: Parâmetros detalhados e utilizados para a modelagem do MDE.

Hillshade
Fator Z: 2.5
Azimute: 300º
Ângulo de inclinação: 40º
Escala de cores: Branco a Cinza 50% (ArcMap)
Contour
Espaçamento: 50 m
Suavização
Iterações: 3
Deslocamento: 0.25
Ângulo máximo de nó pra suavizar: 180º

Para o presente trabalho, a ferramenta da hipsometria foi utilizada. Ela é uma técnica em que representa, graficamente, em escala de cores, a variação da altitude de uma área, a partir de compilação de dados geodésicos ou barométricos. Quanto mais esverdeada, menor será a altitude, enquanto mais avermelhada, maior a altitude. Com o mapa hipsométrico, é possível gerar curvas de níveis, definidas por linhas que representam uma cota definida.

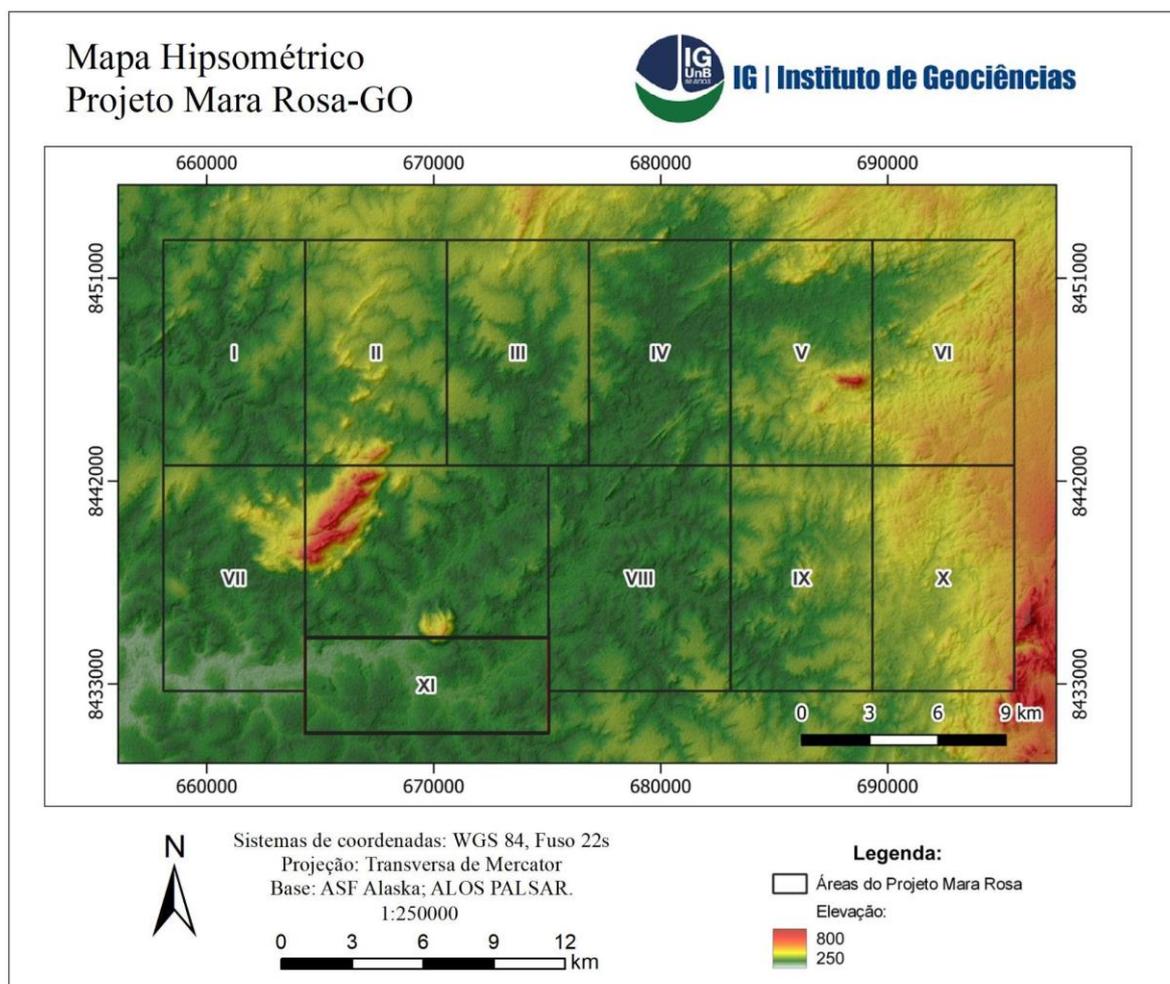


Figura 3.3: Mapa Hipsométrico do Projeto Mara Rosa, mostrando a variação de altitude (de 250 a 800 metros).

3.3.2 Sensores Ópticos

Inicialmente, as imagens CBERS 04A passaram por um empilhamento das bandas 1 a 4 (*layer stacking*), de forma a uni-las em um único arquivo *raster* e possibilitar suas combinações em composições coloridas. Em seguida, foi feita uma fusão da imagem empilhada com a banda P (pancromática), por meio da ferramenta *pansharpening*, onde os pixels das bandas 1 a 4, de resolução espacial 8 metros,

foram reamostrados com base nos pixels da banda P, de 2 metros de resolução espacial. Como resultado, obteve-se uma imagem multiespectral com 4 bandas (B, G, R e NIR), todas com pixels de 2x2 metros.

O mapa base preliminar do Projeto Mara Rosa (Figura 3.4), assim como da Área III (Figura 3.10), foi produzido por meio da análise e vetorização de elementos cartográficos, no software ArcGIS. Ambos os mapas usaram as imagens de composições ternárias RGB do *Landsat 8* e da plataforma *Google Earth*.

A partir do mapa base do Projeto Mara Rosa, a imagem reamostrada foi utilizada para a confecção das composições coloridas RGB 321 (Figura 3.5A), RGB 432 (Figura 3.5B) e RGB 423 (Figura 3.5C), bem como para a extração e análise de componentes principais (*PCA - Principal Component Analysis*).

A escolha dessas duas composições RGB se deu a partir de suas principais características. A imagem RGB 321 (Figura 3.5A), em cores reais situadas no intervalo de comprimentos de onda do visível, evidencia as estradas, caminhos de terra e locais de habitação, como fazendas e vilas. Já a RGB 432 (Figura 3.5B) foi utilizada para ressaltar a vegetação ativa, devido a sua alta reflectância no infravermelho de ondas curtas (Banda 4), além das drenagens e matas ciliares. E a imagem RGB 423 (Figura 3.5C) mostra o comportamento do solo da região.

Com relação ao processamento das imagens *Landsat*, foi feito um empilhamento inicial de bandas, assim como aplicado às imagens *CBERS*, concatenando as bandas 1 a 7 em uma única imagem. Na sequência, a imagem empilhada foi utilizada para a confecção de composições coloridas, fazendo uso também de razões espectrais e extração de componentes principais.

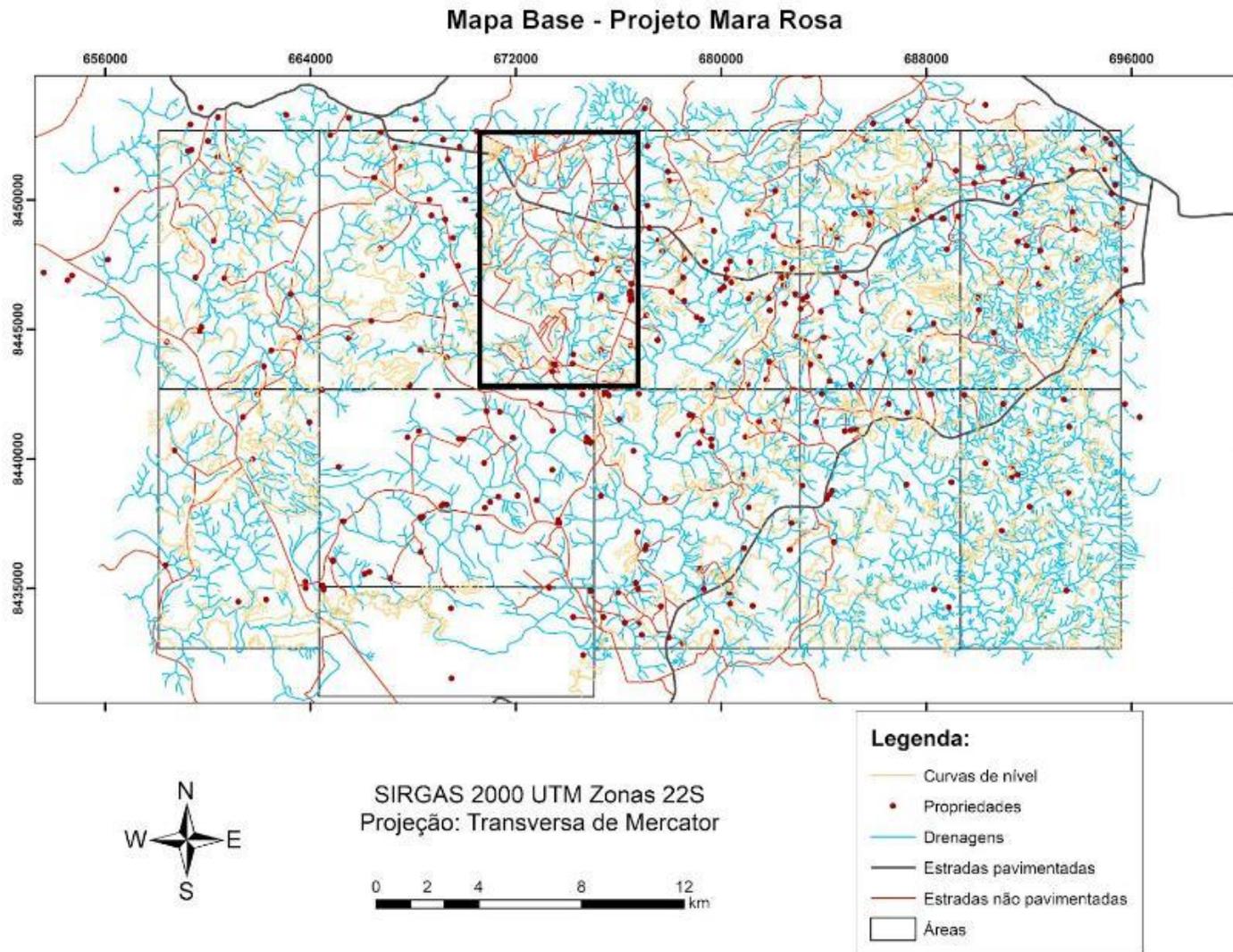


Figura 3.4: Mapa base regional do Projeto Mara Rosa. Área III marcada com retângulo preto mais grosso e com destaque para as drenagens, vias de acesso, curvas de nível e propriedades.

3.4 Análise e Interpretação dos dados provenientes do Sensoriamento Remoto

3.4.1 Contexto Projeto Mara Rosa

As imagens sombreadas do MDE possibilitaram que fossem traçados os lineamentos regionais do relevo a partir das quebras positivas e das drenagens. Os *trends* estruturais regionais puderam ser observados a partir da orientação preferencial. Os lineamentos são importantes para definir estruturas de regime rúptil, como por exemplo, fraturas e clivagens, além de determinar as direções associadas aos acamamentos e foliações aflorantes (Soares e Fiori, 1976).

Com o mapa de lineamentos, foram gerados diagramas de rosetas, para relevo e drenagem, a fim de notar a orientação preferencial das estruturas presentes no Projeto Mara Rosa. A ferramenta *AzimuthFinder* (Queiroz *et al.*, 2014) possibilitou entender as características e quantificar o comportamento de cada lineamento. A roseta gerada está condicionada à frequência de como cada lineamento está direcionado, não sendo relevante o tamanho que cada um possui.

Ao analisar os lineamentos de relevo da área do Projeto Mara Rosa, é notável uma direção preferencial NE/SW, próximo a 30 graus (Figura 3.7). Já em relação aos lineamentos de drenagem é bastante heterogênea, mas com duas direções bem evidenciadas, sendo elas NE/SW e NW/SE, com média próxima a 355 graus (Figura 3.9).

O presente trabalho não irá incluir na área de mapeamento a classificação de zonas homólogas, baseadas em quebras de relevo, drenagem e lineamentos. Isso porque é mais aplicável em regiões sedimentares, vulcanossedimentares e metassedimentares de baixo grau, com forte mudança do padrão de relevo.

A área do Projeto Mara Rosa é, em sua maior composição, plana a suavemente ondulada. Tal informação infere que as imagens de satélite não tenham tanta correlação com a geologia da área, se em comparação aos dados geofísicos.

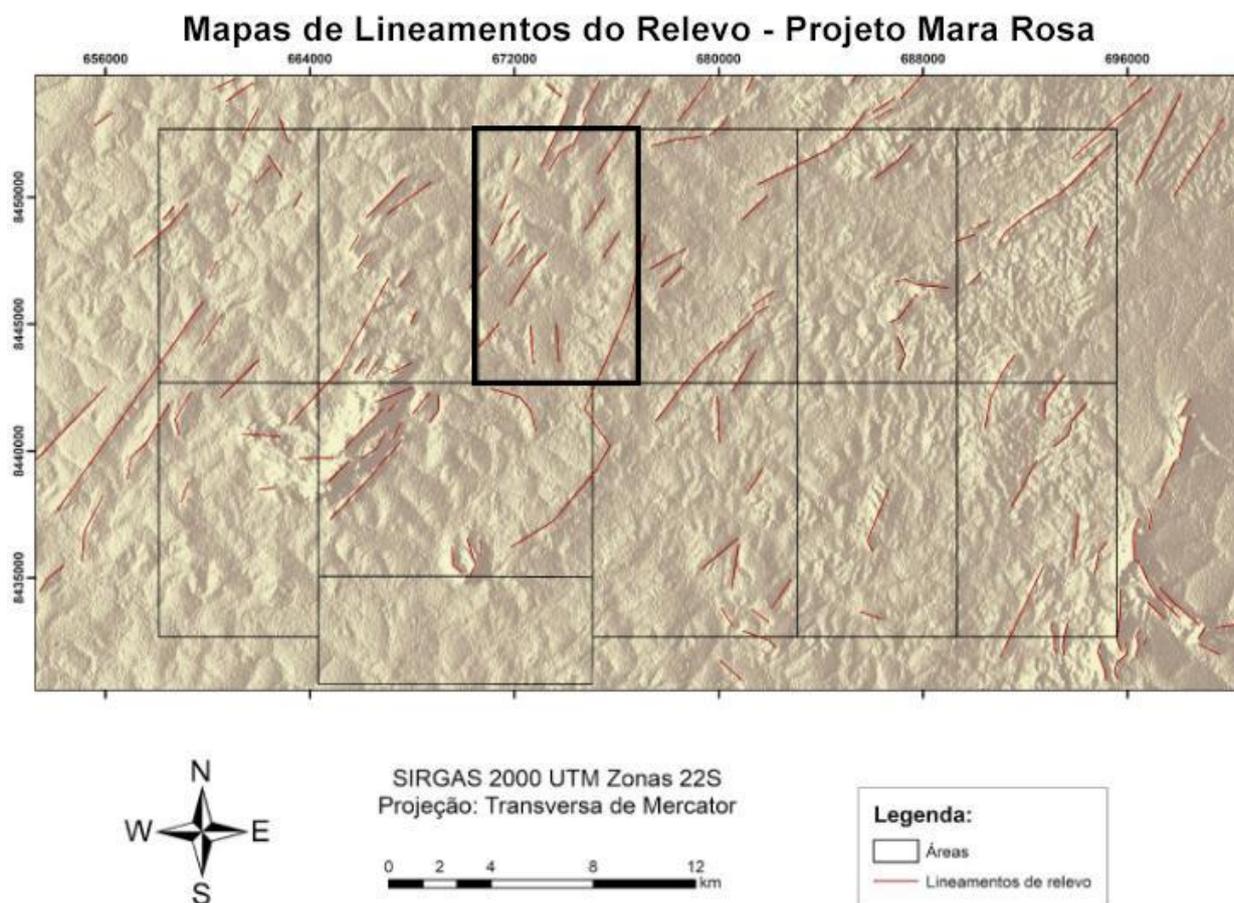


Figura 3.6: Mapa de lineamentos de relevo do Projeto Mara Rosa, com marcações em vermelho. A Área III é ressaltada pelo retângulo preto.

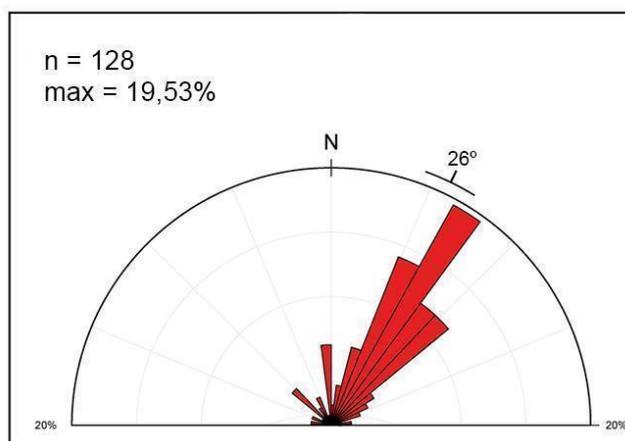


Figura 3.7: Roseta de lineamentos de relevo do Projeto Mara Rosa, com $n = 128$ e orientação preferencial 26° .

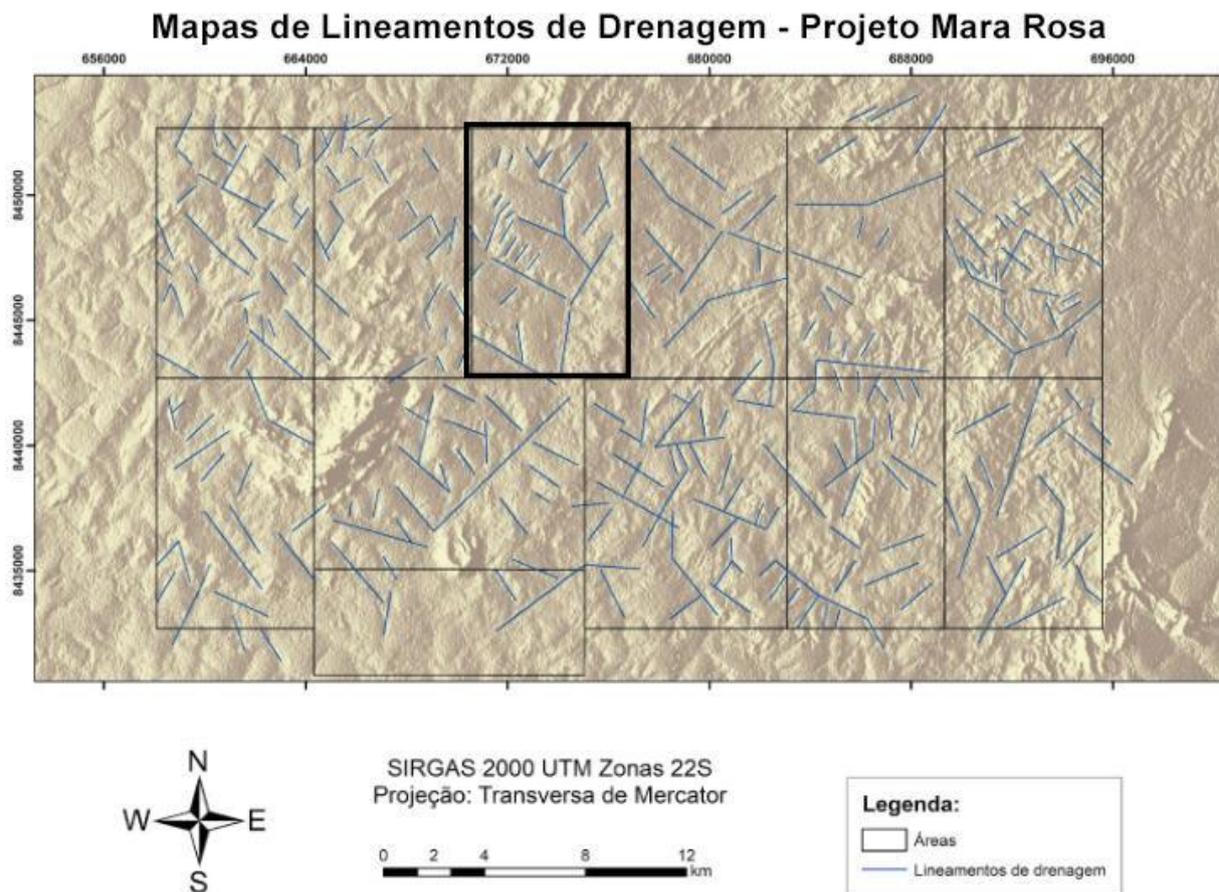


Figura 3.8: Mapa de lineamentos de drenagem do Projeto Mara Rosa, com marcações em azul. A Área III é ressaltada pelo retângulo preto.

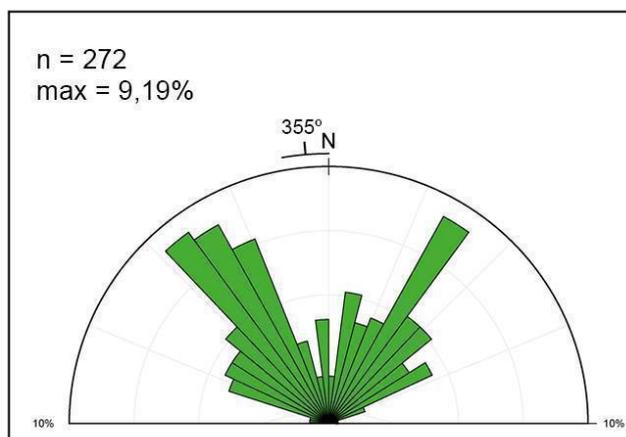


Figura 3.9: Roseta de lineamentos de drenagem do Projeto Mara Rosa, com n = 272 e orientação preferencial 355°.

3.4.2 Contexto Área III

Para a confecção do mapa base da Área III (Figura 3.10), foram utilizadas as imagens CBERS 4A, com a composição RGB 321 (Figura 3.11A), com as cores reais para traçar drenagens e estradas secundárias existentes.

As drenagens foram classificadas como de densidade média a alta, sinuosidade mista, angularidade média a baixa, dendrítica, subretangular e levemente assimétricas. Neste trabalho foi optado por não dividir as drenagens de acordo com suas diferentes classificações, mas apenas de forma geral.

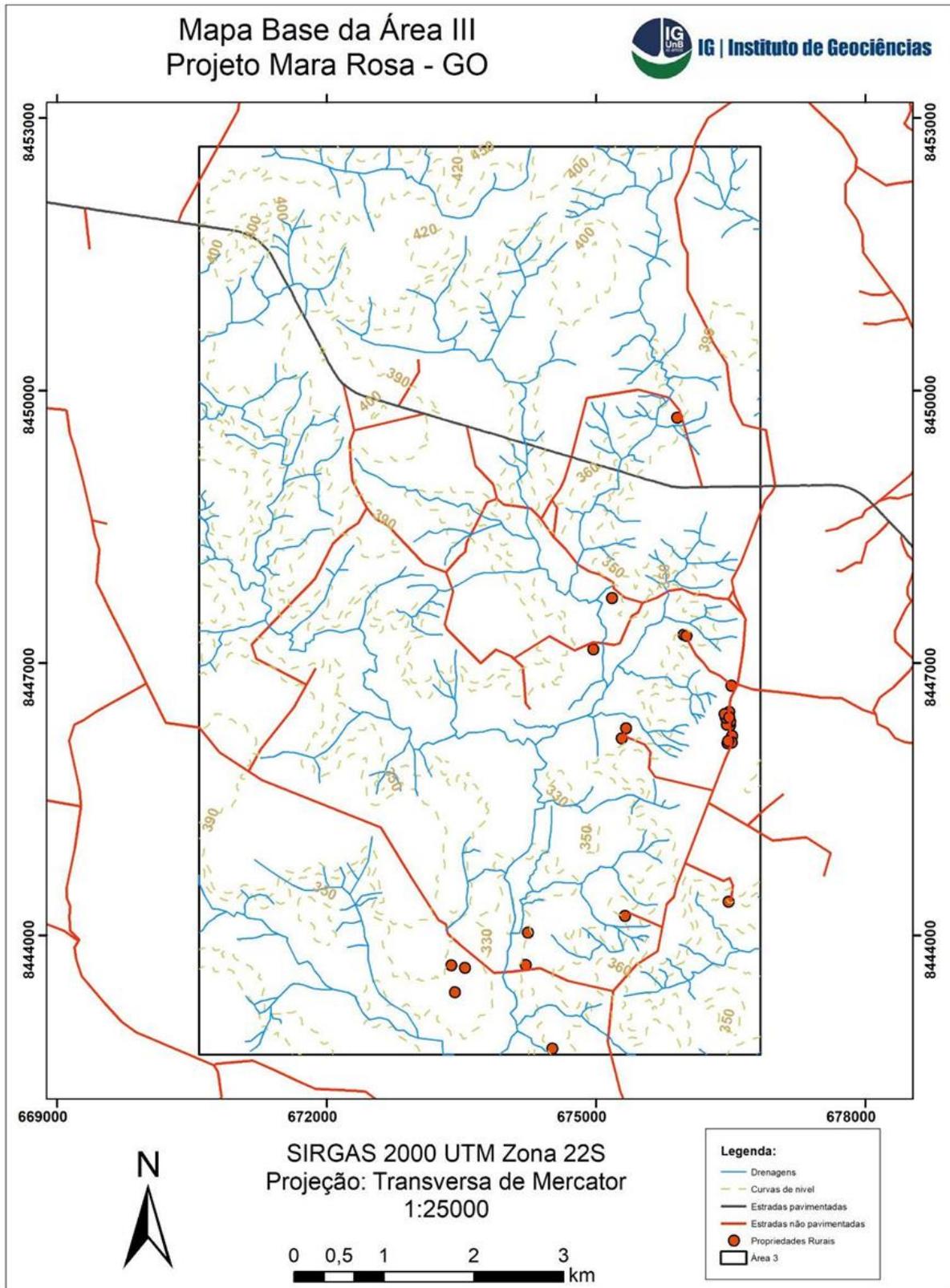


Figura 3.10: Mapa base cartográfico referente a Área III, com destaque para as drenagens, rodovias e curvas de nível.

Com as composições ternárias RGB em mãos, a partir de uma grande combinação de bandas possíveis, três delas foram selecionadas a partir de suas características. As imagens RGB 321 (Figura 3.11A), RGB 432 (Figura 3.11B) e RGB 423 (Figura 3.11C) seguiram o mesmo processo de escolha e motivo realizado na etapa regional.

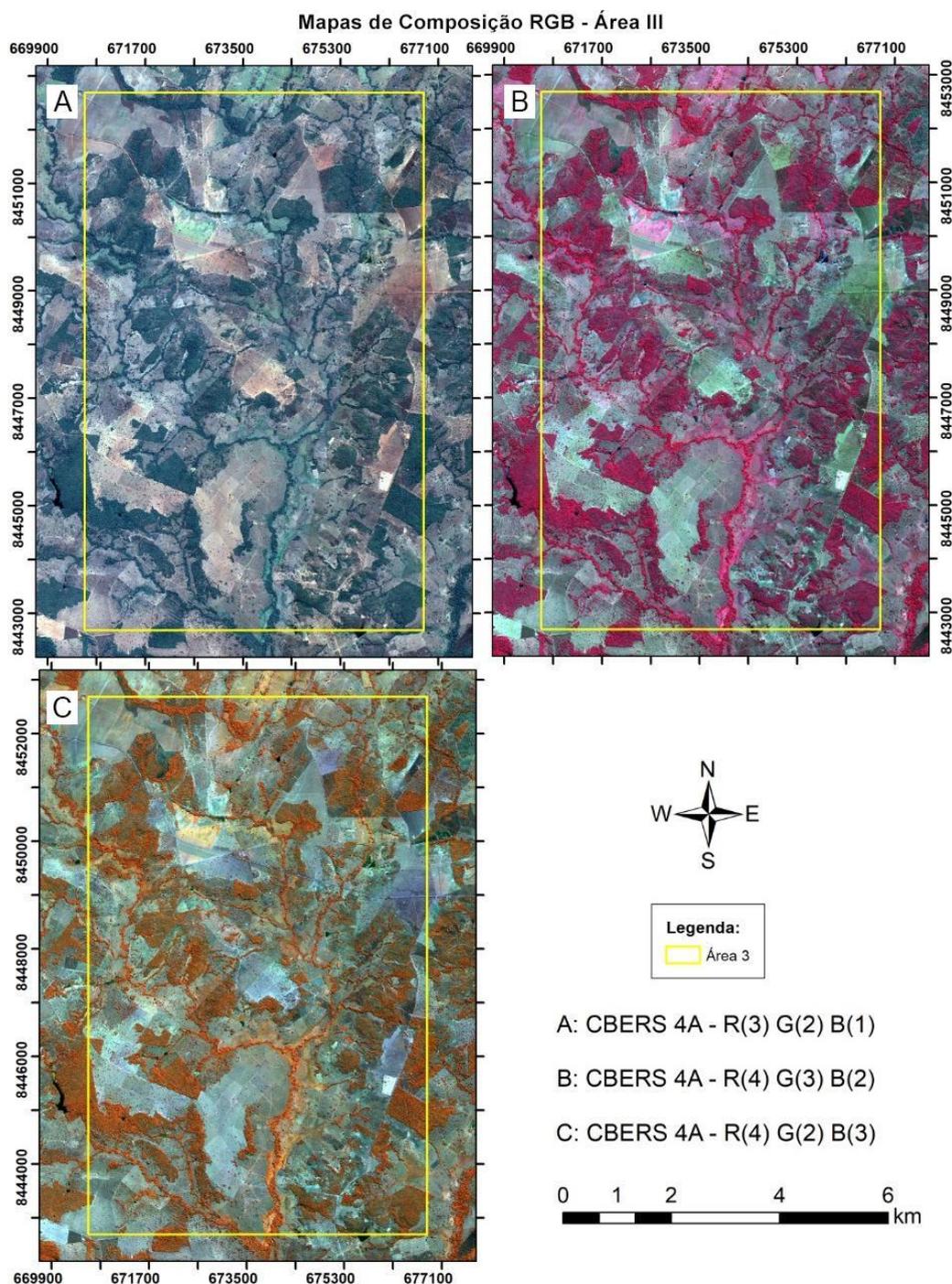


Figura 3.11: A/B/C: Composições coloridas da imagem CBERS 04A, utilizada no Projeto Mara Rosa, para a análise e interpretação da Área III.

A partir da análise e interpretação das imagens de satélite e do Modelo Digital de Elevação (MDE) (Figura 3.12), foi possível a elaboração de um mapa de lineamento de relevo e drenagem da Área III (Figura 3.13), assim como suas respectivas rosetas (Figuras 3.14 e 3.15).

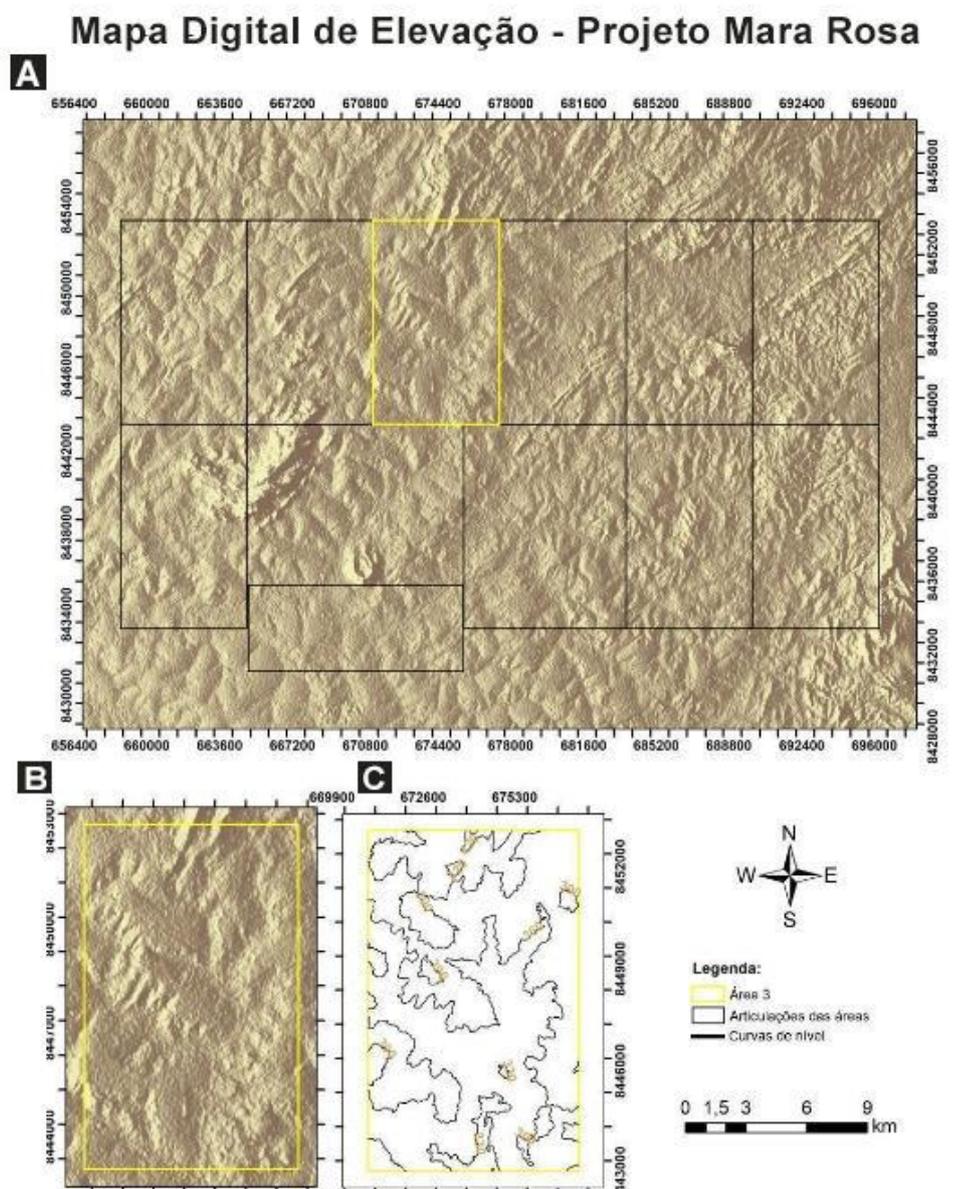


Figura 3.12: Relevo sombreado e curvas de nível geradas a partir do MDE ALOS PALSAR. A: Relevo sombreado das áreas do Projeto Mara Rosa. B: Relevo sombreado da Área III. C: Curvas de nível da Área III com espaçamento de 30 metros.

O padrão dos lineamentos de relevo mostra um comportamento predominantemente a NE/SW na porção centro-norte (Figura 3.14). Essa diferença de comportamento indica que as feições estão orientadas para o mesmo lado. O

padrão dos lineamentos de drenagem também apresenta um comportamento predominantemente a NE/SW (Figura 3.15), com alguns lineamentos oblíquos ao padrão, que estão na direção NW/SE.

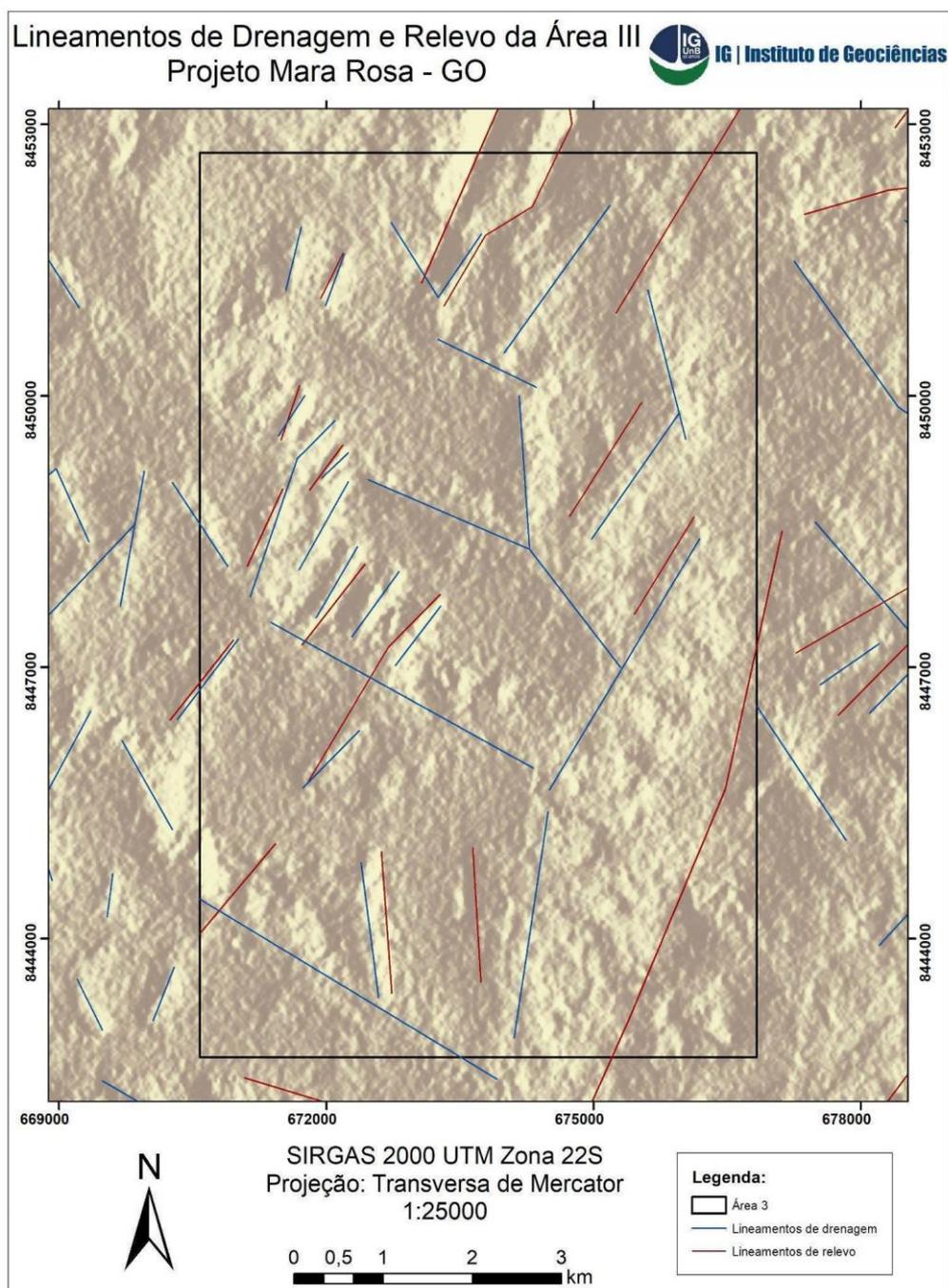


Figura 3.13: Mapa com lineamentos de relevo (em vermelho) e de drenagem (em azul) referentes a Área III.

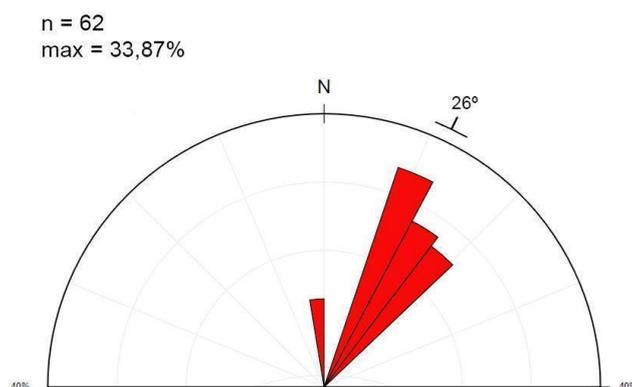


Figura 3.14: Roseta de lineamentos de relevo da Área III, com n = 62 e orientação preferencial 26°.

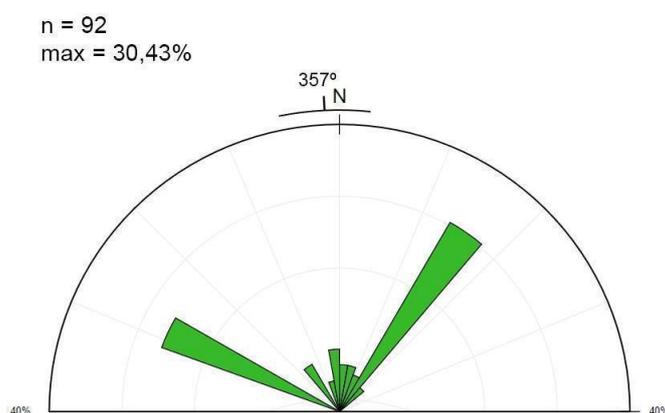


Figura 3.15: Roseta de lineamentos de drenagem da Área III, com n = 92 e orientação preferencial 357°.

3.5 Aerogeofísica

O processamento de dados aerogeofísicos envolve um processo sequencial de edição, correção de efeitos diurnos, nivelamento dos dados e, por último, a aplicação de uma rotina para o grid dos dados (Luyendyk, 1997).

Para este trabalho, os dados magnéticos foram usados para localizar as principais acumulações de minerais magnéticos e a detecção de assinaturas magnéticas provindas do arranjo estrutural regional. Além disso, o campo magnético anômalo, ou seja, o campo magnético total sem o IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*) também foi utilizado.

Os dados de espectrometria de raios gama foram utilizados com a abordagem descrita pela IAEA (2003). Ao final foi produzida uma imagem de composição ternária RGB com as concentrações de K, eTh e eU, bem como uma imagem de fator F para o fim de mapeamento litoestrutural e análise de possíveis fontes de alteração hidrotermal.

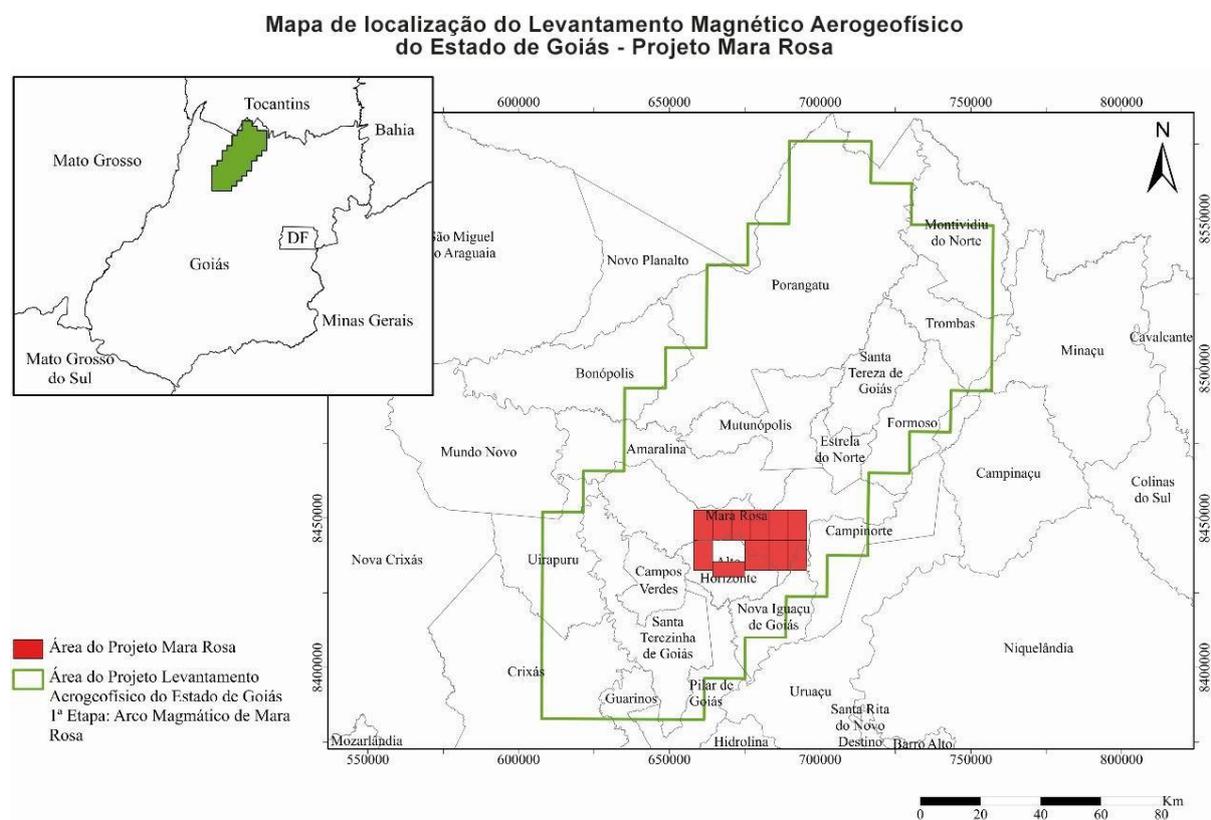


Figura 3.16: Localização do Projeto Levantamento Magnético Aerogeofísico do Estado de Goiás 1ª Etapa: Arco Magmático de Mara Rosa e do Projeto Mara Rosa (em vermelho).

3.5.1 Dados Utilizados

Os dados radiométricos e magnéticos utilizados nesta pesquisa são do levantamento aerogeofísico realizado pela LASA, efetuado em 2006, foi adquirido em conjunto da Secretaria de Geologia Mineração e Transformação Mineral (SGMTM), o Ministério de Minas e Energia (MME), o Serviço Geológico do Brasil (CPRM), a Secretaria de Indústria e Comércio da Superintendência de Geologia e Mineração do Estado de Goiás (SIC/SGM) e o Fundo de Fomento à Mineração (FUNMINERAL) e disponibilizado pelo estado do Governo de Goiás.

Os parâmetros utilizados durante o levantamento foram: direção de voo N/S; espaçamento entre linhas de voo de 0,5 km; direção de linhas de controle E/W;

espaçamento de linhas de controle de 10 km; intervalo entre medições geofísicas consecutivas de 0,1 a 0,05 segundos para o magnetômetro e de 1 segundo para o espectrômetro (LASA, 2004); altura média de voo de 100 metros; velocidade média de voo de 270 km/h. Foram utilizadas duas aeronaves na aquisição dos dados: um Cessna C208B Caravan – PT-FAS que voou com velocidades de aproximadamente 260 km/h e um Cessna Titan 404 – PT-WQT com velocidade de voo de aproximadamente 302 km/h (LASA, 2004). Os dados foram gridados com uma célula de grid que corresponde a um quarto do espaçamento das linhas de voo, 125 metros, respeitando o teorema da amostragem.

3.5.2 Processamento dos Dados

Todos os procedimentos realizados durante o processamento dos dados aerogeofísicos foram efetuados no software *Geosoft Oasis Montaj* versão 2021.2.1, disponível nos laboratórios de informática do Instituto de Geociências, sob orientação da professora Dra. Roberta Mary Vidotti. A confecção dos mapas de interpolação, para os dois métodos, foi feita com células unitárias de tamanho correspondente a $\frac{1}{4}$ do espaçamento das linhas de voo, ou seja, 125 metros. Dessa maneira, mapas interpolados em malha quadrada de 125 x 125 m foram gerados.

3.5.2.1 Magnetometria

A interpolação em malhas regular dos dados de magnetometria foi realizada pelo método de interpolação bidirecional (*Bigrid*). A partir dos dados de anomalias magnéticas (AM), foram gerados os seguintes produtos: derivadas de primeira ordem vertical (1Dz) e horizontais (1Dx e 1Dy), Gradiente Horizontal Total (GHT) e Sinal Analítico nas três dimensões (SA3D), apresentados na sequência do capítulo. A Figura 3.17 apresenta o fluxograma de processamento dos dados.

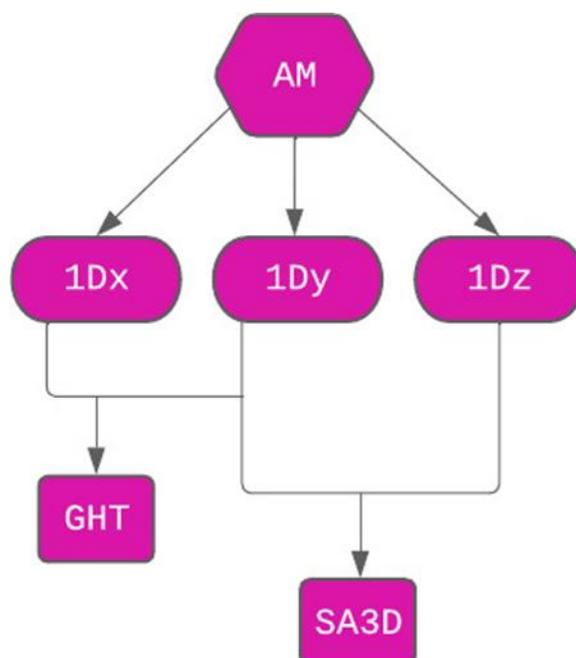


Figura 3.17: Fluxograma referente às etapas e produtos gerados pelo processamento dos dados aerogeofísicos magnetométricos. AM-Anomalias Magnéticas; 1Dx-Primeira Derivada horizontal do AM no eixo X; 1Dy- Primeira Derivada horizontal do AM no eixo Y; 1Dz-Primeira derivada vertical do AM; SA3D-Sinal analítico em três dimensões x,y e z; GHT-Gradiente Horizontal Total.

3.5.2.2 Gamaespectrometria

O método de interpolação usado para o processamento dos dados gamaespectrométricos foi o da mínima curvatura (*Rangrid*). Os principais produtos utilizados neste trabalho foram gerados a partir dos canais radiométricos individuais e da contagem total dos elementos radioativos, que forneceram as imagens de Percentual de Potássio (K), Equivalente de Tório (eTh), Equivalente de Urânio (eU) e Contagem Total (CT). Com base nos dados dos canais individuais, foram obtidas composições ternárias RGB (K, eTh, eU) e CMY (K, eTh, eU). A Figura 3.18 apresenta uma síntese do processamento dos dados gamaespectrométricos.

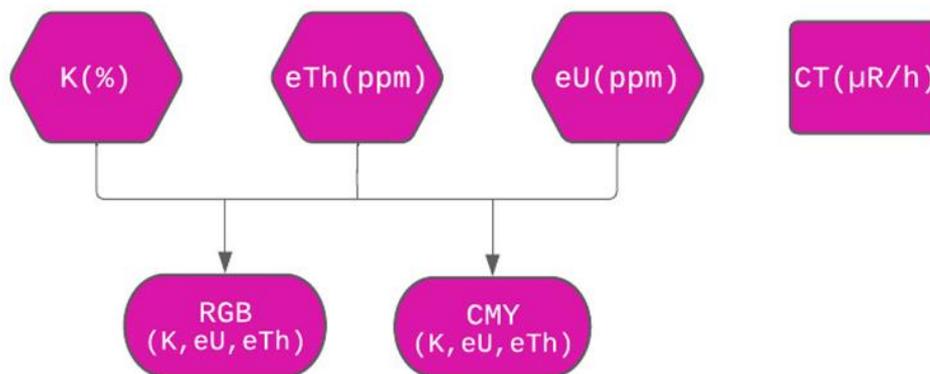


Figura 3.18: Fluxograma referente às etapas e produtos gerados pelo processamento dos dados aerogeofísicos gamaespectrométricos sendo K(%): porcentagem de Potássio; eTh e eU: Equivalente em Tório (ppm) e Urânio (ppm), respectivamente; RGB (K eTh eU): composição ternária RGB (K, eTh, eU) e CMY (K, eTh, eU): composição ternária CMY (K, eTh, eU); e CT(μR/h) : contagem total em microRontgen por hora.

3.5.3 Métodos

3.5.3.1 Método Magnetométrico

3.5.3.1.1 Interpolação de Dados

O método de interpolação dos dados magnetométricos utilizados neste trabalho foi o grid bidirecional (Reeves, 2005), sendo um método de interpolação utilizado para levantamentos realizados em linhas de voo aproximadamente paralelas e regulares, sem as linhas de controle transversais. As feições que estão perpendiculares às linhas podem ser determinadas, principalmente se as linhas estiverem próximas e com densidades de amostragem suficientemente grandes.

A dimensão da célula de grid deve estar compreendida entre um quarto e um oitavo do espaçamento entre as linhas de voo, segundo o teorema da amostragem de Nyquist. Neste estudo foi utilizado o valor de um quarto (125 metros).

3.5.3.1.2 Derivada de Primeira Ordem

As derivadas de primeira e segunda ordem nas direções X, Y e Z realçam anomalias de alta frequência e podem ser calculadas tanto no domínio espacial quanto no domínio da frequência, sendo as derivadas horizontais computadas mais facilmente no domínio espacial (Nabighian *et al.*, 2005).

A derivada vertical enfatiza características próximas à superfície e estreita a largura da anomalia, localizando assim fontes de forma mais precisa (Cooper & Cowan, 2004). A primeira derivada vertical é um filtro amplamente utilizado, pois é robusto em computação, possui resultados confiáveis e facilmente interpretáveis (Isles & Rankin, 2013). Também é utilizada como base na obtenção de produtos tais como o sinal analítico.

As derivadas horizontais realçam feições nas direções X e Y, acentuando o gradiente lateral da propriedade física investigada na direção escolhida, ou seja, na localização de extremidades de fontes (Simpson *et al.*, 1986). Também são úteis na obtenção de novos produtos que necessitem do gradiente lateral, tais como no Gradiente Horizontal Total e Deconvolução de Euler.

3.5.3.1.3 Gradiente Horizontal Total (GHT)

O gradiente horizontal total (GHT) é utilizado para ajudar com a análise das variações laterais do campo anômalo. O sinal analítico é uma transformação linear que indica a distribuição espacial das fontes magnéticas superficiais mesmo em baixas latitudes.

O método de gradiente horizontal total (GHT) foi aplicado a fim de ajudar com a análise das variações laterais do campo anômalo. As derivadas horizontais são aplicadas para determinação da posição espacial das fontes, e são úteis na caracterização de alvos lineares (Blakely, 1996; Nabighian *et al.*, 2005). As derivadas horizontais permitiram ainda o mapeamento dos limites laterais destas fontes (Blakely e Simpson, 1986).

3.5.3.1.4 Sinal Analítico (SAD3D)

O SA3D pode ser utilizado para a identificação dos limites de corpos magnéticos quando a razão entre tamanho do corpo e sua profundidade corresponder a 0,1 e não houver remanência (Li, 2006; Isles e Rankin, 2013).

3.5.3.2 Gamaespectrometria

Os dados gamaespectrométricos emitem a resposta natural dos elementos radioativos, focando em três principais elementos: potássio, urânio e tório. Esses elementos possuem características diferentes de mobilidade quando sofrem intemperismo e quantos estão concentrados de forma diferentes nas rochas.

O potássio possui maior mobilidade entre os três, sendo mais suscetível ao transporte causado pelos processos do intemperismo, tendendo a se localizar principalmente em drenagens, argilominerais e caulinita. Os corpos graníticos são bem marcados por possuírem K-Feldspato e micas (Ribeiro *et al.*, 2014).

O urânio se comporta de diferentes maneiras quanto a sua mobilidade, dependendo diretamente do estado de oxidação. Possui tendência em migrar para minerais de origem primária, dependendo do ambiente em que se encontra. Em sua forma mais oxidada, tende a permanecer como material residual.

O tório é caracterizado como o mais estável dos três elementos, sendo assim, é o de mais difícil mobilização com o meio, sendo mais efetivo em corpos plutônicos.

3.5.3.2.1 Canais Individuais

Os mapas gamaespectrométricos nos canais individuais do potássio (%), tório equivalente (ppm) e urânio equivalente (ppm), mostram as variações nas concentrações dos radioelementos individualmente (Ferreira *et. al*, 2016). As cores no mapa representam as concentrações, nas quais variam de azul (mais baixas) a vermelho (mais altas).

3.5.3.2.2 Contagem Total

A contagem total dos radioelementos representa a medida da quantidade de radiação recebida por todos os radioelementos em um determinado tempo (Ferreira *et. al.*, 2016). Nesse caso, o dado é expresso em microRoentgen por hora ($\mu\text{R/h}$). As cores no mapa representam as contagens, nas quais variam de azul (mais baixas) a vermelho (mais altas).

3.5.3.2.3 Mapas de Composição Ternária

Os mapas de composição ternária representam a proporção dos valores de concentração dos radioelementos K, eTh e eU. Cada radioelemento representa um vértice de um triângulo equilátero e a eles são atribuídas cores específicas. Utiliza-se

como padrão as cores RGB (*red, green, blue*) e CMY (*cyan, magenta, yellow*), sendo o potássio (%) representado pelas cores vermelho e ciano (R e C), o tório equivalente pelas cores verde e magenta (G e M) e o urânio equivalente pelas cores azul e amarelo (B e Y). Dessa maneira, a cor branca representa altas concentrações dos três radioelementos e a cor preta está associada a baixas concentrações dos mesmos (Ferreira *et al.*, 2016).

3.5.4 Análise das imagens processadas

3.5.4.1 Dados Magnéticos

A interpretação dos dados magnéticos (Figura 3.18) foi feita de forma conjunta, de tal forma que feições que eram vistas em um mapa eram comparadas com outras para uma hipotética escolha dos contatos. Logo após, as imagens radiométricas foram interpretadas, sem levar em conta o que já tinha sido analisado da magnetometria. Por fim, as duas interpretações foram comparadas para ver quais feições eram distintas e quais se assemelhavam.

A profundidade de alcance da gamaespectrometria é de poucos centímetros, enquanto a magnetometria pode chegar a dezenas de quilômetros. Uma feição mapeada por ambos os métodos resulta em uma continuidade em profundidade da estrutura. Em contrapartida, feições distintas podem significar interpretações mais complexas.

O mapa de anomalia magnética (Figura 3.19A) possui caráter é dipolar. As imagens da derivada vertical, gradiente total e sinal analítico 3-D (Figura 3.19B, 3.19C e 3.19D, respectivamente) mostram-se aplicáveis para definir lineamentos. A área de estudo apresenta um *trend* estrutural principal com direção NE-SW, assim como estruturas E/W. Vale ressaltar que em função do paralelismo e a direção da linha de voo, estruturas N/S podem não aparecer nos mapas por estarem mascaradas.

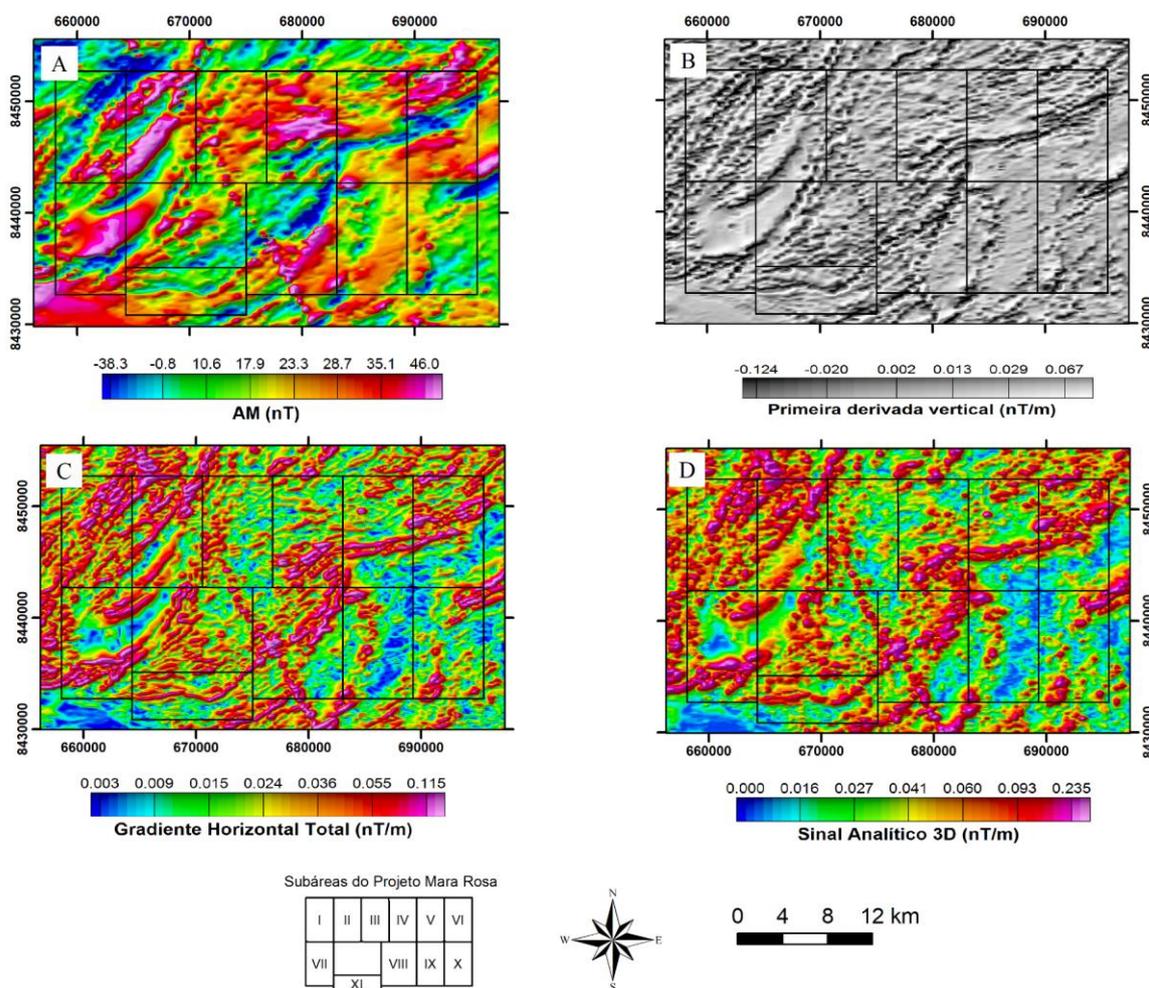


Figura 3.19: A: Mapa de anomalia magnética (AM). B: Mapa da primeira derivada vertical (DZ). C: Mapa do gradiente horizontal total (GHT). D: Mapa do gradiente total ou sinal analítico 3-D (SA3D).

3.2.4.2 Dados Gamaespectrométricos

Com base no produto de composição ternária RGB auxiliado pelos produtos dos canais individuais, contagem total e os afloramentos registrados na Folha Campinorte (Oliveira, 2006), foram desenvolvidos mapas de domínios gamaespectrométricos para o Projeto Mara Rosa assim como para a Área II. Os parâmetros utilizados na delimitação dos domínios foram o teor relativo dos radioelementos K, eTh e eU e a caracterização morfológica.

Para o Projeto Mara Rosa, foram individualizados 23 domínios com assinaturas gamaespectrométricas distintas. A caracterização qualitativa desses domínios encontra-se sintetizada na Tabela 3.5. Os domínios 1 a 9 apresentam altos teores dos radioelementos e foram correlacionados às rochas de arco continental neoproterozoicas da Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha e às

rochas intrusivas da unidade Plúton Faina. Já os domínios de 10 a 12 possuem valores relativamente menores e foram associados às rochas de arco insular neoproterozoicas da Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa. As concentrações de K são relativamente maiores nos domínios 13 a 17 e, portanto, foram associadas a rochas de alteração hidrotermal possivelmente do halo argílico metamorfozado do sistema pórfiro (Oliveira *et. al.*, 2016). Por fim, os domínios 18 e 19 englobam rochas intrusivas neoproterozoicas enquanto os domínios 20, 21 e 23, rochas metavulcanossedimentares neoproterozoicas da Sequência Mara Rosa e paleoproterozoicas da Sequência Campinorte.

Na imagem RGB e CMY (Figura 3.20) é possível discretizar texturalmente por cores as rochas diferentes. A área de estudo visualmente possui uma compartimentação preferencial na direção NE.

A partir da classificação histogrâmica, individualizamos os intervalos apresentados (Tabela 3.5).

Tabela 3.5: Valores numéricos atribuídos aos intervalos de cada elemento (K, eU e eTh) definidos para determinar os domínios com princípios quantitativos-qualitativos.

	ALTO	MÉDIO	BAIXO
K (%)	> 0.9	0.2 a 0.9	0 à 0.2
eU (ppm)	> 1.5	0.2 a 1.5	0 à 0.2
eTh (ppm)	> 10.2	1.7 a 10.2	0 à 1.7

Tabela 3.6: Domínios gamaespectrométricos do Projeto Mara Rosa individualizados por seus valores qualitativos de abundância dos radioelementos K (%), eTh e eU. Além disso, foi feita uma interpretação possível da origem das rochas contempladas pelo domínio.

Área III - Projeto Mara Rosa

Domínio	K	eTh	eU	Descrição: cor e tonalidade (RGB), geometria, homogeneidade	Interpretação regional
1	Médio	Médio-Alto	Alto	Azul tom ciano, mancha irregular, homogêneo	Rochas de arco continental neoproterozoicas
2	Alto	Alto	Alto	Branco, segmento alongado NE-SW, heterogêneo	
3	Médio-Alto	Alto	Médio-Alto	Verde claro azulado, segmento alongado NE-SW, heterogêneo	
4	Alto	Médio Alto	Médio Alto	Rosa claro amarelado, alongado NE-SW, homogêneo	
5	Médio Alto	Alto	Alto Médio	Difuso, extensa faixa NE-SW, heterogênea	
6	Alto	Médio	Médio	Rosa claro, semi-arredondo com direção NE-SW, heterogêneo	
7	Alto	Médio-Alto	Baixo-Alto	Vermelho amarelado, alongado NE-SW irregular, heterogêneo	
8	Alto	Alto	Baixo-Alto	Rosa claro amarelado, arredondado alongado NE, heterogêneo	
9	Alto	Médio	Baixo-Alto	Rosa alaranjado, pequena porção de corpo NE-SW, homogêneo	
10	Baixo	Baixo	Baixo	Azul escuro, extensa faixa anastomosada NE-SW, homogêneo	Rochas de arco insular neoproterozoicas
11	Baixo-Médio	Médio-Alto	Médio-Alto	Ciano, alongada NE-SW, homogêneo	
12	Baixo-Alto	Médio-Alto	Baixo-Alto	Difuso, faixa irregular, heterogêneo	
13	Alto	Médio-Alto	Alto	Rosa claro, faixas lineares NE-SW, homogêneo	Rochas de alteração hidrotermal
14	Médio	Baixo	Baixo	Magenta escuro, mancha irregular, homogêneo	
15	Alto	Médio	Médio-Alto	Vermelho rosado, faixa alongada E-W, heterogêneo	
16	Médio	Baixo	Baixo	Vermelho escuro, faixa NE-SW inflectida E-W, homogêneo	
17	Médio-Alto	Médio	Médio	Rosa amarelado, faixa irregular NE-SW, heterogêneo	
18	Médio	Médio-Alto	Alto	Ciano claro, corpos alongados NE-SW, homogêneo	Rochas intrusivas
19	Alto	Médio	Alto	Rosa claro, mancha irregular, homogêneo	
20	Baixo	Baixo-Médio	Médio Alto	Azul escuro, segmento de faixa irregular NE-SW, heterogêneo	Metavulcanossedimentares Neoproterozoicas e Paleoproterozoicas
21	Baixo-Médio	Médio-Alto	Médio	Ciano claro esverdeado; segmento de faixa NE-SW truncada; heterogênea	
22	Alto	Alto	Alto Médio	Branco amarelada, segmento de faixa irregular NE-SW, heterogêneo	

Área III - Projeto Mara Rosa

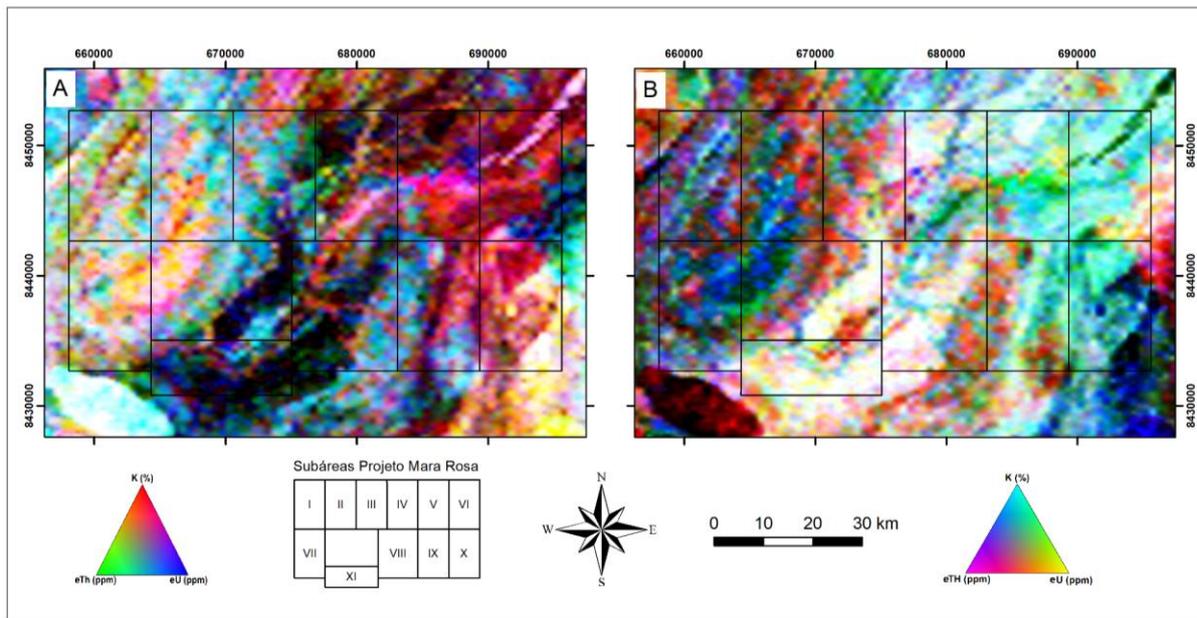


Figura 3.20: A: Imagem RGB. B: Imagem CMY.

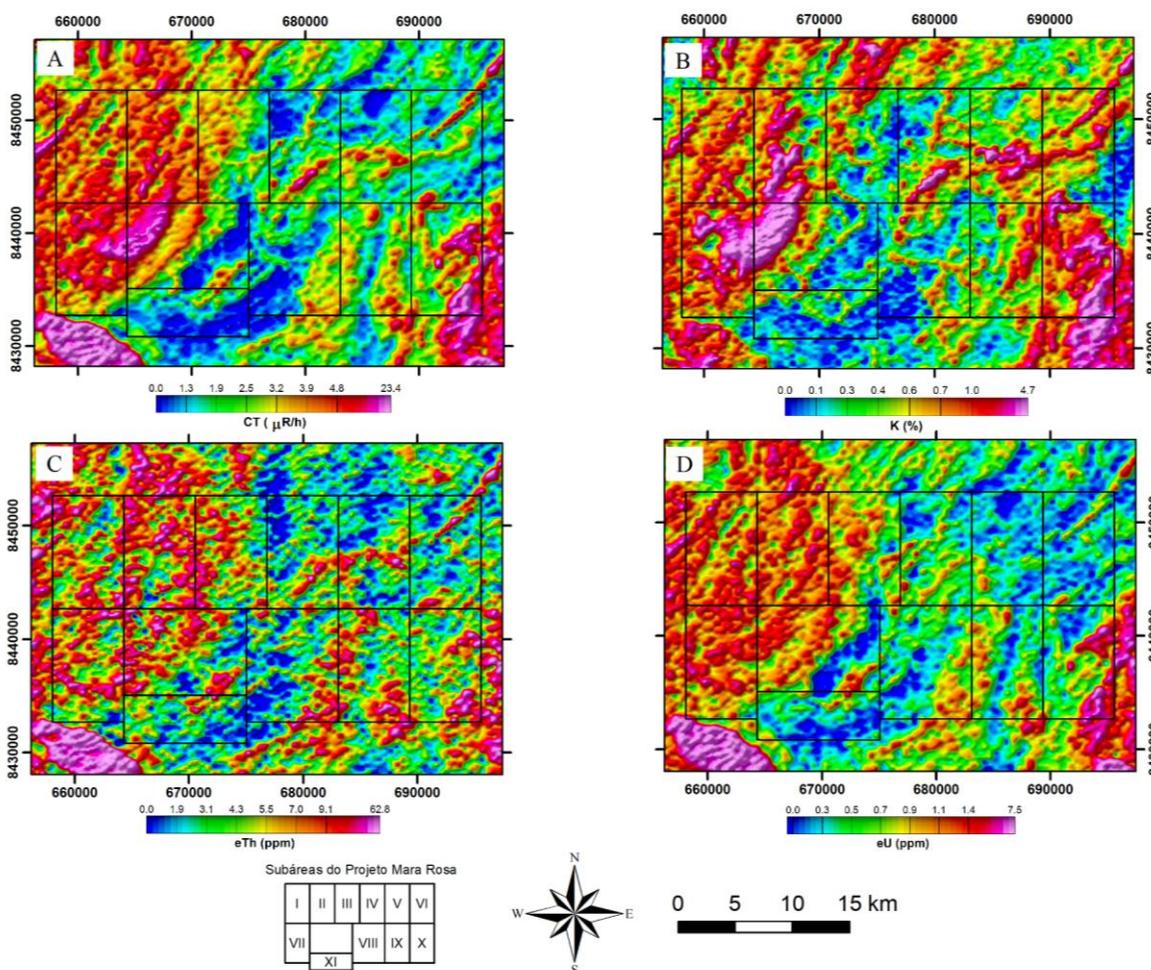


Figura 3.21: A: Mapa de contagem total (CT). B: Mapa da concentração de potássio. C: Mapa da concentração de tório equivalente. D: Mapa da concentração de urânio equivalente.

3.5.5 Interpretação Regional e Interpretação da Área III

Os grupos de cada área se reuniram e fizeram uma interpretação regional dos dados geofísicos, separando em lineamentos e domínios geofísicos. Foram classificados um total de 23 domínios (Figura 3.22). Para classificar esses domínios, utilizou-se o método de equalização histogrâmica. Os histogramas e valores para cada classe estão no anexo V.

Embora tenham sido usados outros produtos para interpretar os domínios, como os mapas magnéticos e o mapa eTh, sua classificação teve como base a imagem RGB (Figura 3.22). Por isso, neste capítulo, ao se falar em cor, será levado em conta a cor apresentada pelo domínio na imagem RGB.

Mapa de domínios geofísicos - Projeto Mara Rosa

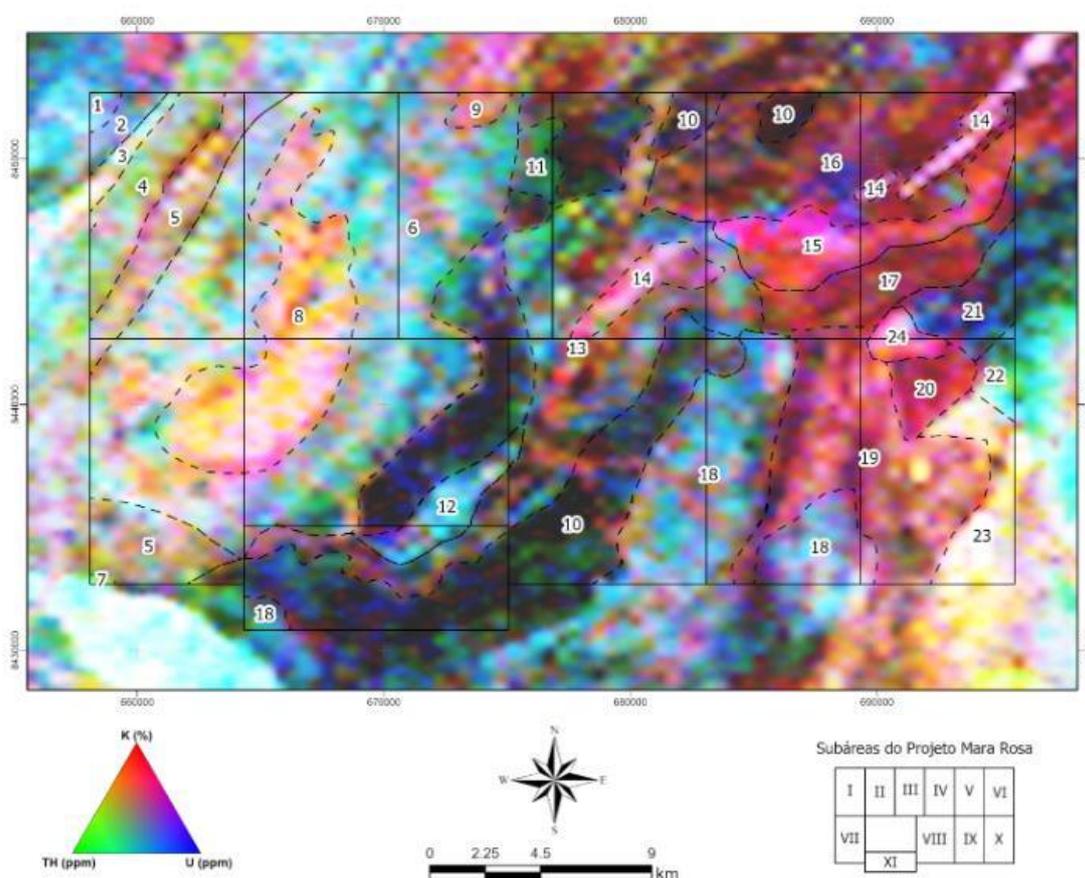


Figura 3.22: Interpretação dos domínios geofísicos identificados no Projeto Mara Rosa, sobreposta na imagem RGB.

Na Área III foi possível discretizar 5 domínios (Figura 3.23), interpretados a seguir:

Domínio 6: Domínio predominantemente formado por cobertura intempérica, em que marginalmente pode haver afloramentos de rochas com alta concentração dos 3 radioelementos. Apresenta baixo K, alto Th e alto a médio U. Possui cor ciano claro heterogênea com manchas claras (alto K, Th e U) esparsas e descontínuas, com *trend* NE/SW.

Domínio 9: Rocha extremamente potássica. O contato com o domínio 6 é bem definido pela imagem de Tório e por lineamentos magnéticos. Apresenta alto K, médio Th e baixo U, com cor rosa alaranjado homogênea e pequena porção de corpo NE/SW.

Domínio 10: Sequência de rochas máficas-ultramáficas. Apresenta baixo K, baixo Th e baixo U, de cor escura anastomosada homogênea e direção NE/SW.

Domínio 11: Diferencia-se do domínio 6 pela ausência de zonas pontuais com alto K, Th e U. Além disso, apresenta forte correlação com a magnetometria, apresentando lineamentos magnéticos e lineamentos de Th, ambos com direção E/W. Possui baixo K, médio Th, baixo a médio U, cor verde-escura azulada homogênea e tem formato de mancha irregular.

Domínio 13: Domínio predominantemente formado por cobertura intempérica, em que marginalmente pode haver afloramentos de rochas potássicas e de rochas com alta concentração dos 3 radioelementos. Apresenta baixo K, médio a alto Th e médio a alto U, com cor ciano esverdeado heterogênea, sendo extremamente irregular.

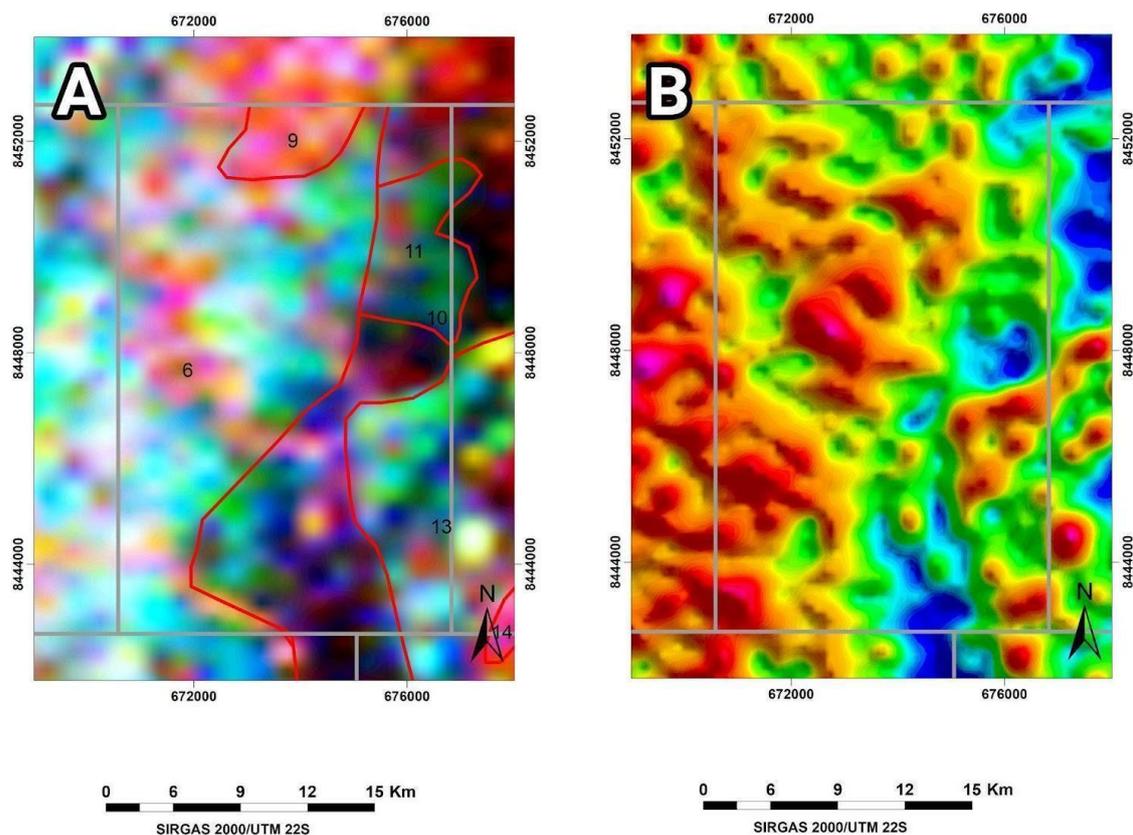


Figura 3.23: A: Imagem RGB com os domínios geofísicos da Área III. B: Imagem eTh (ppm).

Com relação aos lineamentos magnéticos (Figura 3.24), a Área de estudo sofre uma forte influência regional de direção NE-SW, que está associada ao Lineamento Transbrasiliano. Localmente há em algumas porções lineamentos de E-W e NW-SE.

Trabalho Final 2022 - Projeto Mara Rosa
Mapa gamaespectométrico ternário (RGB)

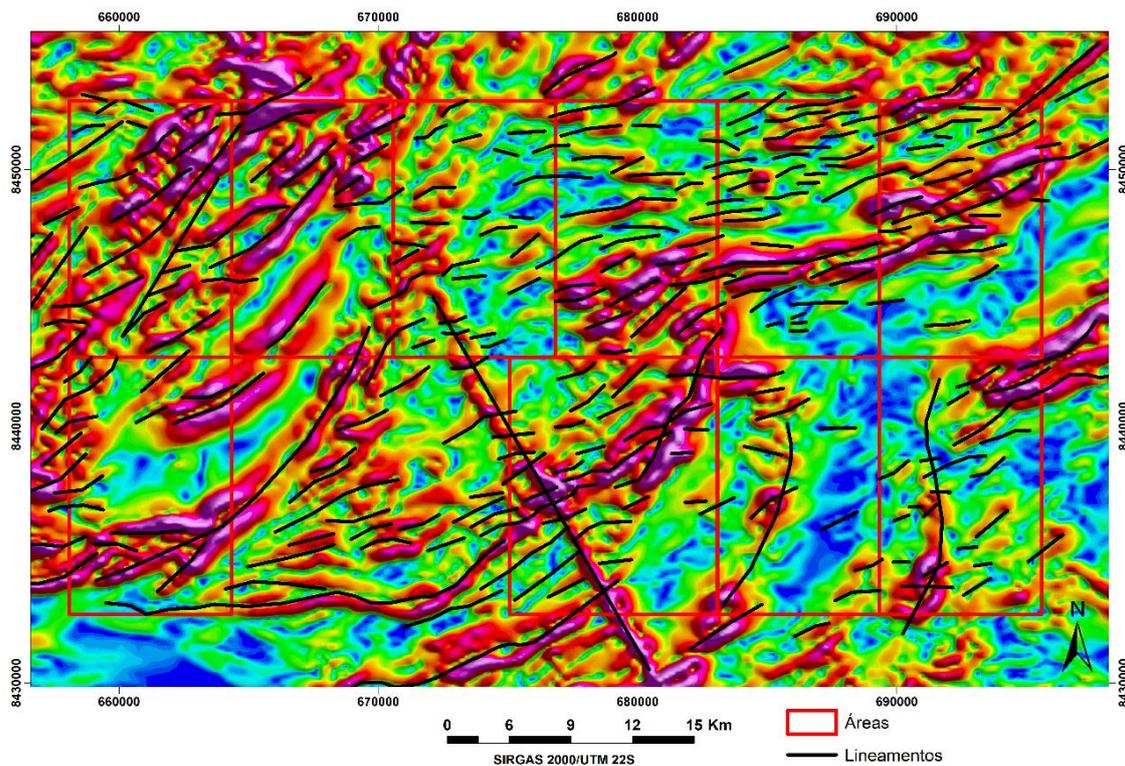


Figura 3.24: Mapa GHT com a interpretação de lineamentos geofísicos sobrepostos.

Na Área III (Figura 3.25), essas três feições ocorrem. À oeste da área há lineamentos NE/SW, à leste lineamentos E/W e à sul há lineamento NW/SE. Os lineamentos E/W apresentam direção dextral e são predominantes, em contrapartida, o lineamento NE/SW apresenta direção sinistral.

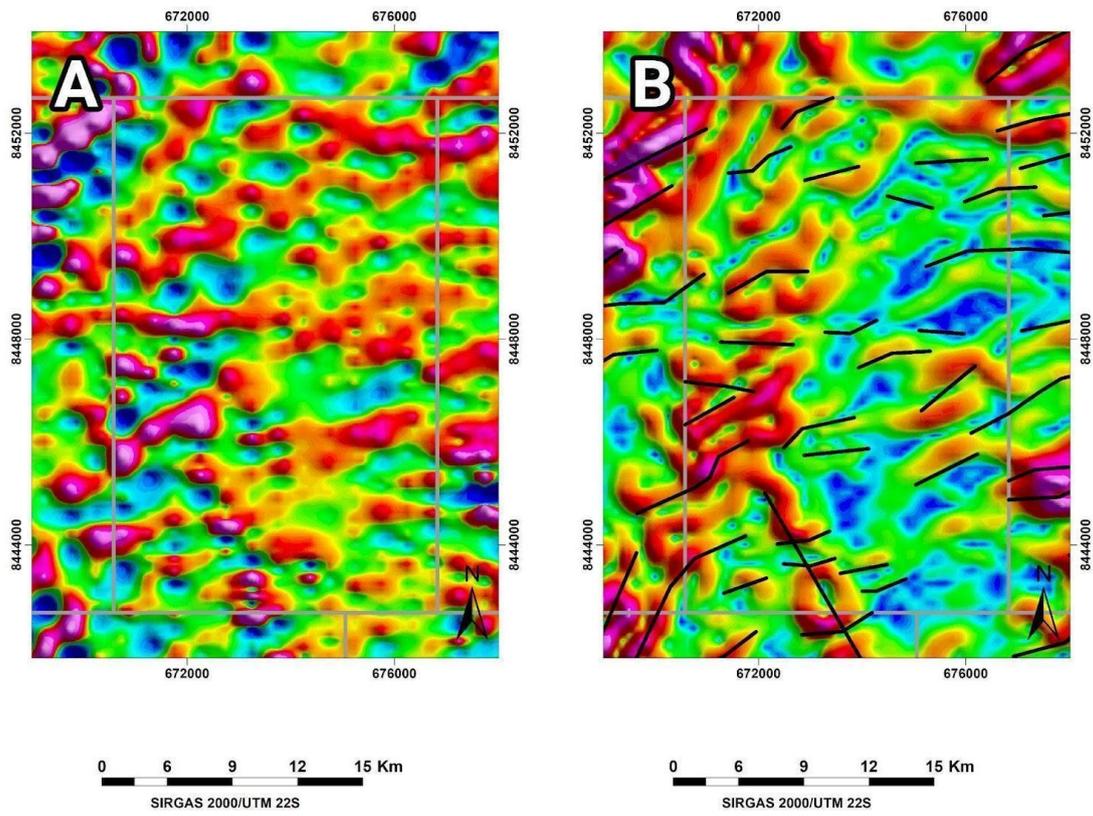


Figura 3.25: A: Mapa DZ. B: Mapa GHT com lineamentos magnéticos da Área III.

Capítulo 4 - Geologia do Projeto Mara Rosa

O mapeamento geológico realizado no âmbito do Projeto Mara Rosa, em escala 1:25.000, permitiu reconhecer diferentes unidades geológicas, definidas com base em critérios petrográficos, deformacionais, metamórficos e geocronológicos (Figura 4.1). A área mapeada, composta por 11 subáreas, afloram unidades litoestratigráficas pertencentes ao Arco Magmático Campinorte, representativo do embasamento paleoproterozoico, (Della Giustina *et al.*, 2009), ao Arco Magmático Goiás, de idade neoproterozoica (Pimentel & Fuck, 1992; Pimentel *et al.* 1997, 2000), e ao Grupo Serra da Mesa, também de idade neoproterozoica (Cordeiro *et al.*, 2014). O contato entre o Arco Magmático Campinorte e o Arco Magmático Goiás é marcado pela zona de falhas de empurrão Rio dos Bois, enquanto o Grupo Serra da Mesa ocorre sobreposto ao Arco Magmático Campinorte.

4.1 Arco Magmático Campinorte

O Arco Magmático Campinorte aflora, de forma restrita, dentro dos limites da Área X. É representado por uma faixa alongada e encurvada, limitada pela falha de empurrão Rio dos Bois, com direção variando de N-S a NE-SW e corresponde a 4% do total mapeado pelo projeto. Apresenta relevo associado à superfície regional de aplainamento, com ocorrência de um platô laterítico em seu extremo leste, além de relevo de morros e colinas, caracterizando uma porção mais acidentada nas proximidades da porção recoberta pelo Grupo Serra da Mesa. Já sua assinatura gamaespectrométrica é bastante variada, sendo predominantemente rosa esverdeada na composição RGB ternária (K, eTh e eU), com domínios branco-amarelados subordinados, associados às rochas intrusivas pré-tectônicas, e um domínio verde azulado a leste, associado à cobertura laterítica.

Esta unidade é composta por rochas metavulcânicas félsicas e metassedimentares psamo-pelíticas da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte (PP2c1 e PP2c2), de idade riaciana (Della Giustina *et al.*, 2009), com metamorfismo geral em fácies xisto verde. Em meio à Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte, encontram-se granito e tonalitos miloníticos a ultramiloníticos da Suíte Pau de Mel (PP2y1pm), também de idade riaciana (Della Giustina *et al.*, 2009), e ocorrência de granulitos do Complexo Uruaçu (PP2gu) (Cordeiro, 2014), exumados na forma de um complexo de núcleo metamórfico.

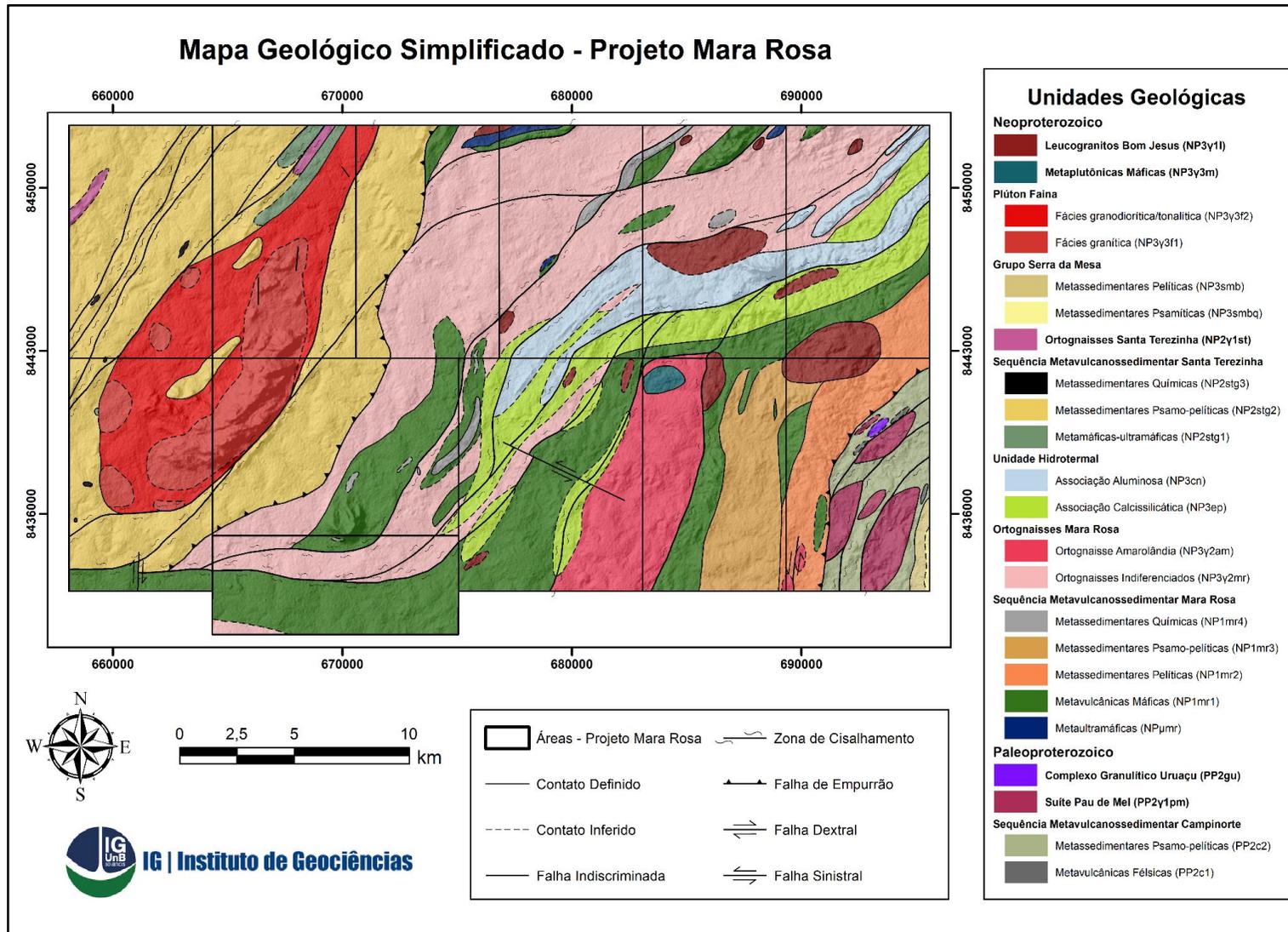


Figura 4.1: Mapa Geológico Integrado do Projeto Mara Rosa (versão simplificada).

4.2 Arco Magmático Mara Rosa

O Arco Magmático Goiás (Segmento Mara Rosa) é a principal unidade aflorante no âmbito do Projeto Mara Rosa, representado pela Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa (NP1mr), de idade toniana (Pimentel *et al.*, 2000), e a Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha (NP2stg), de idade criogeniana (Fuck *et al.*, 2006).

A Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa ocorre compartimentada nas subunidades metaultramáfica (NP μ mr), metavulcânica máfica (NP1mr1), metassedimentar psamo-pelítica (NP1mr2 e NP1mr3) e metassedimentar química (NP1mr4), sendo englobada por um conjunto volumoso de ortognaisses dioríticos a tonalíticos indiferenciados (NP3 γ 2mr) e o ortognaisse diorítico Amarolândia (NP3 γ 2am) (Melo, 2006). Neste contexto, são descritos também produtos de alteração hidrotermal, agrupados em associações mineralógicas diagnósticas, incluindo rochas calssilicáticas (NP3ep) e rochas aluminosas (NP3cn). Já a Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha é representada pelas unidades metamáfica-ultramáfica (NP2stg1), metassedimentar psamo-pelítica (NP2stg2) e metassedimentar química (NPstg3), com ortognaisses tonalíticos associados (NP2 γ 1st). O contato entre ambas as sequências é marcado pela zona de falha transpressional Amaralina.

4.2.1 Unidade Metavulcanossedimentar

A Unidade Metavulcanossedimentar é representada pela Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa, e corresponde a aproximadamente 24% da área total do projeto. Ocorre principalmente na porção central da área, estando presente nas Áreas III, IV, V, VI, VIII, IX, X e XI, além de parte da região adjacente, mapeada pelo projeto de Mapeamento Geológico 2 - Mara Rosa. Esta unidade é estruturada na forma de corpos alongados, com orientação preferencial NE-SW e inflexões E-W, especialmente nas Áreas IV, V, VI e XI. É englobada pelos Ortognaisses Mara Rosa e está delimitada pelas zonas de falha Rio dos Bois, a leste, onde se encontra com o embasamento paleoproterozoico, e Amaralina, a oeste, onde está em contato com a unidade metassedimentar.

Apresenta morfologia de relevo representada por regiões planas, tipicamente de superfície regional de aplainamento, com ocorrência local de relevo de morros e

colinas. Já a assinatura gamaespectrométrica, na composição ternária RGB (K, eTh, eU), é marcada por tonalidades majoritariamente esverdeadas a azuladas escuras, chegando ao preto. Localmente, apresentam tonalidades rosadas, especialmente ao norte, onde a alteração hidrotermal é mais intensa, indicando a grande variedade litológica desta unidade.

A sequência apresenta rochas metavulcânicas e metassedimentares psamo-pelíticas, representadas por anfibolitos, paragneisses e xistos aluminosos. Subordinadamente, ocorrem rochas metassedimentares químicas, como gonditos, metacherts e formações ferríferas. Estas rochas encontram-se metamorfizados em condições de fácies xisto verde superior a anfibolito, com retrometamorfismo em fácies xisto verde inferior.

4.2.2 Unidade Metassedimentar

A ocorrência da Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha no contexto do Projeto Mara Rosa evidencia uma porção com baixa contribuição vulcânica, sendo classificada como predominantemente metassedimentar, metamorfizada em fácies xisto verde a anfibolito. Estas rochas afloram na porção oeste da área de estudo, englobando as Áreas I, II, III e VI, além de parte da região adjacente, mapeada pelo Projeto de Mapeamento Geológico 2 - Mara Rosa. Esta unidade é limitada, no Projeto Mara Rosa, pela zona de falha transpressional Amaralina à leste, de orientação NNE-SSW, se estendendo para oeste além dos limites do mapa. Sua geometria é regionalmente alongada de acordo com a tectônica brasileira, porém na escala mapeada, apresenta formato relativamente regular, correspondendo a 20% da área mapeada.

Esta unidade apresenta relevo associado a superfície regional de aplainamento, com ocorrência de coberturas lateríticas em suas porções nordeste e sul, além de relevos de morros e colinas, mais acidentados, em meio à região onde ocorre o Plúton Faina. A gamaespectrometria deste domínio apresenta tonalidade predominantemente azulada na composição RGB (K, eTh e eU), onde afloram as rochas metassedimentares, com uma grande área branca em sua porção central, indicativa da presença do Plúton Faina. Podem ser vistas também faixas menores, com orientação NE-SW, em seu extremo nordeste, onde a assinatura passa a ter colorações variadas, em tons de branco e roxo.

Abrange rochas máfico-ultramáficas e rochas metassedimentares, incluindo xisto aluminosos e paragnaisses, com lentes de gonditos e formações ferríferas. Em meio ao domínio principal, encontram-se rochas intrusivas tardi a pós-tectônicas, como o Plúton Faina. Vale notar que parte da unidade metassedimentar é encontrada, com contato irregular, na porção central do Plúton Faina.

4.2.3 Rochas Intrusivas Pré a Sin-tectônicas

No contexto do Projeto Mara Rosa, afloram rochas metaplutônicas de caráter pré a sin-tectônico, intituladas como Ortognaisses Mara Rosa, quando associadas à Unidade Metavulcanossedimentar, e Ortognaisses Santa Terezinha, quando associadas à Unidade Metassedimentar.

Os Ortognaisses Mara Rosa afloram de duas formas na área de estudo, incluindo uma larga faixa NE-SE entre as unidades da Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa e, localmente, na porção sudeste, ocorre em corpos individualizados e envoltos pelas rochas da unidade metavulcanossedimentar, onde é definido como Ortognaisse Amarolândia, de composição predominantemente diorítica. Os Ortognaisses Mara Rosa indiferenciados compreendem cerca de 21% da área total do projeto, com afloramentos nas áreas III, IV, V, VI, VIII, IX e XI, enquanto o Ortognaisse Amarolândia é restrito às áreas VIII, IX e X, representando 5% do total mapeado. As rochas desta unidade ocorrem em áreas planas, tipicamente de superfície regional de aplainamento. Sua assinatura gamaespectrométrica apresenta tonalidades predominantemente rosadas para os Ortognaisses Indiferenciados, enquanto Amarolândia possui resposta em tonalidade azul bem definida. São compostos majoritariamente por corpos dioríticos, quartzo-dioríticos e tonalíticos, com variação composicional discreta e recorrente, de forma que não foi realizada sua diferenciação na escala mapeada pelo projeto. Apenas os corpos relativos ao Ortognaisse Amarolândia, de composição diorítica com fácies tonalítica subordinada, foram delimitados na escala do mapa, tendo em vista sua relação espacial e assinatura geofísica características com relação às rochas da Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa.

Já os Ortognaisses Santa Terezinha afloram localmente na porção noroeste do PMR, nas áreas I e II, formando corpos alongados de direção NE-SW que representam menos de 1% do projeto. Estas rochas afloram entre as unidades

metassedimentar e máfico-ultramáfica da Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha, tendo composição predominantemente tonalítica.

4.2.4 Unidade Hidrotermal

O Arco Magmático Mara Rosa apresenta, ainda, uma associação importante de produtos de alteração hidrotermal. Estas rochas afloram nas Áreas IV, V, VI e VIII, compreendendo 11% do Projeto Mara Rosa, e se associam a zonas de cisalhamento dúctil-rúpteis, dispostas preferencialmente segundo a direção NE-SW, com inflexões E-W. Dentro desses corredores deformacionais, ocorre grande diversidade de rochas intensamente deformadas e alteradas hidrotermalmente, onde se destacam avançadas reações de epidotização, saussuritização, sericitização, cloritização, biotitização, muscovitização e sulfetação, de forma que seus protólitos nem sempre podem ser identificados.

As rochas hidrotermais aluminosas, quando ricas em cianita, se destacam em meio ao relevo aplainado, associadas a altos topográficos, tipicamente em relevo de morros e colinas, com ênfase para Serra de Bom Jesus, localizada entre as Áreas V e VI. Já as demais associações não possuem feições diferenciadas em meio ao relevo geral da região. A assinatura gamaespectrométrica do domínio hidrotermal apresenta resposta distinta em tonalidades esbranquiçadas, com tonalidades levemente rosadas na porção central dos corpos, caracterizando a associação de rochas calcissilicáticas.

Esta unidade é subdividida de acordo com suas associações minerais, sendo: rochas aluminosas (cianita-muscovita-quartzo-pirita) e rochas calcissilicáticas (epidoto-quartzo-clorita e epidoto-quartzo-hornblenda).

4.3 Grupo Serra da Mesa

Na porção extremo sudeste do Projeto Mara Rosa, no contexto da Área X, aflora um pacote de rochas metassedimentares psamo-pelíticas pertencentes ao Grupo Serra da Mesa (NP3smb e NP3smbq), de provável idade criogeniana (Cordeiro *et al.*, 2014). O Grupo Serra da Mesa possui intensa expressão na topografia, estabelecendo relevo de morros e colinas, com destaque para a Serra Amaro Leite. Estes altos topográficos associam-se especialmente aos quartzitos, contrastantes com a superfície de aplainamento adjacente. Já sua assinatura gamaespectrométrica

varia em tons azulados a esbranquiçados, de acordo com a variação litológica observada.

Esta unidade é representada por muscovita xistos e quartzitos, sobrepostos às rochas do embasamento paleoproterozoico (Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte). Seus limites são de natureza deposicional, estabelecidos por discordância, e conferindo-lhe geometria irregular. Representa menos de 1% da área total do projeto.

4.4 Rochas Intrusivas Tardi a Pós-tectônicas

As unidades descritas acima são cortadas por rochas intrusivas, pouco ou não deformadas, representadas pelo Plúton Faina (NP3γ3f), Leucogranitos Bom Jesus (NP3γ3l) e um corpo de rochas Metaplutônicas Máficas (NP3γ3m).

O Plúton Faina ocorre na porção oeste das áreas mapeadas e abrange as Áreas I, II, III e VI, além de parte da região adjacente, mapeada pelo Projeto de Mapeamento Geológico 2 - Mara Rosa, correspondendo a 11% da cobertura total do projeto. Está intrudido na Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha, tendo, em sua porção central, um enclave de mesma natureza de suas rochas encaixantes. Possui geometria sigmoidal, alongada em NE-SW. Seu relevo está associado principalmente a morros e colinas, em meio a superfície regional de aplainamento, enquanto sua assinatura gamaespectrométrica é predominantemente esbranquiçada com tonalidades amareladas disseminadas e tons rosados nas bordas.

Em contraste com o Plúton Faina, os Leucogranitos Bom Jesus são intrusões com poucos quilômetros de extensão, aflorando nas Áreas V, VI, IX e X. Correspondem a 3% da área do Projeto Mara Rosa. Intrudem as rochas da Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa e Ortognaisses Mara Rosa, com geometrias condicionadas pela deformação imposta ao Arco Magmático Mara Rosa, com alongação preferencial NE-SW, eventualmente infletidas em direção E-W. Possuem pouca expressão no relevo, formando pequenos morros em meio à superfície regional de aplainamento, sendo, por vezes, englobados nesta classificação. Por fim, sua assinatura gamaespectrométrica é vista tipicamente na cor branca.

O Plúton Faina foi compartimentado em fácies granítica e fácies granodiorítica/tonalítica, com foliação milonítica desenvolvida ao longo de toda a sua extensão. Já os Leucogranitos Bom Jesus se caracterizam por sua deformação mais

desenvolvida e grau metamórfico chegando à fácies xisto verde, além de possuir assembleia exclusivamente granítica, enquanto as rochas Metaplutônicas Máficas são constituídas por metagabros e metahornblenditos, pouco deformados.

Capítulo 5 - Geologia Local

5.1 Unidades Estratigráficas da Área III

A Área III está inserida na porção centro-oeste superior do Projeto Mara Rosa, inserida na área do contato entre a Sequência Santa Terezinha e a Sequência Mara Rosa, com rochas graníticas, metavulcanossedimentares, metaultrabásicas e metaquímicas.

As unidades mapeadas em campo, em amostras macroscópicas, serão discutidas neste tópico, bem como suas subunidades e fácies, por meio da descrição petrográfica, relacionando-as com a rocha descrita na etapa pré-campo, em que houve o auxílio da geofísica, do solo e da vegetação.

Para a Área III, o plúton Faina corresponde a 3% da área, enquanto a Sequência Mara Rosa constitui 65% e a Sequência Santa Terezinha equivale a 32% (Figura 5.1).

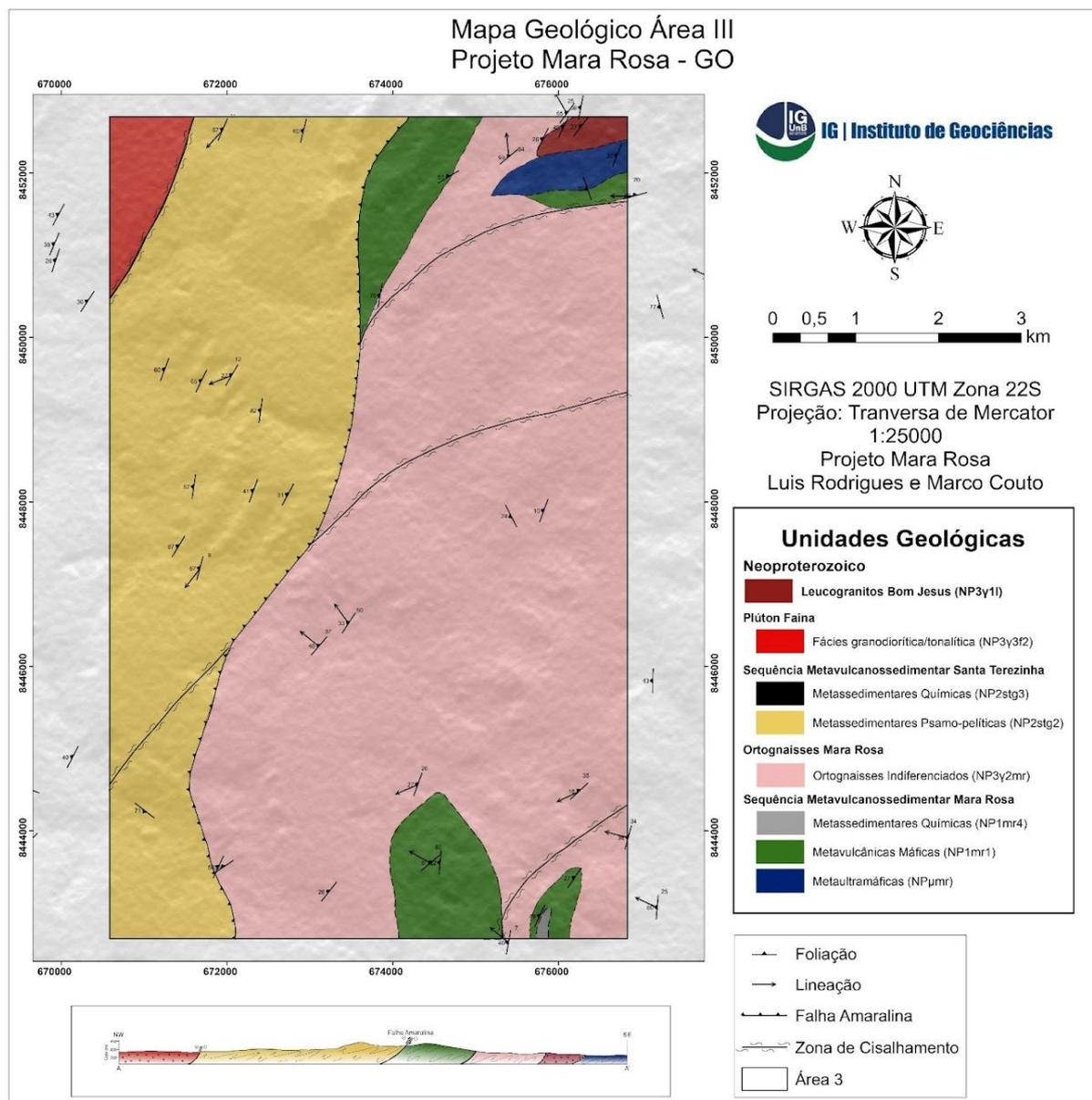


Figura 5.1: Mapa Geológico da Área III do Projeto Mara Rosa (versão simplificada), com todas as unidades vistas e suas disposições ao longo da região.

5.1.1 Plutônicas Tardi a Pós-Tectônicas

5.1.1.1 Leucogranito Bom Jesus

O Leucogranito Bom Jesus é encontrado na região nordeste da Área III, no limite superior com a Área IV, em contato com a unidade metaultramáfica, correspondendo a 3% da área total.

Tal unidade é vista na forma *in-situ*, em afloramentos centimétricos a métricos, como blocos, além de alguns pontos na forma de blocos rolados. A vegetação típica

é composta pelo cerrado sujo, cerrado limpo e cerradão, em que o solo é predominantemente latossolo vermelho-amarelo.

A rocha apresenta cor esbranquiçada e granulação fina a média. A mineralogia primária é composta por quartzo, plagioclásio, feldspato potássico (por vezes alterado para caulinita), muscovita e biotita. A clorita e o epidoto aparecem como minerais secundários, apenas em alguns afloramentos.



Figura 5.2: Amostra de leucotonalito com veio de epidoto. A rocha possui granulação fina e é formada por minerais majoritariamente félsicos (TF22-III-5).

A análise petrográfica da lâmina TF22-III-5 deveria ser sobre leucogranito, porém, foi observado o leucotonalito, de arranjo porfirítico inequigranular na rocha. Para tal rocha, a mineralogia deve ser dividida entre primária e secundária, devido ao metamorfismo. A primária possui quartzo (35%), plagioclásio (25%) e muscovita (5%), biotita (5%), enquanto a secundária, sendo de produto metamórfico, é constituída por epidoto (20%) e clorita (10%). Como acessório, há os minerais opacos, classificados como hematita.

O quartzo apresenta forte extinção ondulante e, por vezes, aparece estirado e recristalizado. O plagioclásio possui maclamento polissintético em que o teor de An varia entre 30 e 40, sendo classificado como Andesina, com inclusões de actinolita e associadas a ripas de muscovita. É notado processo de saussuritização e sericitização.

O epidoto aparece disseminado, em que apresenta textura vermiforme, e concentrado como veio em uma porção, na qual a fração micácea segue sua orientação principal.

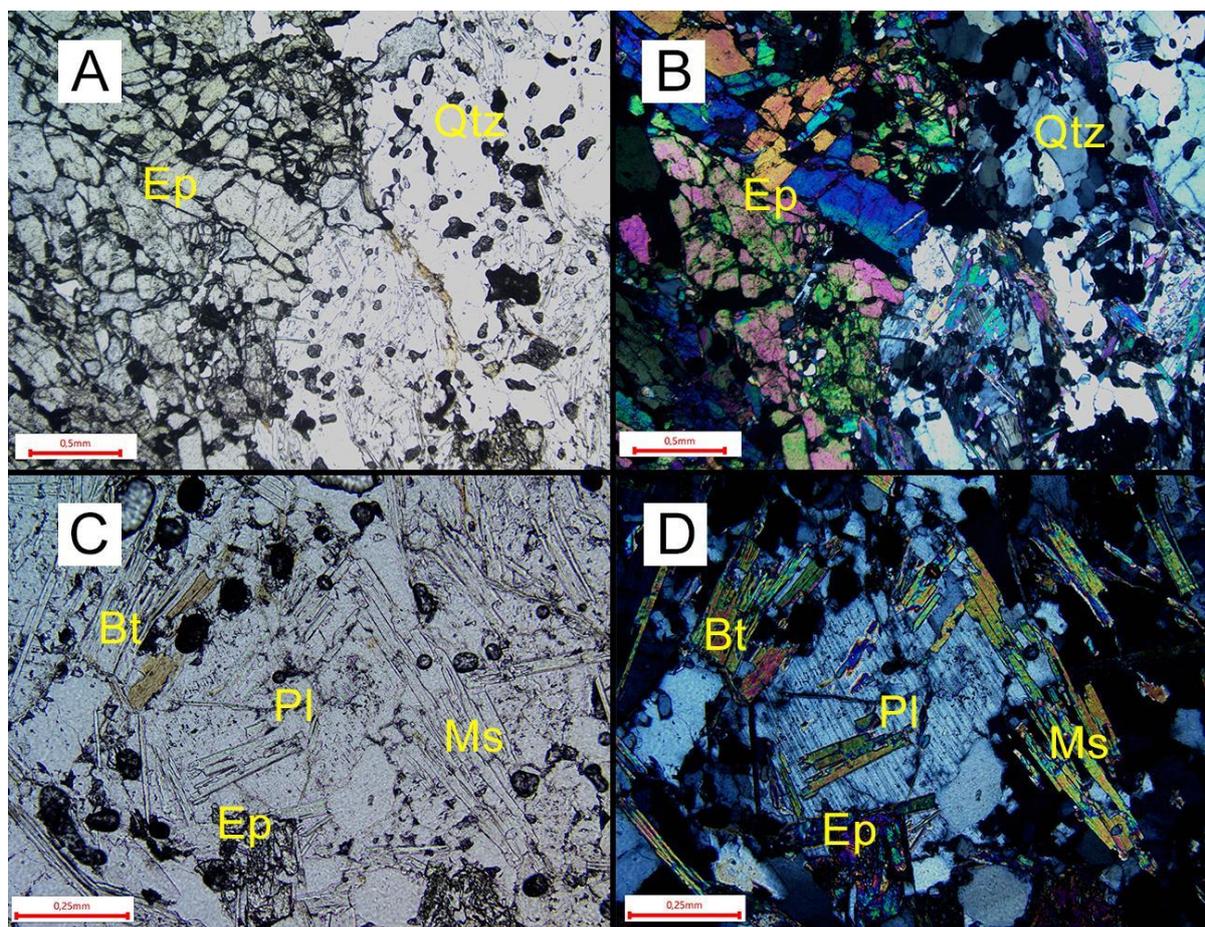


Figura 5.3: Representação petrográfica do leucotonalito (TF22-III-5). A/B: nicois descruzados e cruzados, respectivamente, em que é possível notar domínio de epidoto com quartzo-feldspático. C/D: nicois descruzados e cruzados, nessa ordem, em que é visto cristais de plagioclásio com biotita, muscovita e epidoto. Ep = Epidoto, Qtz = Quartzo, Bt = Biotita, Pl = Plagioclásio e Ms = Muscovita.

5.1.1.2 Plúton Faina

Apesar dessa unidade ter sido cartografada no extremo noroeste da Área III e valer 5% da área total mapeada, não foram reconhecidos afloramentos de Plúton Faina, de biotita-granito, possivelmente em função da extensa área de plantação presente na região, de ações intempéricas e da grande laterização.

A Figura 5.4A traz luz os pontos cartografados pela Área II, em que o ponto TF22-II-23 (ao sul da imagem) é classificado como granodiorito, os pontos TF22-II-124 e TF22-II-126 (acima da Área III) são quartzo dioritos e todos os outros 8 pontos (perfazendo a unidade do Plúton Faina) correspondem ao granito.

Na Figura 5.4B, é possível observar que o corpo granítico do Plúton Faina, oriundo da Área II, tem prosseguimento para a Área III, como é notado pelo rosa avermelhado. Isso quer dizer que, em algum momento, o granito se fez presente na

área ou ocorrendo em profundidade, porém, não foi possível identificá-lo em afloramento.

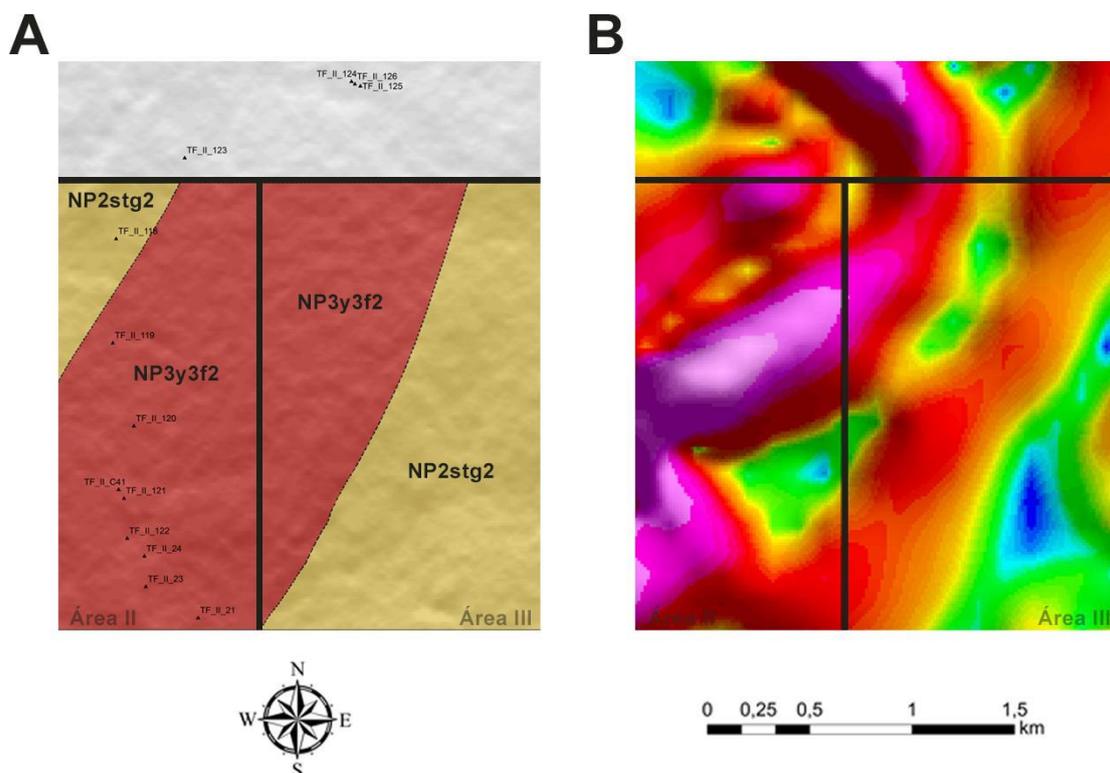


Figura 5.4: As duas imagens, em recorte de mapas, demonstram o contato entre as Áreas II e III. A: Contato litológico entre as áreas, em que é visto os pontos marcados pela Área II, descrito anteriormente. B: Contato visto no mapa GHT, facilitando a percepção do corpo do Faina, que sai da Área II e percorre a Área III.

Portanto, a unidade foi definida como uma zona de cisalhamento, em conjunto com a Área II, tendo em vista a geofísica aplicada, com o gradiente horizontal total pelo mapa de magnetometria, e os dados de campo obtidos por essa área.

5.1.2 Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha

A Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha é datada em idade neoproterozoica, sendo uma das unidades mais novas da Área III. Tal sequência é representada por rochas xistosas em toda área, com um único afloramento de anfibolito ao norte, em escala não mapeável. Essa unidade possui uma direção de foliação principal, com caimento para NW.

5.1.2.1 Unidade Metassedimentar Psamo-Pelítica

Á Área III possui xistos pertencentes a Unidade Metassedimentar Psamo-Pelítica, da Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha, correspondente a 35% da área mapeada, ocorrendo na porção oeste da área como faixa alongada disposta em direção NE. Seu contato com a Sequência Mara é delimitado pela falha Amaralina, enquanto o contato com o plúton Faina é por zona de cisalhamento.

As rochas pertencentes a essa unidade foram encontrados em afloramentos *in-situ*, com blocos e lajedos, com uma menor quantidade em cortes de estrada. As regiões em que tais rochas afloram são aplainadas, com campos de pastagens, grande laterização e intemperismo. Há o predomínio do solo latossolo vermelho-amarelo em relação ao argissolo na região. A vegetação típica é composta pelo cerrado, marcada pelo cerradão e cerrado campo sujo.

As rochas desta unidade possuem coloração acinzentada, com tons de avermelhados em alguns afloramentos devido ao intemperismo químico. É possível notar uma direção de foliação primária devido a orientação de minerais micáceos, como biotita e muscovita.

Não foi possível realizar a diferenciação em campo entre os diferentes tipos de xistos, já que a composição modal possui grande variedade. As principais rochas encontradas foram: quartzo-muscovita xisto, muscovita-quartzo xisto, granada-quartzo-muscovita, granada-quartzo-muscovita xisto feldspático, cianita-granada-quartzo xisto, cianita-granada-estaurolita-quartzo xisto, granada-estaurolita-quartzo xisto, cianita-estaurolita-muscovita-quartzo xisto e quartzo-actinolita xisto.

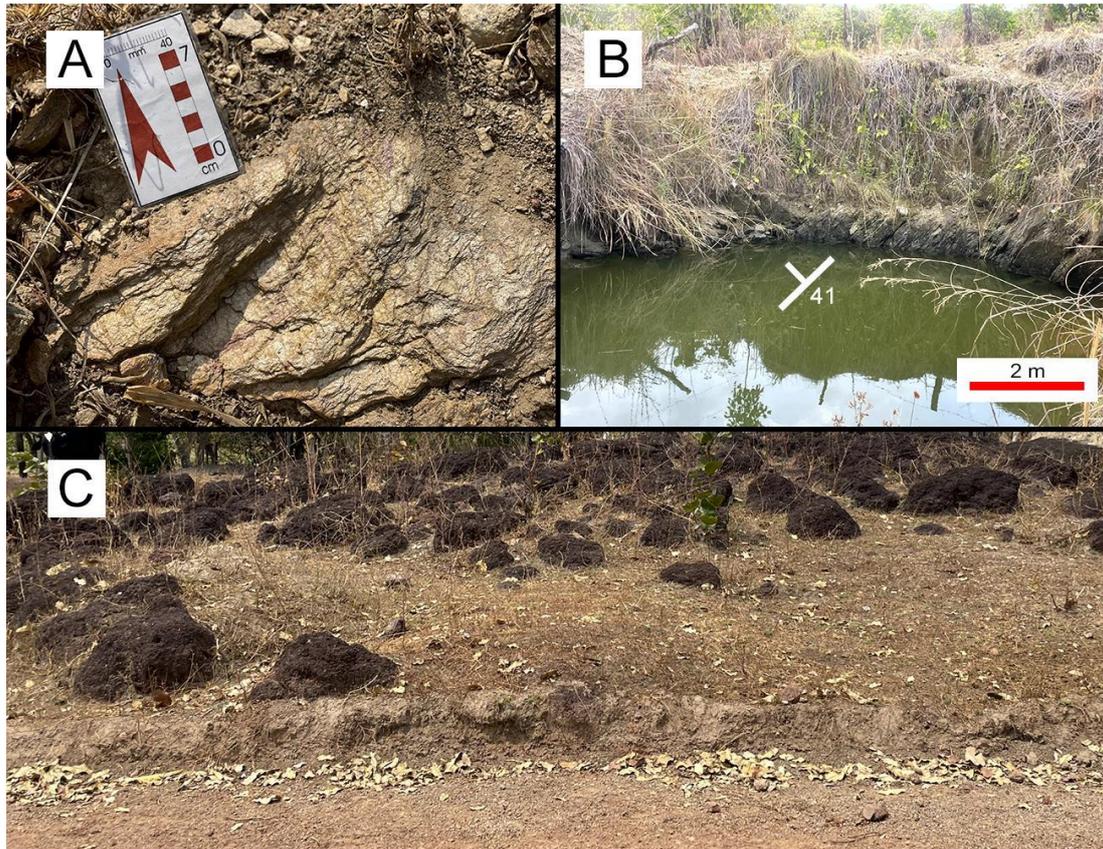


Figura 5.5: A: Afloramento *in-situ* e centimétrico de quartzo-muscovita xisto, orientados em uma direção principal, seguindo a foliação micácea (TF22-III-35). B: Afloramento *in-situ* em beira de água lótica, em que é possível observar a direção principal (290/41) do caimento das camadas (TF22-III-51). C: Solo e vegetação típica da área, em que é possível grande desenvolvimento das lateritas.

Para a unidade em questão, foram confeccionadas quatro lâminas para análise petrográfica: TF22-III-33, TF22-III-51, TF22-III-54 e TF22-III-57. A composição mineralógica é diferente entre si, como pode ser notado pela Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Tabela com as quatro lâminas de xistos analisadas: TF22-III-33, TF22-III-51, TF22-III-54 e TF22-III-57. Em azul, os minerais que compõem a mineralogia de cada rocha.

Mineralogia/Lâminas	TF22-III-33	TF22-III-51	TF22-III-54	TF22-III-57
Quartzo				
Plagioclásio				
Biotita				
Muscovita				
Clorita				
Granada				
Estauroлита				
Cianita				
Actinolita				
Titanita				
Epidoto				
Zircão				
Apatita				

Quartzo-muscovita xisto e muscovita-quartzo xisto

Esta rocha aflora *in-situ* na forma de blocos e cortes de estrada, raramente como blocos rolados, com intenso grau de intemperismo, o que torna a coloração, originalmente acinzentada, mais avermelhada e/ou amarronzada.

A granulometria é fina e é possível observar presença de crenulação incipiente em alguns pontos. A mineralogia é composta, sumariamente, por quartzo e muscovita, com domínios lepidoblásticos caracterizados pela fração micácea, mas também há domínios locais granoblásticos, em que o quartzo é o representativo.

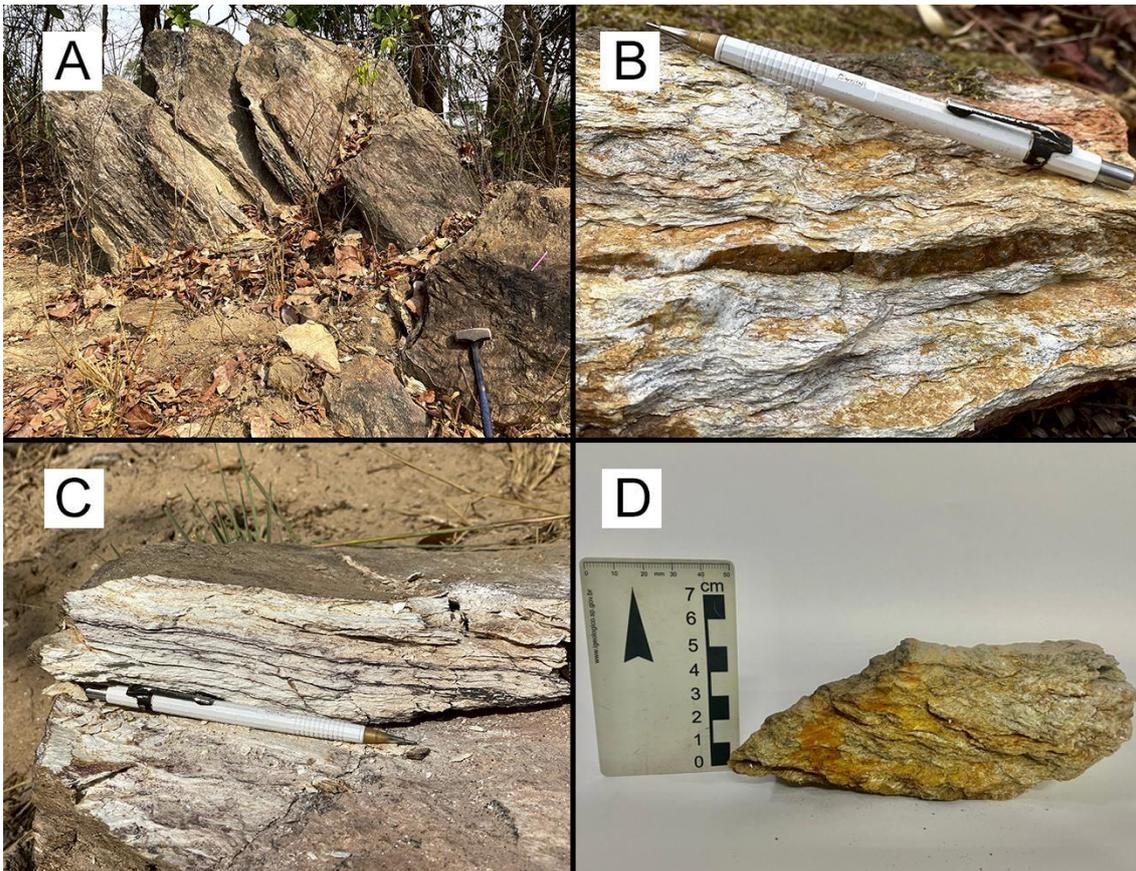


Figura 5.6: A: Afloramento típico dessa unidade, na forma de blocos imersos na vegetação (TF22-III-54). B: Quartzo-muscovita xisto, de granulação fina, com foliação bem marcada e crenulação visível, em par S-C. É possível observar as lamelas micáceas e alterações em tons avermelhados (TF22-III-34). C: Muscovita-quartzo xisto bastante alterado, com presença de matéria orgânica em sua composição (TF22-III-35). D: Quartzo-muscovita xisto bastante alterado por óxidos (TF22-III-34).

Originalmente, a lâmina produzida TF22-III-54 esperava-se ser apenas muscovita-quartzo xisto, porém, com o auxílio da análise petrográfica, a mineralogia é composta por quartzo (50%), muscovita (35%), cianita (8%), estauroлита (5%) e opacos (2%), sendo classificada como estauroлита-cianita-muscovita-quartzo xisto. A

rocha apresenta textura granolepidoblástica, ressaltada por domínios de quartzo, em meio a intercalação com domínios micáceos.

Os cristais de quartzo apresentam forte extinção ondulante, porém, não há cristais recristalizados, apenas porções estiradas.

A muscovita apresenta textura lepidoblástica e feições mica *fish*. Além disso, sua foliação engloba os cristais de cianita, que, portanto, se apresentam como sintectônicos (Figura 5.7A e 5.7B). A estaurolita aparece associada aos cristais de cianita. Por fim, os opacos são classificados como ilmenita.

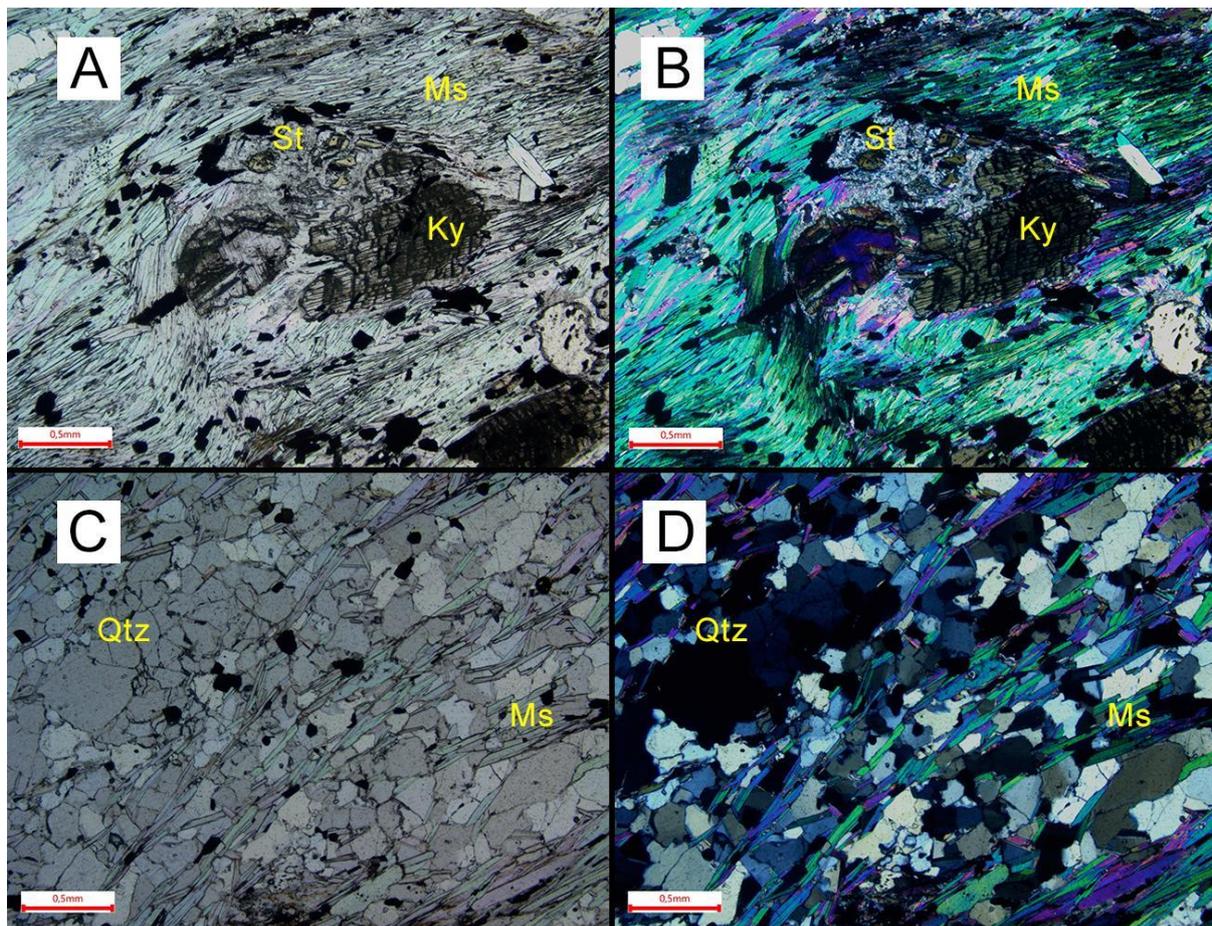


Figura 5.7: Fotos da lâmina TF22-III-54. A/B: A nicois descruzados e cruzados, respectivamente, presença de foliação micácea de muscovita, com textura mica *fish*, englobando cristais de cianita e estaurolita, que aparecem de forma associada. C/D: Em nicois descruzados e cruzados, por ordem, relação da fração quartzosa com a micácea. St = Estaurolita, Ms = Muscovita, Ky = Cianita e Qtz = Quartzo.

Muscovita-granada-quartzo xisto feldspático

Corresponde às rochas similares às anteriores, porém, a diferença é a adição de granada na paragênese mineral. O afloramento ocorre na forma de blocos *in-situ*, com alguns rolados.

A rocha possui cor acinzentada, em que há partes com predomínio de minerais aluminosos, como biotita e granada, com granulometria média a fina e foliação bem desenvolvida. A mineralogia, portanto, é composta por quartzo, muscovita, biotita e granada. Em certas partes, é possível notar a foliação S-C (Figura 5.8A). Além disso, a granada aparece, por vezes, rotacionada, caracterizada como sin-cinemática.



Figura 5.8: Fotos do afloramento TF22-III-57. A: Rocha de granulação fina a média, de coloração escura, em que é possível presenciar a granada, por vezes rotacionada. É observada a crenulação de par S-C, marcada em branco na Figura. B: O quartzo-granada-muscovita apresenta foliação de par S-C visível, com as granadas rotacionadas e é possível notar a direção preferencial da foliação, marcada pelos domínios micáceos.

Após analisar petrograficamente, pode-se constatar que a rocha apresenta textura granolepidoblástica, ressaltado por frações quartzo-feldspáticas intercaladas com frações micáceas. A mineralogia primária é composta por quartzo (35%), plagioclásio (15%), biotita (25%), muscovita (5%) e granada (10%), além de

acessórios como cianita, zircão e opacos. Como mineralogia secundária, sendo retrometamórficos, há epidoto e clorita.

O quartzo apresenta forte extinção ondulante e faz contatos poligonais, por vezes com cristais recristalizados e estirados. O plagioclásio, com macla polissintética, em que o plano de macla é descontínuo ou deslocado por microfraturas, apresenta teor de An próximo a 50, sendo classificado entre andesina e labradorita.

Os porfiroblastos de granada apresentam-se truncando a foliação (Figura 5.9A), de caráter pós-tectônico, ou sendo envoltado, portanto, sin-tectônico (Figura 5.9B), (Johnson, 1999), além de possuir inclusões de quartzo e ilmenita em seu núcleo. As micas possuem feições pisciformes (*micafish*) (Figura 5.9C) e formam a textura lepidoblástica, gerando uma direção principal. O epidoto apresenta textura vermiforme e é retro metamórfico, assim como a clorita. Os opacos são classificados como ilmenita.

Com a mineralogia discutida, pôde-se chegar à conclusão que a rocha sofreu retrometamorfismo em fácies xisto verde, com mineralogia de pico metamórfico indicando fácies xisto verde alto a anfibolito, em decorrência da presença de cianita. A paragênese mineral é composta por quartzo-plagioclásio-muscovita-granada.

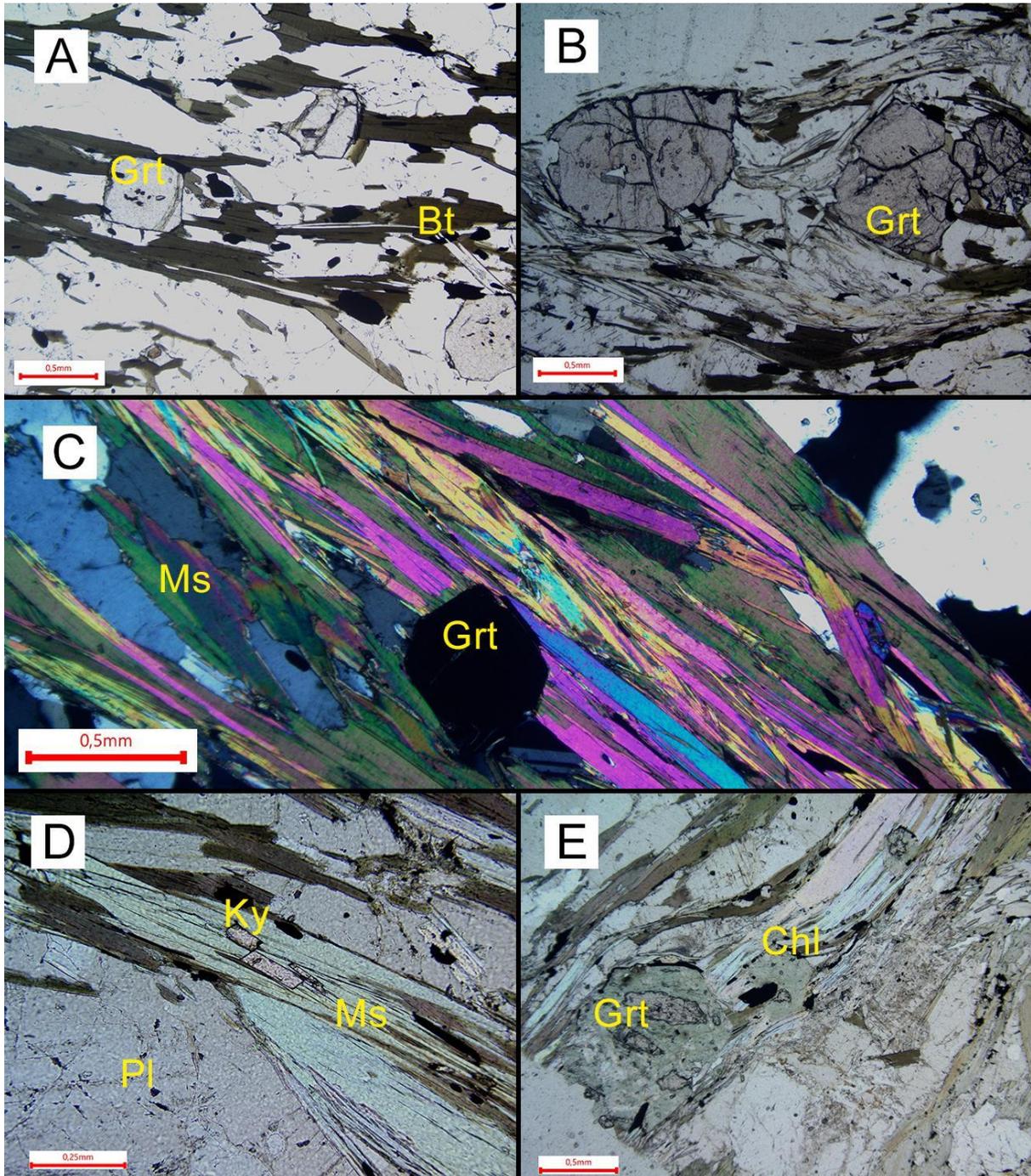


Figura 5.9: Fotos da lâmina TF22-III-57. A: Com nicois descruzados, cristais de granada que truncam a foliação micácea, de textura lepidoblástica, de caráter pós-tectônico. B: Com nicois descruzados, cristais de granada envolvidos pela foliação micácea, de caráter sin-tectônico. C: A nicois cruzados, nota-se feição pisciforme nos cristais de biotita, além da presença de granada truncando a foliação. D: Em nicois descruzados, é possível observar a presença de cianita em meio a foliação micácea. E: Com os nicois descruzados, percebe-se a clorita retrometamórfica, com relação com a granada e foliação micácea. Grt = Granada, Ky = Cianita, Ms = Muscovita, Bt = Biotita, Pl = Plagioclásio e Chl = Clorita.

Granada-estaurólita-quartzó xisto

A rocha em questão ocorre em rebordo de morrote, em blocos *in-situ* e blocos rolados, em um único ponto, em domínio centimétrico intercalado com quartzo-muscovita xisto.

A rocha possui granulometria fina, com foliação marcada e coloração acinzentada. A mineralogia apresenta quartzo, muscovita, estaurolita, granada, além de clorita, cianita e biotita. Apresenta textura lepidoblástica, em decorrência das micas, e porfiroblástica, pela estaurolita. A granada é idioblástica, bem formada, mas oxidada, por vezes. Ademais, é notado crenulação incipiente.



Figura 5.10: Rocha de granulção fina a média, de coloração escura, de mineralogia composta por quartzo, plagioclásio, biotita, muscovita, granada, estaurolita e cianita, além de óxidos. É observado o início de crenulação, assim como textura lepidoblástica, marcada pelas micas, e nematoblástica, evidenciada pela estaurolita (TF22-III-51).

Por meio da análise petrográfica, observou-se que a rocha apresenta arranjo granolepidoblástico, ressaltado por frações quartzo-feldspáticas, intercaladas com frações micáceas, contendo porfiroblastos de granada e estaurolita, além de cianita, epidoto, apatita, zircão, titanita e hemo-ilmenita (Gehring *et al.*, 2007) como minerais acessórios.

O quartzo (35%), de extinção ondulante, possui contato poligonal, formando esteiras de subgrão (agregados subcristalinos). Nessa trama quartzosa ocorre, de forma intersticial, os cristais de feldspatos, classificados como plagioclásio (5%), de teor An 35, portanto, andesina; este, encontra-se pouco sericitizado.

A fração micácea é composta por biotita (20%) e muscovita (15%), com presença de feição pisciforme (*micafish*) e cloritização da biotita. Os porfiroblastos de

granada e estauroлита estão associados a tal fração, sendo, por vezes, envolvidos (sintectônicos), mas também truncando a foliação (pós-tectônicos).

A estauroлита (15%) ocorre frequentemente associada a granada (Figura 5.11C) e com aspecto esquelético (Figura 5.11D), com desenvolvimento de argilominerais em suas fraturas, e apenas envolta da foliação. Seus cristais estão fragmentados e possuem inclusões de quartzo e hemo-ilmenita.

Já a granada (10%), aparece envolta da foliação (Figura 5.11A) e também na forma de truncamento (Figura 5.11B), com alterações de óxidos e hidróxidos de ferro. É comumente associada a estauroлита e, por vezes, apresenta cristais rotacionados.

O zircão, como acessório, forma halos pleocróicos nas estruturas das micas. Os opacos são classificados como hemo-ilmenita, ou seja, são ilmenita com exsoluções de hematita.

A partir de toda a análise, essa rocha sofreu retrometamorfismo em fácies xisto verde. Porém, como há grande presença de estauroлита e cianita, é possível afirmar que há pico metamórfico de fácies anfibolito. Há duas paragênese minerais, que são: quartzo-plagioclásio-biotita-muscovita-granada e granada-estauroлита-cianita-epidoto.

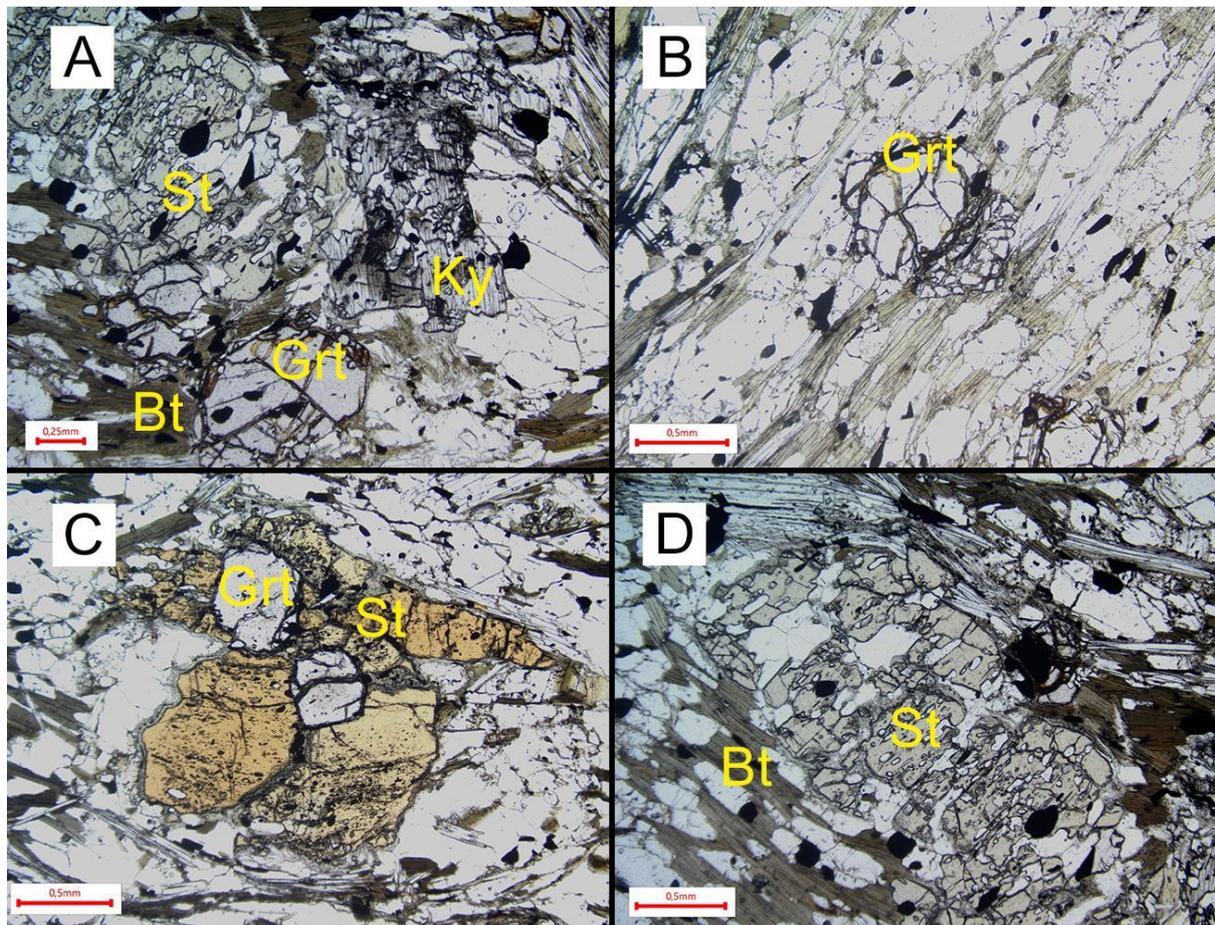


Figura 5.11: Fotos da lâmina TF22-III-51, todas a nicóis descruzados. A: Associação de granada, estaurólita, cianita e biotita, além de minerais opacos, classificados como helmo-ilmenite. B: Cristais de granada truncando a foliação micácea, de caráter pós-tectônico. C: Associação de estaurólita com granada. D: Estaurólita esqueletal, envolta pela foliação micácea. St = Estaurólita, Grt = Granada, Bt = Biotita e Ky = Cianita.

Quartzo-actinolita xisto

A rocha aflora *in-situ*, em beira de drenagem, com blocos centimétricos. A rocha possui coloração cinza esverdeada, com granulometria fina, bastante foliada e com alterações.

A mineralogia é composta por quartzo, actinolita e muscovita. Apresenta textura nematoblástica, em decorrência da presença de anfibólio, e lepidoblástica, em virtude das micas.

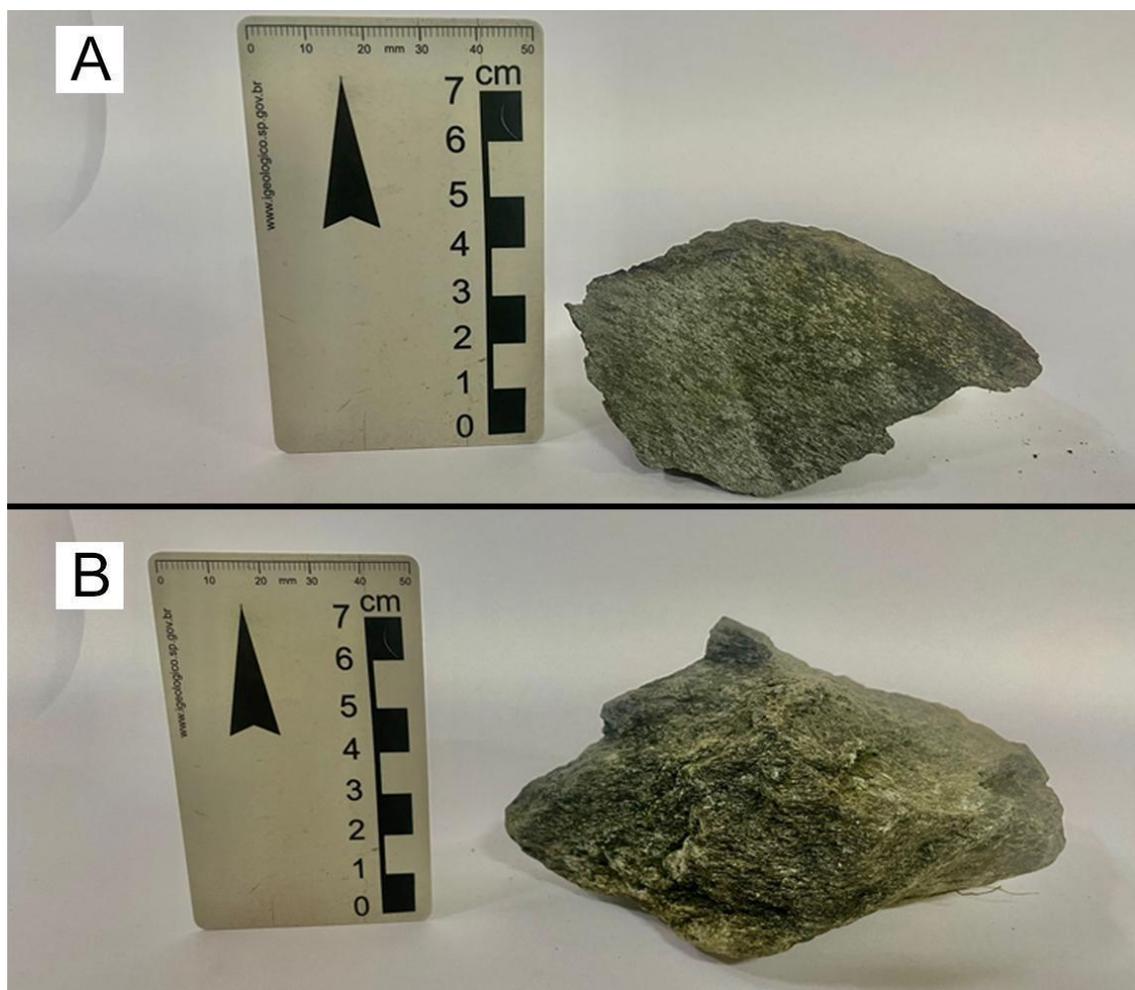


Figura 5.12: A e B: Quartzo-actinolita xisto, em que é possível observar a rocha de granulção fina, de coloração acinzentada esverdeada, com mineralogia composta, sumariamente, por actinolita, quartzo e muscovita. É possível notar alterações, possivelmente oxidações da muscovita. A

actinolita, sendo a parte maior da rocha, gera a textura nematoblástica, o que corrobora para a foliação ser bem marcada (TF22-III-33).

A partir do estudo petrográfico, nota-se que rocha apresenta arranjo nematoblástico, ressaltado pela actinolita (60%), sendo prismática e orientadas em uma direção preferencial, com intercalações de quartzo (25%), muscovita (5%), titanita (5%) e opacos (5%), além de clorita como acessório.

A actinolita possui formato fibroso e/ou prismático longo, em que é possível observar leve crenulação e grãos de quartzo e muscovita ao seu redor, que acompanham a direção da actinolita. O quartzo aparece intercalado com a actinolita, na forma achatada e estirada. A titanita, por vezes, aparece de forma losangular, mas principalmente como alteração da ilmenita, bastante oxidada, e de coloração amarronzada. A muscovita, de hábito lamelar, acompanha a direção principal da actinolita. Os opacos são classificados como ilmenita.

Portanto, o grau metamórfico desse xisto é em fácies xisto verde e sua paragênese mineral é composta por quartzo-muscovita-actinolita.

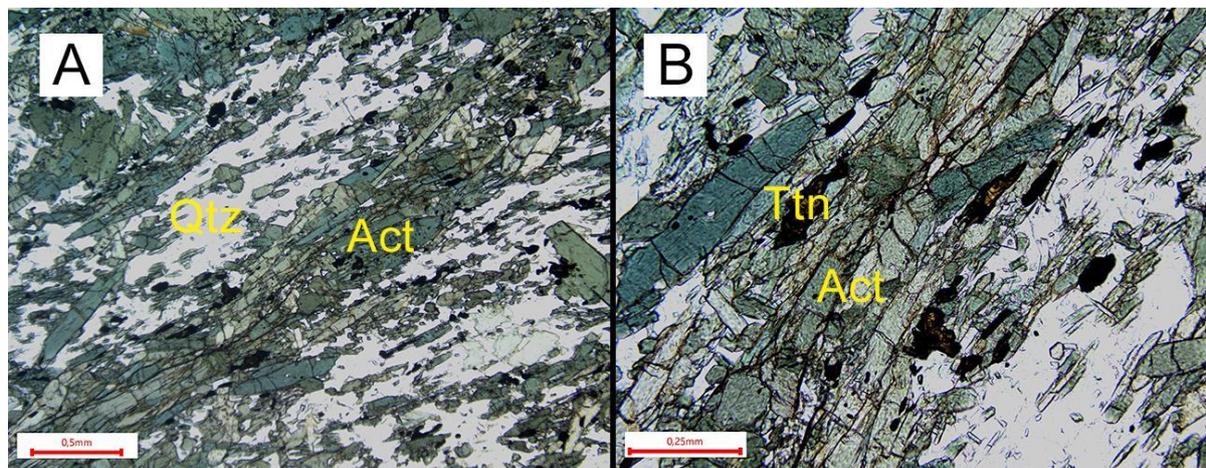


Figura 5.13: Fotos da lâmina TF22-III-33, ambas a nicóis descruzados. A: Arranjo lepidoblástico, caracterizado pela direção preferencial da actinolita, que são intercaladas com quartzo. B: Cristais de titanita com alterações, possivelmente ocorridas pela relação com a ilmenita. Qtz = quartzo, Act = Actinolita e Ttn = Titanita.

Cianititos

O cianitito aparece em três pontos na Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha, próximo aos xistos em que há presença de cianita. Dois afloramentos eram de blocos rolados, de tamanho centimétrico, e um *in-situ*, também

centimétrico, em corte de estrada. Não foram colocados no mapa por não possuírem escala mapeável.

A rocha apresenta coloração amarronzada, quando não alterada, e com granulometria média. A mineralogia é composta por cianita, muscovita, clorita, biotita e quartzo.



Figura 5.14: Cianitito em que é possível notar grandes cristais de cianita (TF22-III-53).

5.1.3 Unidade Hidrotermal

5.1.3.1 Associação Aluminosa

A Associação Aluminosa é representada, no contexto da Área III, em um único ponto de cianitito, em que o afloramento é composto por blocos rolados centimétricos. Portanto, não representa escala mapeável.

A rocha apresenta coloração escura esverdeada, com foliação marcada pela presença de micas e granulometria fina. É possível observar que as cianitas foram alteradas para muscovita em quase toda a rocha. A mineralogia ainda é composta por quartzo, biotita e clorita. Além disso, a rocha possui grande processo intempérico.



Figura 5.15: O cianitito apresenta bastante alteração, em que os cristais de cianita estão sendo transformados em micas (TF22-III-39).

Para a análise petrográfica, foi produzida uma lâmina de cianitito (TF22-III-39). A rocha apresenta um alto grau de alteração, com uma textura lepidoblástica, na qual a cianita foi quase completamente alterada para micas. A composição mineralógica é feita por cianita (10%), muscovita (40%) como produto de alteração, biotita (10%), clorita (25%) e quartzo (5%), além de epidoto, sericita e mica branca como minerais acessórios.

Em um domínio, a cianita está quase que completamente alterada para muscovita, com cristais fortemente estirados, seguindo uma orientação preferencial, e há cianitas reliquiares, além de quartzos sendo envolvidos pelos cristais de muscovita. No outro domínio, a biotita possui alto grau de cloritização, sem presença de cianita.

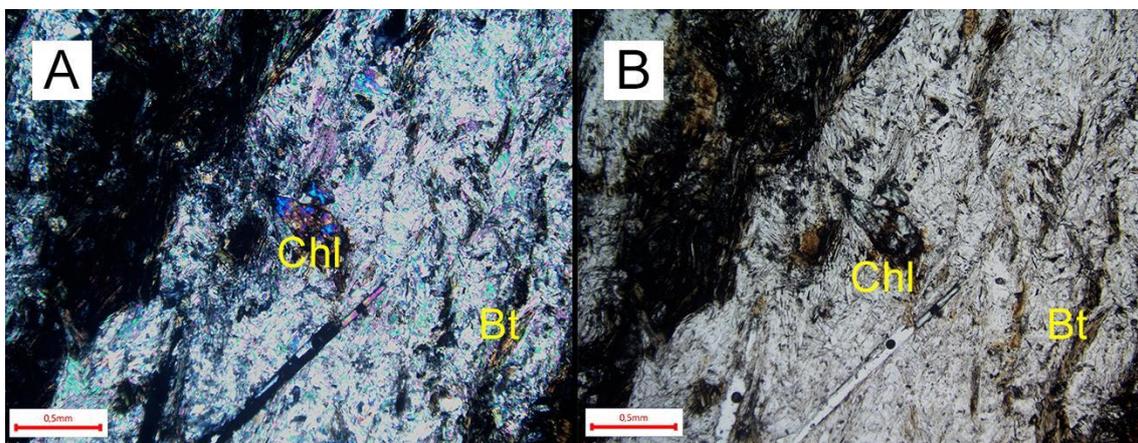


Figura 5.16: A/B: A nicóis cruzados e descruzados, respectivamente, apresenta cianita cloritizada, muscovita e biotita, em uma textura lepidoblástica, com alto grau de alteração (TF-III-39). A massa branca da Figura corresponde a alteração de cianita para alguma mica. Chl = Clorita e Bt = Biotita.

5.1.3.2 Associação Calcissilicática

As fácies hidrotermais calcissilicáticas ocorrem em dois pontos na Área III (P92, ao sul, e P148, ao norte), de forma isolada, portanto, são afloramentos em escala não mapeável.

As rochas foram encontradas em afloramentos, *in-situ* (P148) ou bloco rolado (P92), na forma de lajedos ou blocos, todos centimétricos. Em campo, essas rochas foram classificadas como hidrotermalitos, porém, a mineralogia entre os dois pontos é diferente.

No ponto 92 (Figura 5.17A), a rocha faz contato com um anfibolito. Apresenta coloração escura, com grandes cristais de epidoto. A mineralogia é composta por epidoto, quartzo, tremolita e manganês. É notado oxidação e a tremolita apresenta caráter radial.

Já no ponto 148 (Figura 5.17B), a rocha hospedeira, em que há o contato, é o diorito, que possui epidoto e biotita em sua composição. O hidrotermalito apresenta coloração esbranquiçada, com granulometria média e é composto por quartzo, clorita, feldspato potássico, sulfeto e carbonato, podendo estar associado a zona de cisalhamento.

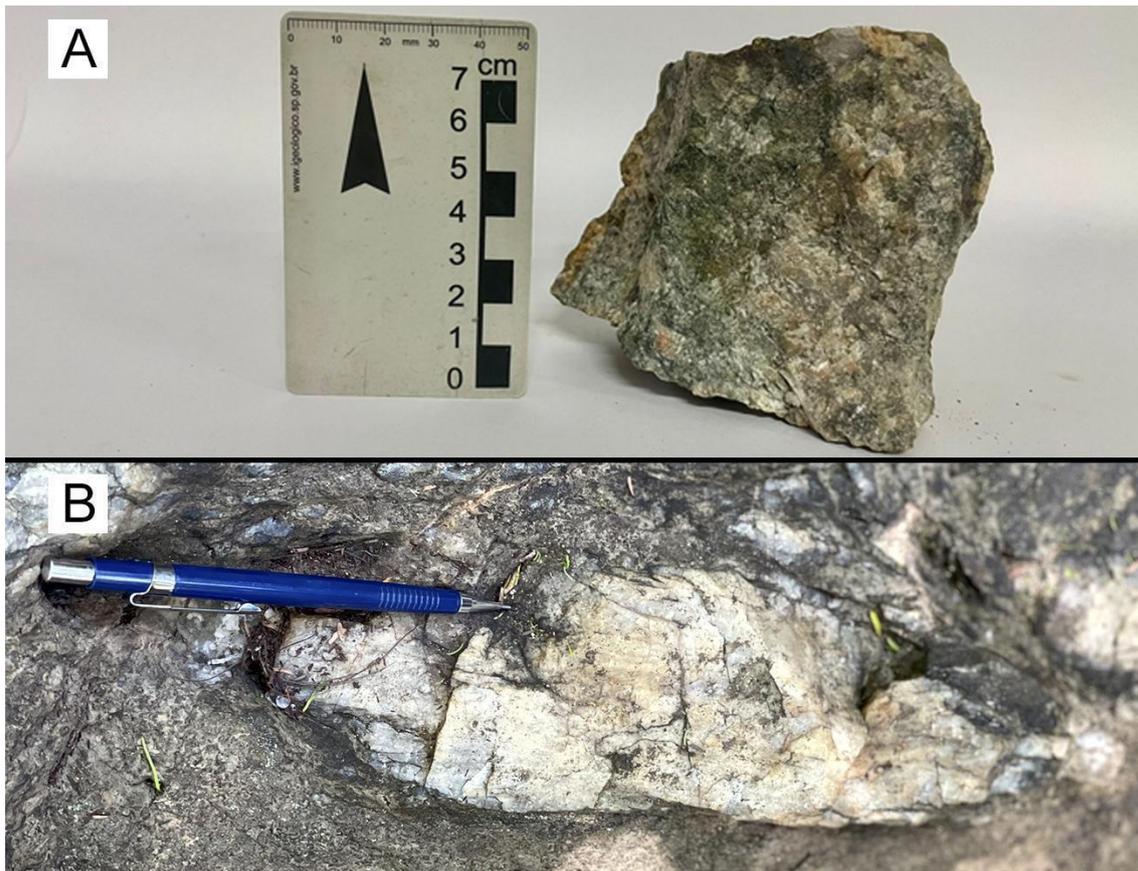


Figura 5.17: A: Amostra de cianitito, em que é possível observar a cianita muito bem preservada, em rocha bem amarronzada devido a alteração (TF-III-53). B: Rocha classificada em campo como hidrotermalito, de granulação média, é composta por quartzo, epidoto e clorita (TF-III-92). C: Contato entre rocha hidrotermal e diorito, em que o hidrotermalito é composto por quartzo, clorita, carbonato, feldspato potássico e sulfetos (TF-III-148).

Uma lâmina foi confeccionada e com o auxílio da análise petrográfica, a rocha que foi classificada em campo como hidrotermalito (TF-III-92), foi reclassificada como quartzo epidosito. Sua mineralogia é composta por epidoto (80%), clorita (5%), quartzo (10%) e opacos (5%), além de clinzoisita como mineral acessório. O epidoto aparece de várias formas, ressaltando a textura granoblástica, sendo radial, fibroso ou granular anédrico, em que os cristais de clinzoisita estão relacionados. O quartzo possui forte extinção ondulante e contato poligonal. A clorita apresenta-se na forma de agregados radiados.

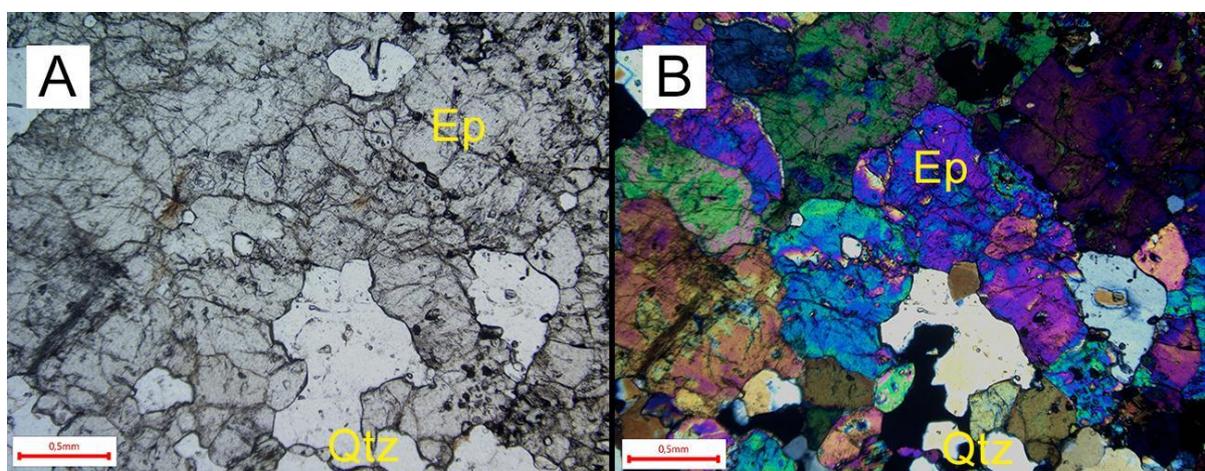


Figura 5.18: A e B: A nicóis descruzados e cruzados, nessa ordem, a rocha foi classificada epidosito, em que se nota textura porfiroblástica; possui pequena fração de quartzo (TF-III-92). Ep = Epidoto e Qtz = Quartzo.

5.1.4 Ortognaisses Mara Rosa Indiferenciados

Os Ortognaisses Mara Rosa correspondem a 40% da área mapeada, ocorrendo na parte leste da área como faixa alongada disposta em direção NE. Seu contato com a Sequência Santa Terezinha é delimitado por uma grande zona de falha de empurrão, chamada Amaralina.

Os afloramentos vistos nessa unidade se encontravam principalmente em rebordos de morrotes, cortes de estrada, lajedos e blocos, com menor quantidade em

cortes de estrada. Há o predomínio do solo latossolo vermelho-amarelo em relação ao argissolo. A vegetação típica é composta pelo cerrado sujo, cerrado limpo e cerradão.

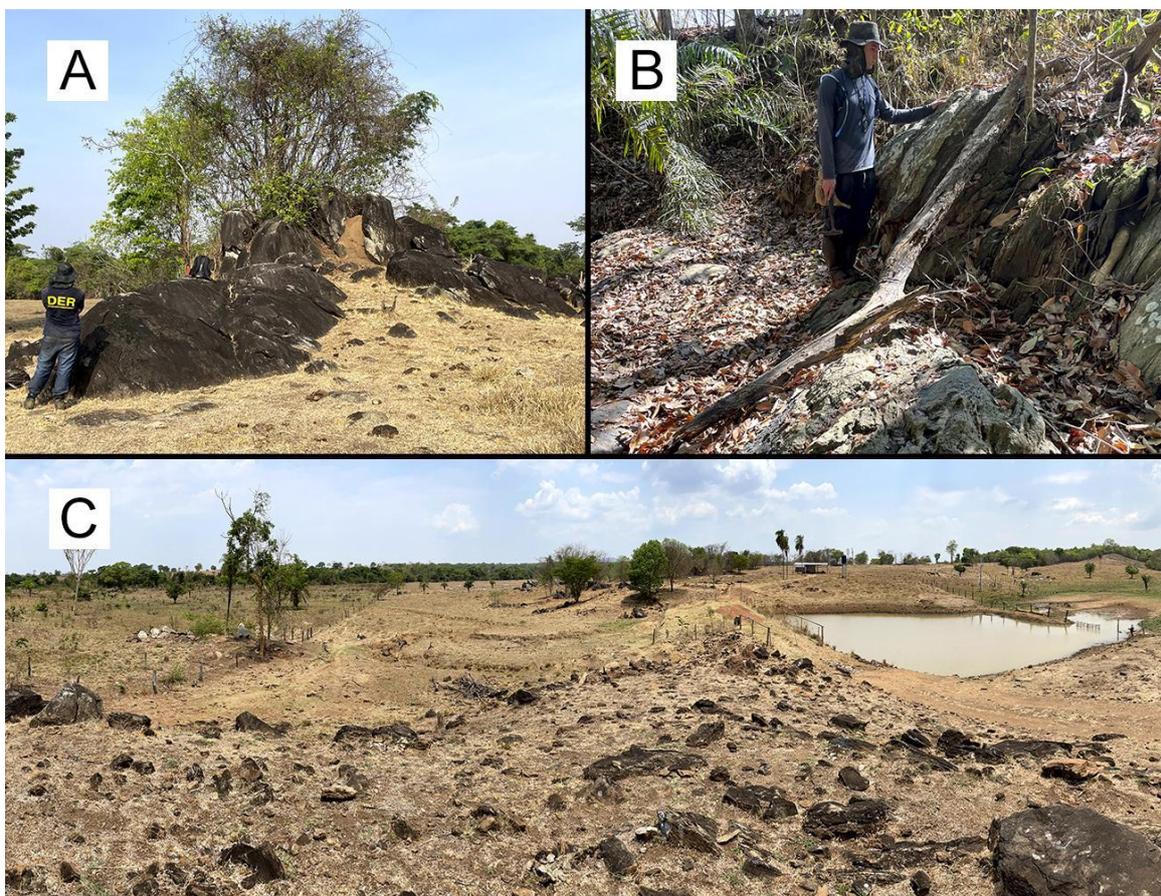


Figura 5.19: Os três principais tipos de afloramento dos Ortognaisses Mara Rosa. A: Afloramento decimétrico, com blocos métricos, em que a maioria é *in-situ* (TF-III-74). B: Afloramento de blocos métricos, em que é notável a intercalação entre diorito e tonalito (TF-III-132). C: Afloramento decimétrico, com blocos rolados e *in-situ*.

As rochas desta unidade possuem coloração escura, devido a presença de minerais máficos, variando até rochas de coloração esbranquiçada, que são compostas essencialmente por feldspatos. A mineralogia principal é composta por quartzo, plagioclásio, biotita, feldspato potássico e epidoto. Localmente, há presença em grande quantidade de granada, hornblenda e actinolita. Por fim, os minerais acessórios são titanita, zircão e clorita.

Os gnaisses encontrados na unidade variam bastante sua composição, saindo de composições mais máficas (Figura 5.20A) ou félsicas (Figura 5.20B) para composições mais tonalíticas a dioríticas (Figuras 5.20C e 5.20D). Assim, as rochas

encontradas nesta unidade foram classificadas como ortognaisses dioríticos, ortognaisses tonalíticos e ortognaisses quartzo-dioríticos.

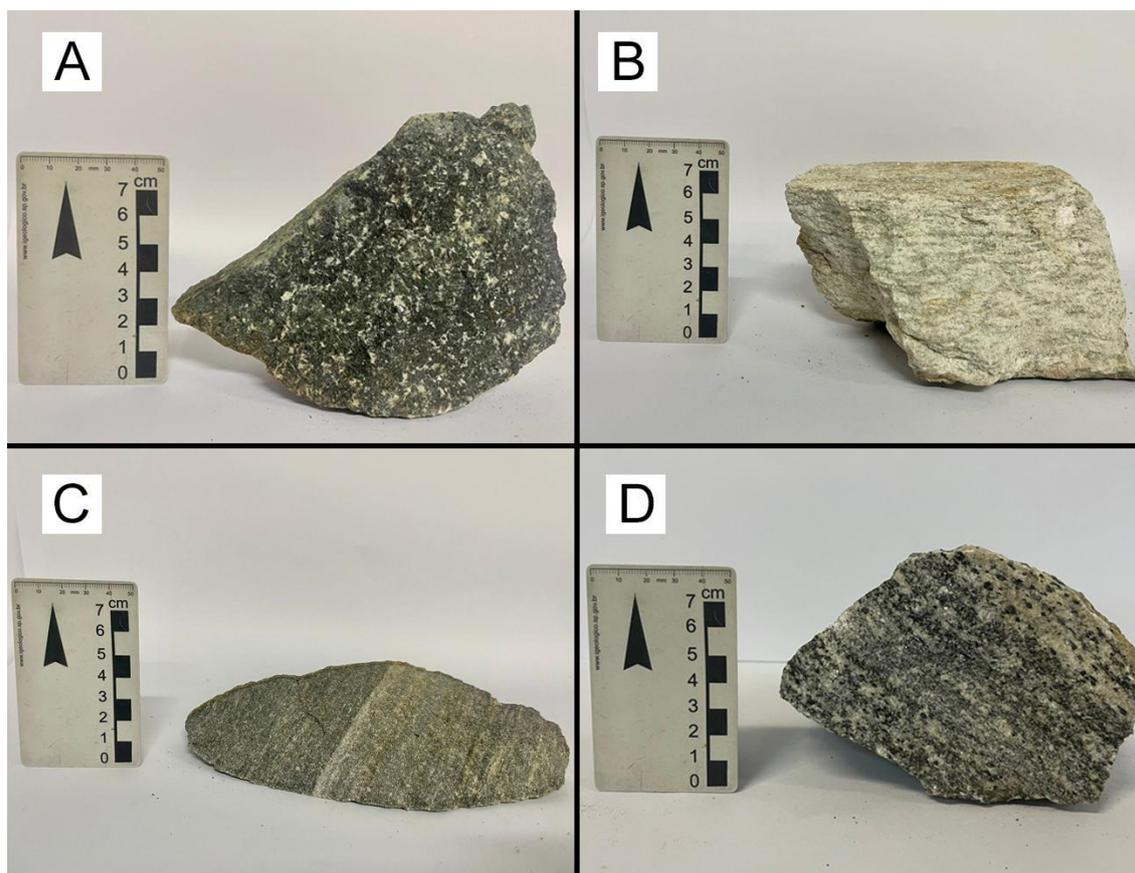


Figura 5.20: A: Amostra de tonalito onde é possível observar granulação média e a abundância de minerais máficos (TF-III-62). B: Amostra de leucognaisse, com grande quantidade de minerais félsicos, sendo possível notar o bandamento gnáissico (TF-III-9). C: Amostra de ortognaisse tonalítico, com bandamento composicional (TF-III-162). D: Amostra de tonalito, com minerais orientados em uma direção preferencial, notando-se domínio de minerais máficos (TF-III-74).

A análise petrográfica dos ortognaisses foi realizada pela descrição de três lâminas: TF22-III-26, TF22-III-74 e TF22-III-85. A mineralogia é apresentada na Tabela 5.2.

Tabela 5.2: Tabela com as três lâminas de ortognaisses analisadas: TF22-III-26, TF22-III-74 e TF22-III-84. Em azul, os minerais que compõem a mineralogia de cada rocha.

Mineralogia/Lâminas	TF22-III-26	TF22-III-74	TF22-III-85
Quartzo			
Plagioclásio			
Biotita			
Granada			
Epidoto			
Hornblenda			
Microclínio			
Muscovita			
Clorita			
Actinolita			
Titanita			
Zircão			

Baseada da análise petrográfica, pôde-se observar que as rochas variam em arranjo e mineralogia. As três lâminas analisadas foram classificadas como ortognaisses de composição tonalítica, em que a mineralogia é composta, essencialmente, por quartzo (35 a 40%) e plagioclásio (25 a 45%), em que a biotita (10 a 20%) também possui grande quantidade. Além desses, o epidoto (1 a 5%), a granada (1 a 10%), em TF22-III-26 e TF22-III-74, e a hornblenda (20%), em TF22-III-85, também são ressaltadas. Por fim, os minerais acessórios, todos abaixo de 1%, são compostos por microclínio, actinolita, zircão e opacos, estes sendo classificados como pirita (TF22-III-26) e hematita (TF22-III-85).

A rocha apresenta teor de An entre 15 e 20, sendo classificada como oligoclásio, com a presença de inclusões de biotitas nos plagioclásios. O quartzo apresenta contato poligonal com os outros minerais e, por vezes, aparece estirado. A biotita segue uma direção preferencial, formando uma textura lepidoblástica. A granada apresenta textura granoblástica, com cristais bem preservados e inclusões, não orientadas, em seu núcleo (Figura 5.21B) de opacos, epidoto, quartzo, por vezes, com a presença de óxidos percolados em suas fraturas. A hornblenda (apenas na lâmina TF22-III-85), apresenta os maiores cristais da lâmina, com inclusões de quartzo e opacos, sem textura visível. O epidoto apresenta textura vermiforme (Figura 5.21A), em que o cristal é consumido. O microclínio apresenta a macla xadrez característica.

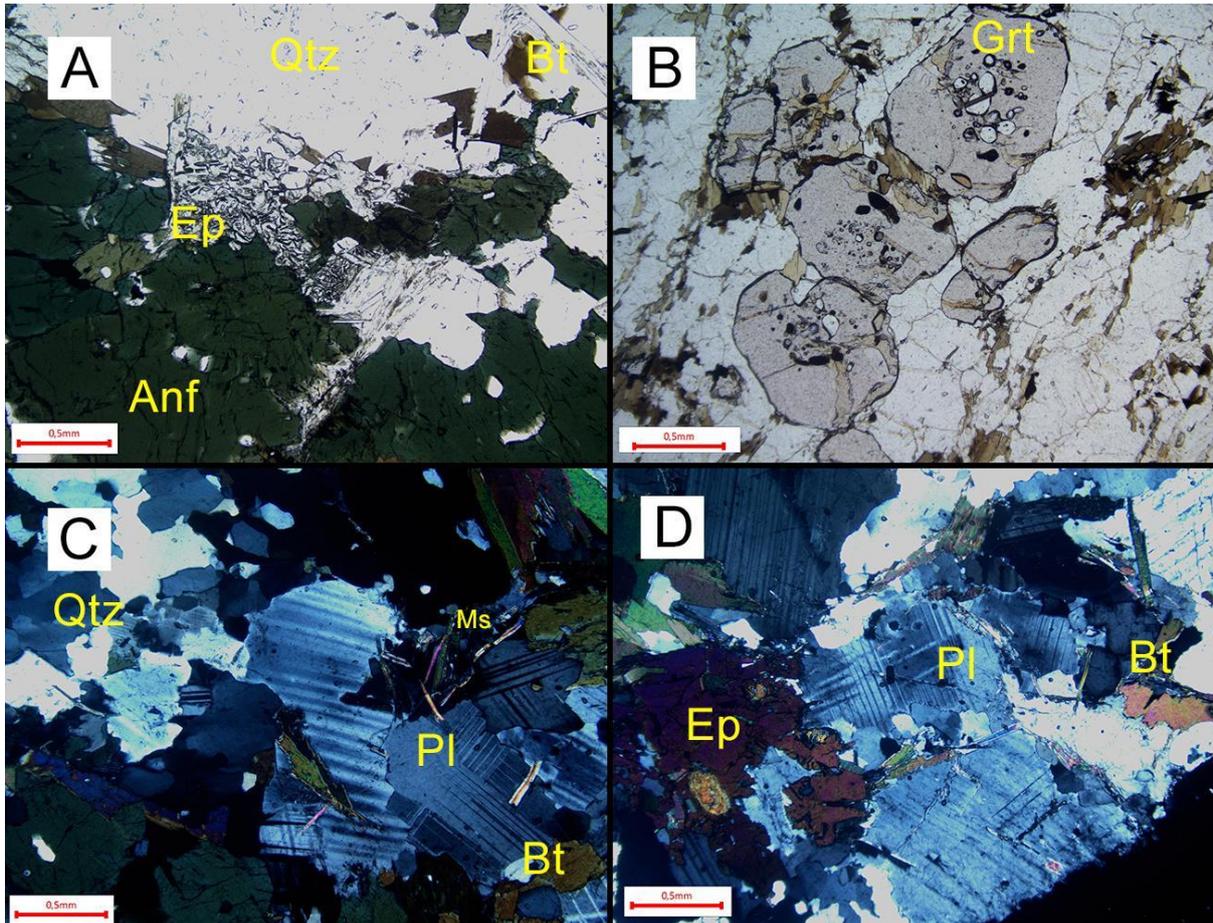


Figura 5.21: A: A nicois descruzados, textura vermiforme em epidoto, com presença de anfibólio (hornblenda), biotita e quartzo (TF-III-85). B: Em nicois descruzados, cristais de granada com inclusões, não orientadas, de quartzo e opacos em seu núcleo, o que pode indicar ser granada sin a pós-tectônica (TF-III-26). C: Textura porfiroblástica, marcada pela fração quartzo-feldspática, em contato com minerais micáceos, visto em nicois cruzados (TF-III-85). D: Textura porfiroblástica, ressaltada pela fração quartzo-feldspática, com presença de mica e epidoto, analisado em nicois cruzados (TF-III-74). Qtz = Quartzo, Pl = Plagioclásio, Ep = Epidoto, Anf = Anfibólio, Grt = Granada, Ms = Muscovita e Bt = Biotita.

5.1.5 Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa

A Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa corresponde a 17% da Área III, localizando-se na porção centro-leste, com disposição geral seguindo o *trend* regional NE-SW. Possui idade neoproterozóica e é formada por rochas máficas e ultramáficas em quase todo seu domínio. As rochas representadas por esse domínio são as rochas metassedimentar químicas, metaultramáficas e metavulcânica máficas, o que faz a mineralogia e a estrutura ser bastante variável. Porém, de maneira geral, as rochas variam de granulometria fina a média.

Na Área III, essas rochas são encontradas em regiões na qual o solo é bastante espesso, o que dificulta a exposição de afloramentos na região. Os afloramentos encontrados variam de tamanho, desde centimétricos, como em cortes de estradas ou em rebordos de morrotes, a métricos, com grandes exposições de rochas, *in-situ*, lajedos ou na forma de blocos rolados.

5.1.5.1 Unidade Metassedimentar Química

A Unidade Metassedimentar Química, na Área III, é representada pelo gondito, que é uma rocha metamórfica composta principalmente de granada manganésifera (espessartita) e quartzo. Ocorre de forma local, em apenas um único ponto (P93).

O afloramento é composto por blocos *in-situ*, em corte de trilha, com presença de afloramento de anfibolito próximo, corroborando para o fato de haver sequência vulcanossedimentar.

A rocha possui coloração preta, indicada pela grande presença de óxidos de manganês, com tons avermelhados devido a alteração. De maneira geral, a estrutura é maciça com textura porfiroblástica devido aos cristais de granada.



Figura 5.22: Amostra de gondito, de coloração preta pela abundância de manganês em sua composição, além de cristais de granada e quartzo (TF22-III-93).

5.1.5.2 Unidade Metavulcânica Máfica

A unidade correspondente aos anfibolitos, que perfazem 12% da área, se estabelece a norte e a sul da Área III, estando em contato com a Sequência Santa Terezinha e Mara Rosa à norte, enquanto à sul está em contato apenas com a

Sequência Mara Rosa. Esta unidade ocorre em diferentes tipos de elevação e é recoberta, predominantemente, por vegetação do tipo cerrado sujo e cerrado limpo.

Nos produtos aerogeofísicos, a unidade exibe assinatura gamaespectométrica marcante, caracterizada pela cor preta na composição RGB, relacionada a altas concentrações de rochas máficas e ultramáficas.

A unidade é marcada por hornblenditos, anfibolitos e talco anfibolitos, formado essencialmente por anfibólio, quartzo e plagioclásio, de granulação fina a grossa. A mineralogia é composta por hornblenda, actinolita-tremolita, plagioclásio, epidoto, talco e clorita, além de titanita e opacos como acessórios.

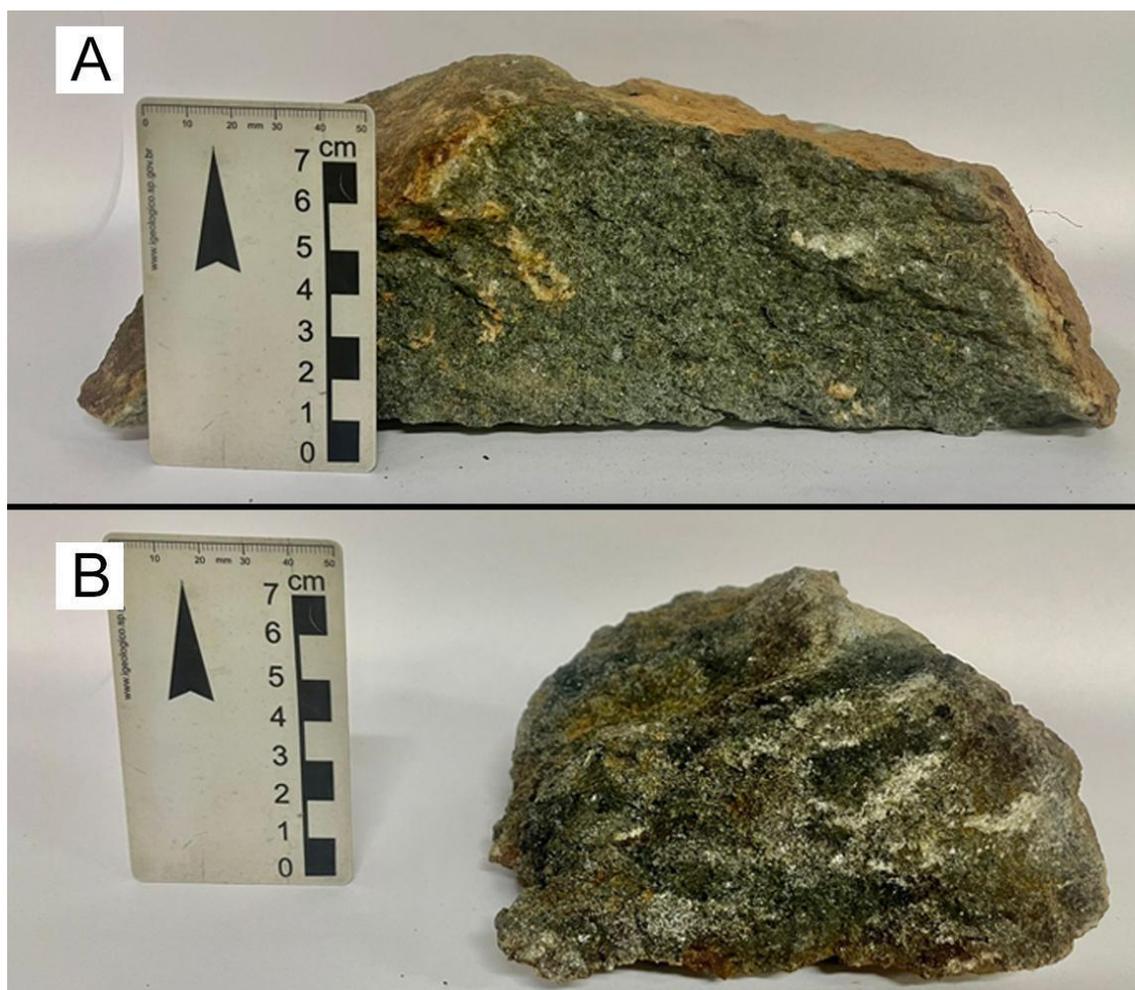


Figura 5.23: A: Amostra de hornblendito, com granulação média a fina, com a mineralogia composta por anfibólio, sumariamente, com cristais de quartzo e plagioclásio (TF22-III-159). B: Amostra de talco anfibolito, formada por anfibólio, talco e clorita, com granulação média a fina (TF22-III-96B).

Três lâminas desta unidade foram produzidas a fim de análise petrográfica: TF22-III-44, TF22-III-96A e TF22-III-96B. A Tabela 5.3 mostra a composição mineralógica de cada rocha.

Tabela 5.3: Tabela com as três lâminas de anfibolitos analisadas: TF22-III-44, TF22-III-96A e TF22-III-96B. Em azul, os minerais que compõem a mineralogia de cada rocha.

Mineralogia/Lâminas	TF22-III-44	TF22-III-96A	TF22-III-96B
Quartzo			
Plagioclásio			
Hornblenda			
Actinolita			
Tremolita			
Epidoto			
Titanita			
Clorita			
Talco			
Muscovita			

Ao analisar as rochas petrograficamente, pode-se observar que os anfibolitos eram mineralogicamente diferentes. A amostra TF22-III-44 foi classificada como hornblendito, pela hornblenda ser o mineral mais abundante da rocha. Já a amostra TF22-III-96A foi classificada como tremolitito, pelo anfibólio dominante ser a tremolita. Por fim, tem-se que a amostra TF22-III-96B foi denominada de hornblenda actinolítico, por apresentar abundância em actinolita.

O hornblendito apresenta textura porfiroblástica e nematoblástica, com porfiroblastos de hornblenda. A rocha é constituída de hornblenda (55%), plagioclásio (20%), quartzo (15%) e epidoto (10%), além de muscovita, titanita e opacos como minerais acessórios. O plagioclásio é classificado como andesina, com teor de An entre 30 e 40, com notável sericitização e com a muscovita ocupando espaço entre os cristais, sendo posterior. O epidoto apresenta textura vermiforme. Essa rocha, em específico, possui quartzo em sua composição por estar em um afloramento em contato com ortognaisses, de composição diorítica a tonalítica.

O tremolitito apresenta textura nematoblástica, marcada pela tremolita, em que os cristais estão alongados, seguindo uma direção principal. A rocha é composta por tremolita (85%), epidoto (10%) e clorita (5%). A clorita é produto de retrometamorfismo.

O actinolítico apresenta arranjo diablástico inequigranular e textura nematoblástica, com os cristais estando prismáticos alongados. A rocha é formada por actinolita (65%), hornblenda (20%), talco (10%), clorita (5%), além dos acessórios como titanita e opacos. A clorita está deformada e apresenta maclamento visível,

estando associada aos anfibólios, podendo ser produto de alteração, assim como o talco. A hornblenda apresenta zoneamento ótico, da borda para o centro.

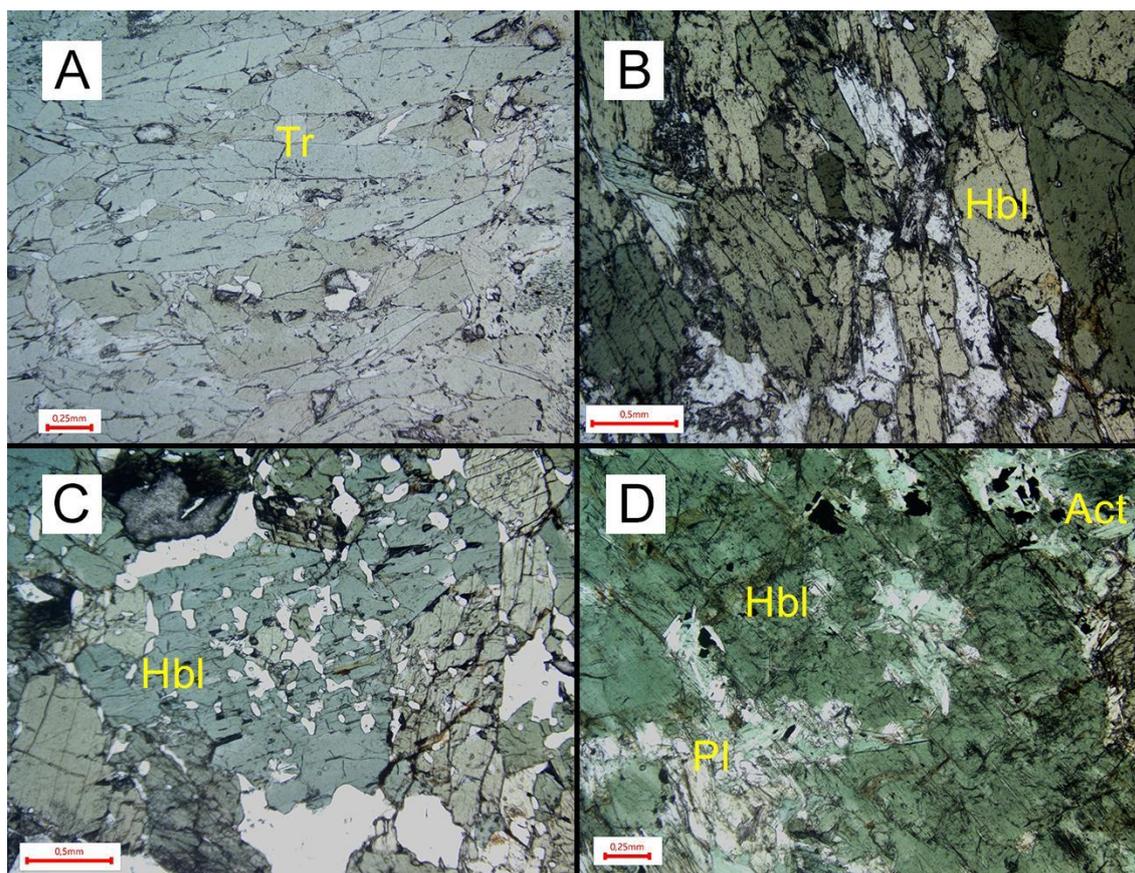


Figura 5.24: Todas as fotos estão a nicóis descruzados. A: Textura nematoblástica, em que é possível notar direção preferencial dos cristais de tremolita (TF22-III-96A). B: Textura nematoblástica caracterizada pela orientação preferencial dos cristais de hornblenda (TF22-III-44). C: Cristais de hornblenda com inclusões de quartzo (TF22-III-44). D: Cristais de actinolita, hornblenda e plagioclásio em contato (TF22-III-96B). Tr = Tremolita, Hbl = Hornblenda, Act = Actinolita e Pl = Plagioclásio.

5.1.5.3 Unidade Metaultramáfica

As rochas metaultramáficas da Sequência Mara Rosa perfazem 5% da Área III, aparecendo ao extremo nordeste, como faixa alongada disposta em direção NE.

Os afloramentos de tal unidade ocorrem em cortes de estrada, lajedos e blocos rolados, todos sendo *in-situ*, em regiões aplainadas, marcadas por forte intemperismo e laterização. O latossolo vermelho-amarelo é o principal do local, com vegetação típica do cerrado.

Nessa unidade, as rochas possuem coloração acinzentada com tons esverdeados, devido a ocorrência mineralógica. A foliação é bem desenvolvida e a granulação é, predominantemente, fina.

Em campo, não foi possível realizar a diferenciação entre os tipos de metaultramáfica, portanto, sendo cartografadas em uma mesma unidade. As principais rochas encontradas foram: tremolita-talco xisto, tremolita-talco-clorita xisto, clorita-talco xisto e talco-clorita xisto.

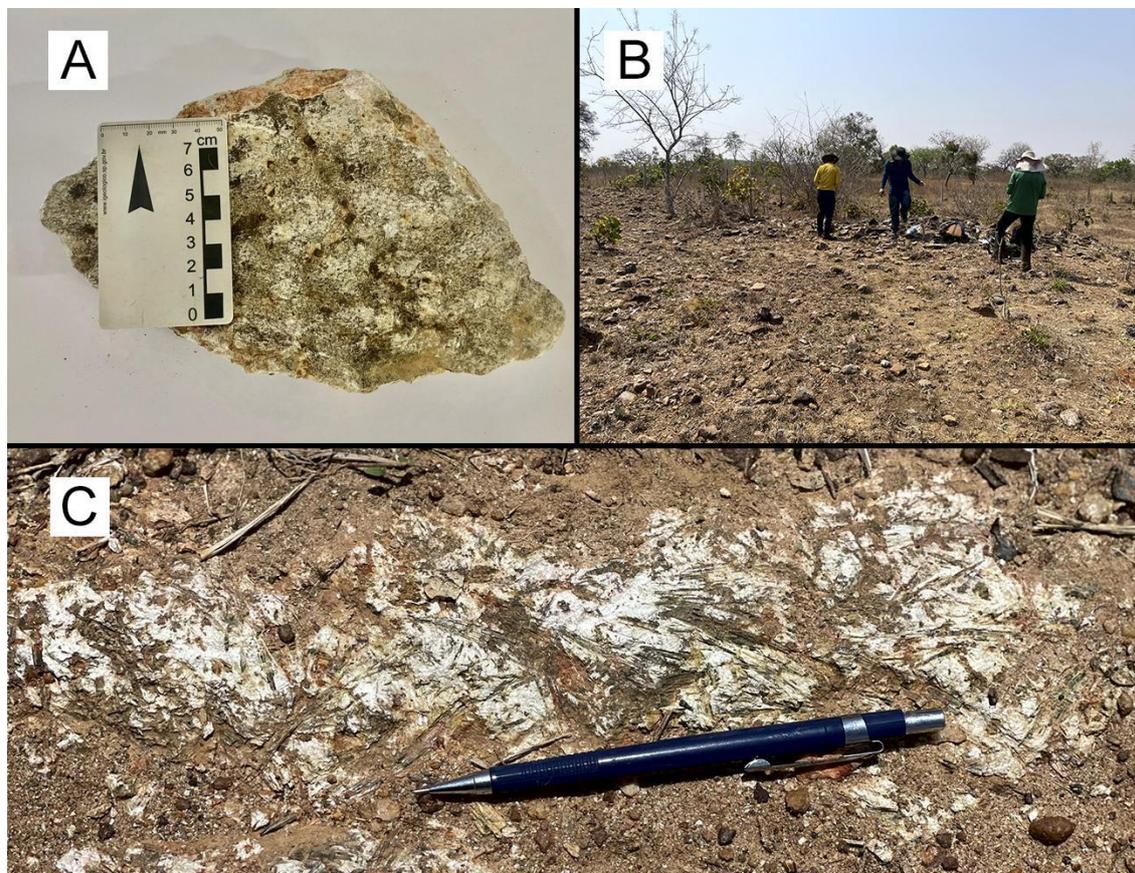


Figura 5.25: A: Talco-tremolita xisto, de granulação fina, com quartzo e pseudomorfos de pirita, além de alteração e oxidação (TF22-III-150). B: Afloramento de talco-clorita xisto, *in-situ* e com muitos blocos rolados (TF22-III-4). C: Afloramento centimétrico de talco xisto, em corte de estrada, em que é possível notar os planos de textura decussada, com mineralogia composta por talco, tremolita e minerais micáceos (TF22-III-157).

A partir da análise petrográfica, a subunidade é composta por rochas que possuem talco, tremolita, clorita e óxidos, que foram classificados como hematita e magnetita.

A rocha apresenta domínios maiores de textura lepidoblástica, dominadas pelos cristais de talco (55%), que aparecem fibrosos e lamelares, com presente oxidação, em uma direção preferencial, subordinada com a textura nematoblástica, caracterizada pela tremolita (10%), na forma prismática, que acompanha a textura do talco. A clorita (25%) ocorre, preferencialmente, no contato com os cristais de talco.

Por fim, os minerais acessórios, como os opacos (10%), estão dispostos de forma disseminada, classificados como hematita, na forma eudral, e ilmenita, quando oxidados.

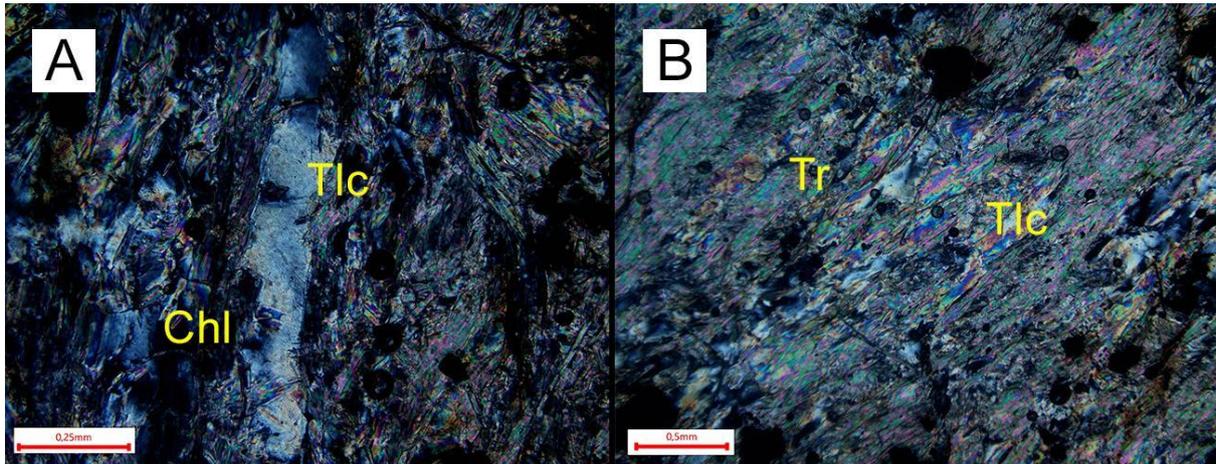


Figura 5.26: Fotos da lâmina TF22-III-4, todas a nicóis cruzados. A: Arranjo lepidoblástico, caracterizado pela direção preferencial do talco, que são intercaladas com clorita. B: Arranjo lepidoblástico com arranjo nematoblástico, caracterizado por talco e tremolita, respectivamente. Chl = Clorita, Tlc = Talco e Tr = Tremolita.

5.2 Metamorfismo

A partir da análise de campo, em conjunto com a análise petrográfica, mineralógica e deformacional, pôde-se interpretar sobre os processos metamórficos que aconteceram no Projeto Mara Rosa, em especial na Área III.

No contexto do Projeto, há uma intensa deformação na área, em que o metamorfismo chegou em fácies anfibolito, posteriormente sofrendo retrometamorfismo para fácies xisto verde. A Figura 5.27 evidencia o intervalo de pressão e temperatura que as unidades do Projeto foram submetidas.

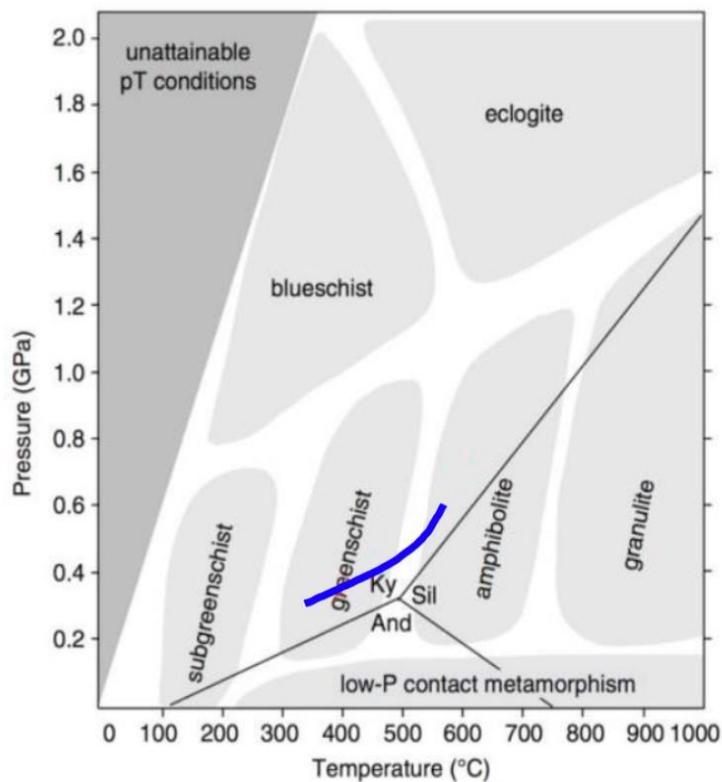


Figura 5.27: Diagrama de fácies metamórfica, em que o destaque azul, marca o intervalo de temperatura e pressão à qual o Projeto Mara Rosa foi submetido (Adaptado de Bucher & Grapes, 2011).

Para a Área III, o metamorfismo foi separado em Zona Oeste e Zona Leste. A primeira corresponde a influência de Santa Terezinha, enquanto a segunda é em decorrência de Mara Rosa (Figura 5.28).



Figura 5.28: Figura esquemática para representar onde se encontra cada zona de metamorfismo da Área III. A Zona Oeste representa a porção que abrange as unidades de Santa Terezinha, enquanto a Zona Leste possui as unidades pertencentes a Mara Rosa.

5.2.1 Metamorfismo na Zona Oeste

As rochas na porção oeste da Área III são pertencentes a Unidade Metassedimentar Psamo-Pelítica, da Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha, representada apenas por xistos, tendo quartzo-muscovita xisto como o principal e, subordinadamente, granada-quartzo xisto e granada-estaurolita-quartzo xisto, e, localmente, cianititos. Tal diversidade de xistos, portanto, sugere protólito pelítico e subordinadamente metapsamitos, por vezes intercalados.

A mineralogia dos xistos é composta, essencialmente, por quartzo, plagioclásio, muscovita, biotita, granada e clorita. Em uma amostra (TF22-III-51), há presença de estaurolita (cerca de 15%) e, em outra (TF22-III-33), actinolita (60% do total). Os minerais acessórios são: epidoto, zircão e cianita.

Com a análise mineralógica e petrográfica, é possível afirmar que o houve pico metamórfico em fácies anfíbolito prela presença de cianititos e cianita e estaurolita em alguns xistos (amostra TF22-III-51 e TF22-III-57), mas, em seguida, ocorreu retrometamorfismo para fácies xisto verde.

O quartzo-muscovita xisto e muscovita-quartzo xisto possuem metamorfismo em fácies xisto verde e sua paragênese mineral é composta por quartzo + muscovita + clorita.

A assembleia é composta, essencialmente, por domínios de quartzo e outros domínios de muscovita. De maneira geral, a lâmina TF22-III-54 não apresenta recristalização ou rotação de grãos de quartzo, tampouco contato poligonal entre eles. Portanto, a unidade pode ser caracterizada por condições de deformação em que a temperatura está em nível intermediário.

Os xistos subordinados, representados por granada-quartzo xisto e granada-estaurolita-quartzo xisto, possuem associações mineralógicas sendo:

- quartzo + plagioclásio + muscovita + biotita + granada

- quartzo + muscovita + biotita + granada
- granada + estaurolita + cianita

Os porfiroclastos de plagioclásio, observados nas amostras TF22-III-51 e TF22-III-57 apresentam teor de anortita variando entre 30 e 40, representando composição predominantemente de andesina (Figura 5.29). Tal mineral possui seus ocorrendo de forma subordinada junto aos domínios quartzosos.

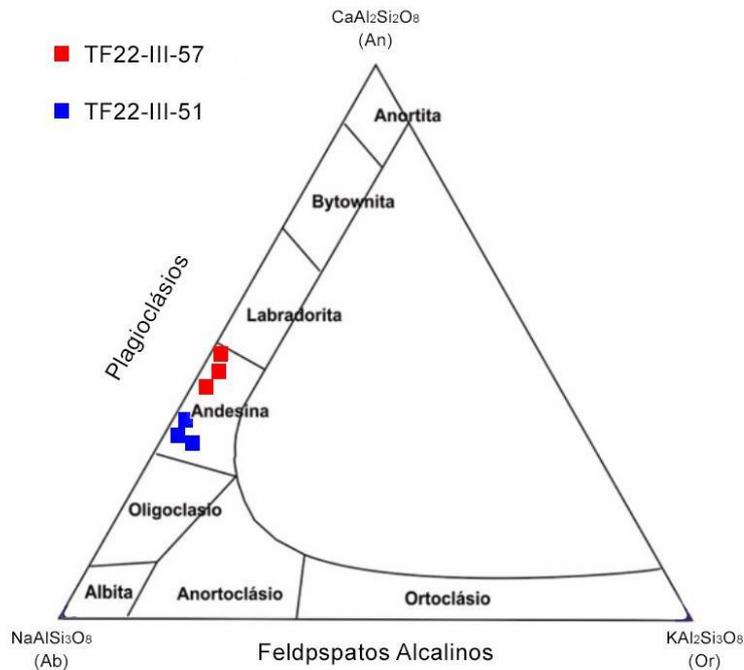


Figura 5.29: Diagrama An-Ab-Or para a classificação de feldspatos para os xistos subordinados em Santa Terezinha, com os teores de An calculados para cada ponto (Modificado de Deer *et al.*, 1963).

A partir da associação mineral principal, composta por granada e biotita, em que a clorita é raramente vista em equilíbrio, e baseado em Bucher & Grapes (2010), conclui-se que a biotita cristalizou por volta de 520° C e as granadas em 540° C. Além disso, com a presença de estaurolita, cianita e o plagioclásio sendo classificado como andesina, pôde-se afirmar que a fácies metamórfica varia entre xisto verde alto e anfibolito baixo.

O retrometamorfismo é caracterizado pelas feições da clorita, em que a biotita se altera para clorita, notada nas bordas dos grãos. O pico metamórfico ocorre com aparecimento de estaurolita e cianita, que não é observada em nenhum outro local de Santa Terezinha.

5.2.2 Metamorfismo na Zona Leste

No contexto da Área III, a zona leste possui grande diversidade de rochas, sendo classificadas como Leucogranitos Bom Jesus, Ortognaisses Mara Rosa, Metavulcânica Máfica e Metaultramáficas.

Em relação aos Leucogranitos Bom Jesus, não há paragênese diagnóstica de metamorfismo. Tais corpos são cristalizados em ambientes com alta pressão e temperatura, o que corrobora para uma mineralogia que seja estável nessas condições. Mesmo que não seja possível notar a paragênese mineralógica indicativa de algum processo metamórfico, foi possível observar início de milonitização. Porém, é importante ressaltar que há epidotização localmente, como visto no afloramento descrito em lâmina da rocha TF22-III-5.

Com o auxílio da análise petrográfica, notou-se que o plagioclásio possui teor de anortita entre 30 e 40, sendo classificado como andesina, e os cristais de quartzo tiveram recristalização e migração de borda de grão. Além disso, o contato na fração quartzo-feldspática, por vezes, é poligonal. Passchier & Trouw (2005) argumenta que, com todas essas características, o desenvolvimento deste mecanismo de deformação ocorre ao longo de uma condição de temperatura média, a partir de um intervalo entre 400°C a 500°C. Os mesmos autores ainda afirmam que, para os processos deformacionais nos feldspatos, a temperatura é atribuída entre 450 e 600° C.

Os Ortognaisses Mara Rosa são rochas metamórficas derivadas de protólito ígneo. Na Área III, esse protólito era por vezes máfico, por vezes intermediário, o que gerou variação na composição mineralógica e bandamento, podendo ser de composição diorítica a tonalítica.

A mineralogia é composta por quartzo, plagioclásio, biotita e muscovita, com ocorrências pontuais, de 10 a 25%, de granada e hornblenda e o epidoto, sendo de caráter metamórfico, assim como a clorita; os acessórios são compostos por zircão e pirita. As rochas, de maneira geral, não apresentam alteração visível, com os cristais preservando bem a textura original. Como um todo, essa unidade é caracterizada em fácies anfíbolito, mas com presença de biotita, portanto, estando fora do campo basáltico (Figura 5.30).

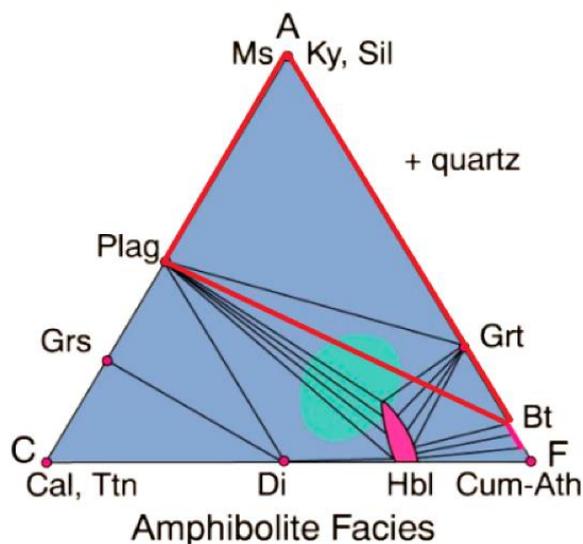


Figura 5.30: Diagrama ACF ilustrando a assembleia mineralógica principal em fácies anfibolito. A Área III contém ortogneisses com paragénese principal destacada pelo triângulo em vermelho com exceção da área em verde, sendo plagioclásio, muscovita, biotita e quartzo, com granada e hornblenda em pontos locais (Winter, 2001).

Já as rochas da Unidade Metavulcânica Máfica, são representadas pelos anfibolitos, finos a médios, sendo caracterizadas como hornblendito, talco anfibolito e actinolito. Além da presença de anfibólios, a mineralogia também era composta por plagioclásio, epidoto e clorita, em que foi possível notar retrometamorfismo em fácies xisto verde pela clorita. O plagioclásio possui 40 como teor de anortita, então classificado como andesina. Após análise mineralógica e petrográfica, concluiu-se que o protólito seria o metabasalto, em fácies anfibolito, com paragénese mineral composta por plagioclásio + hornblenda, em temperaturas de metamorfismo acima de 550° C.

Por fim, a Unidade Metaultramáfica é composta por tremolita-talco xisto, clorita-talco xisto e talco-clorita xisto, com mineralogia representada por talco, tremolita-actinolita (em solução sólida, ferro magnésiana), clorita e pseudomorfos de pirita. O metamorfismo nessa unidade é caracterizado em fácies anfibolito com retrometamorfismo para fácies xisto verde, em que a paragénese mineral é feita por actinolita + tremolita + talco + clorita, sendo metamorfismo com temperatura entre 450 e 550° C, a depender da pressão existente no sistema.

Capítulo 6 - Geologia Estrutural

O capítulo de Geologia Estrutural engloba a análise estrutural do Projeto Mara Rosa e, com maior detalhe, a Área III, além das descrições e interpretações das estruturas geológicas vistas em campo. Por fim, será apresentado a sequência dos eventos deformacionais vistos na Área III.

6.1 Domínios Estruturais do Projeto Mara Rosa

Os domínios estruturais no Projeto Mara Rosa foram definidos e marcados pelos critérios espaciais, geométricos e tipológicos, todos relativos às estruturas que foram observadas e descritas. Aliado a isso, a orientação preferencial das estruturas, sejam planares ou lineares, sua natureza, idade e estilo deformacional, além da aerogeofísica e sensoriamento remoto, puderam corroborar para a delimitação dos domínios.

No Projeto Mara Rosa, a estruturação é caracterizada pela heterogeneidade, em que os eventos deformacionais são datados de paleo a neoproterozoicos, com lineamentos quilométricos de orientação preferencial N/S e NE/SW-E/W, respectivamente. A partir disso, puderam ser classificados quatro domínios estruturais para a área de estudo (Figura 6.1).

Os quatro domínios estabelecidos são: Transbrasiliano, na porção noroeste (Áreas I, II e VII); Mara Rosa, predominante no projeto (todas as áreas); Bom Jesus, seccionando a porção central do domínio Mara Rosa (IV a IX e XI); e Campinorte, ao extremo sudeste (Área X).

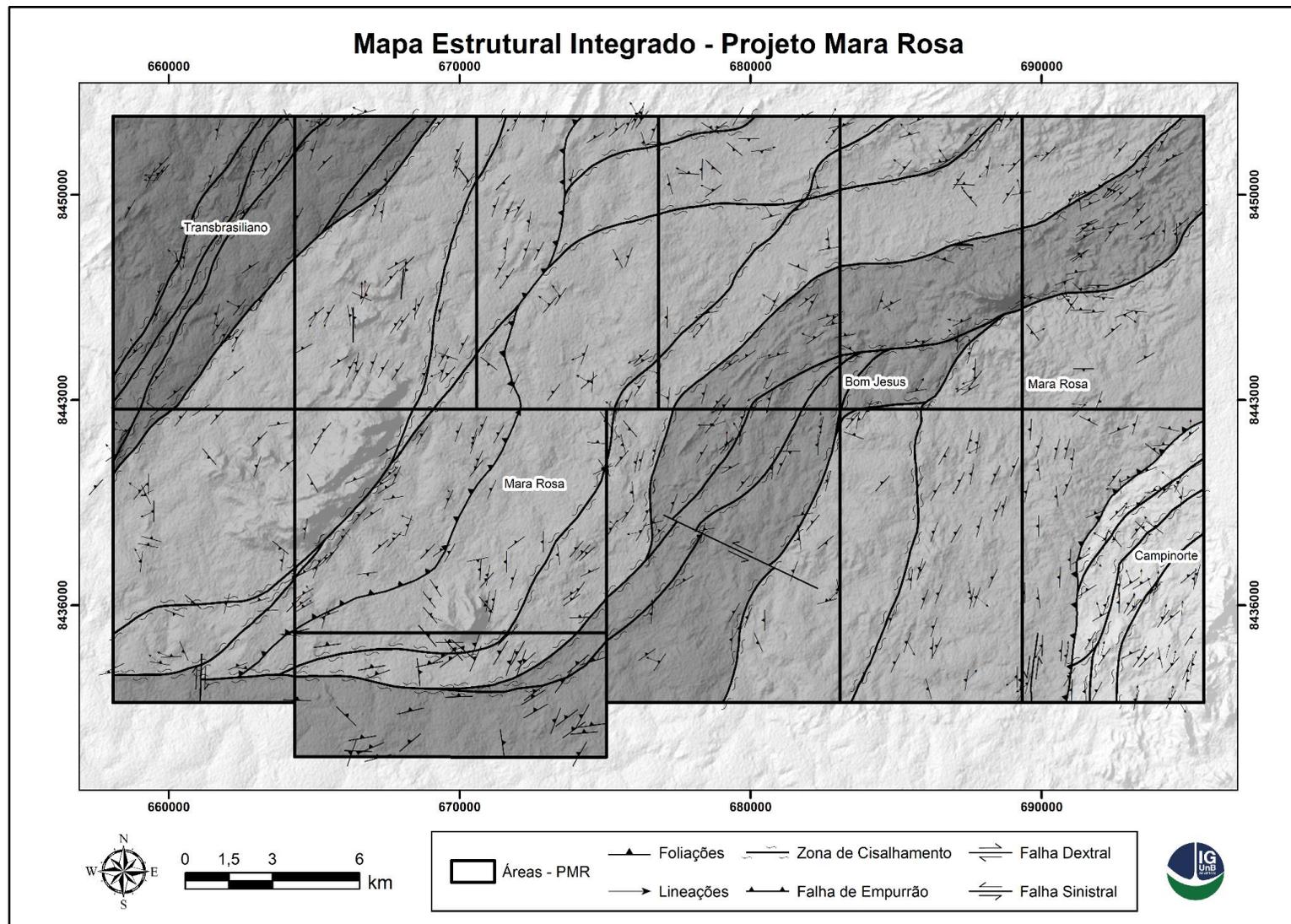


Figura 6.1: Mapa Estrutural Integrado do Projeto Mara Rosa, evidenciando os domínios estruturais definidos para a região.

6.1.1 Domínio I - Transbrasiliano

O Domínio I intitulado como Transbrasiliano situa-se no extremo noroeste da área mapeada (Figura 6.1), correspondendo a 9% e sendo caracterizado pelas rochas metapelíticas da Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha. Ele é separado do Domínio II pela Zona de Cisalhamento Compressional Varalzinho (Fuck *et al.*, 2007).

Esse domínio define-se por uma certa homogeneidade da distribuição das estruturas planares, representada por foliações com direção preferencial NE/SW que tendem a acompanhar a geometria desse compartimento. As foliações de direção NE/SW apresentam predominantemente mergulhos suaves a moderados (30-60°) para NW (Figura 6.2 A).

Essas estruturas são predominantemente xistosidades, sendo cerca de 90% das medidas, e os outros 10% são bandamentos gnáissicos. Essas foliações se associam a uma lineação de estiramento na direção do mergulho da foliação, com caimento para NW entre 40-80° (Figura 6.2 B). Ocorrendo de forma mais restrita, ao centro do domínio, define-se foliação subvertical com mergulhos entre 70-80° que definem corredores transcorrentes de direção NE. Por fim, esse domínio tem como característica principal a presença de zonas de cisalhamento, como a Zona de Cisalhamento Compressional Vargem Grande (Fuck *et al.*, 2007), com forte influência do lineamento transbrasiliano.

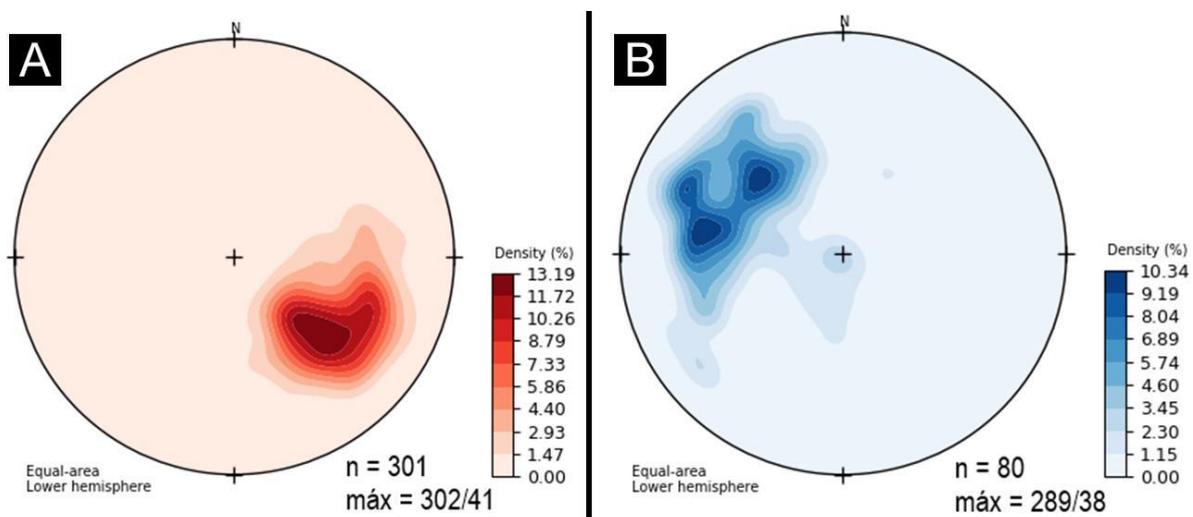


Figura 6.2: Estereogramas referente ao Domínio Estrutural I - Transbrasiliano. A: Estereograma com densidade de pólos de foliações mergulhando 30 a 60° para NW. B: Estereograma com a densidade das medidas de lineação destacando os caimentos de 40 a 80° para NW.

6.1.2 Domínio II - Mara Rosa

O Domínio II intitulado como Mara Rosa contempla a maior porcentagem da área mapeada pelo Projeto Mara Rosa, correspondendo a 67% e sendo caracterizado por rochas pertencentes a Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha de Goiás e Mara Rosa, e pelos plútons Faina e Amarolândia. A oeste limita-se pela Zona de Cisalhamento Varalzinho e a leste pela Zona de Cisalhamento Rio dos Bois.

Esse domínio define-se por uma certa heterogeneidade da distribuição das foliações com duas direções preferenciais: (i) foliações com direção NE-SW no setor oeste e (ii) foliações com direção N/S no setor leste. As foliações de direção NE/SW apresentam mergulhos moderados ($30-60^{\circ}$) (Figura 6.3A) para NW e as de direção N/S apresentam mergulhos moderados a altos ($>60^{\circ}$) para W (Figura 6.3C).

Essas estruturas são representadas por foliações de anfibólitos e leucogranitóides (50-60%), bandamentos gnáissicos (15-20%) e xistosidades (20-25%). As lineações características para o setor oeste apresentam caimento suave ($<30^{\circ}$) principalmente para WSW e localmente suave a moderado ($15-45^{\circ}$) para NW (Figura 6.3B). Já as lineações do setor leste apresentam caimento suave ($<30^{\circ}$) para SW, aparentando ser oblíquas à foliação N-S (Figura 6.3D).

Dentro do domínio ocorrem, de oeste para leste, as zonas de cisalhamento Serra do Faina, Rio Formiguinha/Amaralina e Garimpo do Mundinho. No setor centro-leste desse domínio foi definido o Domínio Bom Jesus, que abrange as zonas de cisalhamento Serra de Bom Jesus e Rio Formiga, descrito na seção 6.3 (Fuck *et al.*, 2007; Oliveira *et al.*, 2007).

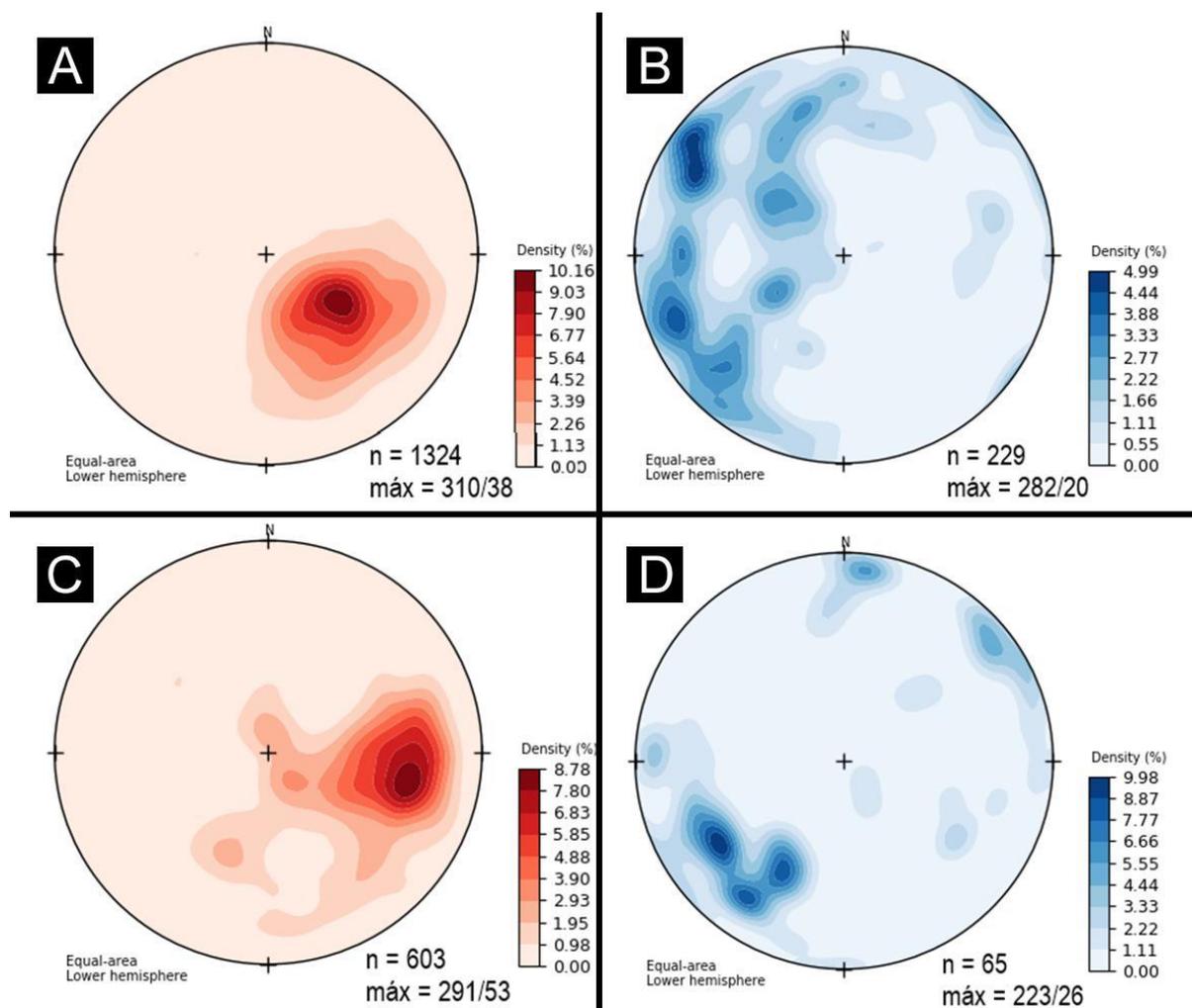


Figura 6.3: Estereogramas referente ao Domínio Estrutural II - Mara Rosa. A: Estereograma com densidade de pólos de foliações mergulhando 30 a 60° para NW; B: Estereograma com a densidade das medidas de lineação destacando os caimentos de suaves a moderados (15-45°) para WSW e NW. C: Estereograma com densidade de pólos de foliações mergulhando >60° para W; D: Estereograma com a densidade das medidas de lineação destacando os caimentos de <30° para SW.

6.1.3 Domínio III - Bom Jesus

O Domínio III intitulado como Bom Jesus contempla 20% da área mapeada sendo caracterizado por um corredor de cisalhamento que se estende de NE a SW e separa os setores leste e oeste do Domínio Mara Rosa. Este domínio é caracterizado por rochas pertencentes a Unidade Hidrotermal, aos Ortognaisses Mara Rosa e às Metavulcanossedimentares Mara Rosa, cuja orientação geral é NE/SW, porém nos setores centro-leste e sudoeste da área sofre uma inflexão para E-W, sendo que esta possui correlação com a morfologia da crista da Serra de Bom Jesus.

O padrão de direções das foliações define a orientação do domínio, havendo duas direções preferenciais: (i) foliações com direções NE/SW e (ii) foliações com direções E/W. As foliações de direção NE/SW (Figura 6.4A) apresentam mergulhos moderados (30-60°) para NW, sendo representadas por foliações de anfíbolitos, calcissilicáticas e leucogranitóides (35%), xistosidades (35%) e bandamentos gnáissicos (30%). As lineações associadas a direção NE/SW apresentam-se com caimento suave (<15°) para NNE, sendo paralelas às direções das foliações (Figura 6.4B) e, localmente, com caimento de 20° para SW.

Já as estruturas de direção E/W (Figura 6.4C) apresentam mergulhos moderados (30-60°) para NNW e são representados pelas foliações de anfíbolitos, calcissilicáticas e leucogranitóides (70%), bandamentos gnáissicos (20%) e xistosidades (10%). As lineações associadas a direção E/W apresentam-se com caimento suave (>15°) para NE, sendo que as lineações estão oblíquas às foliações (Figura 6.4D).

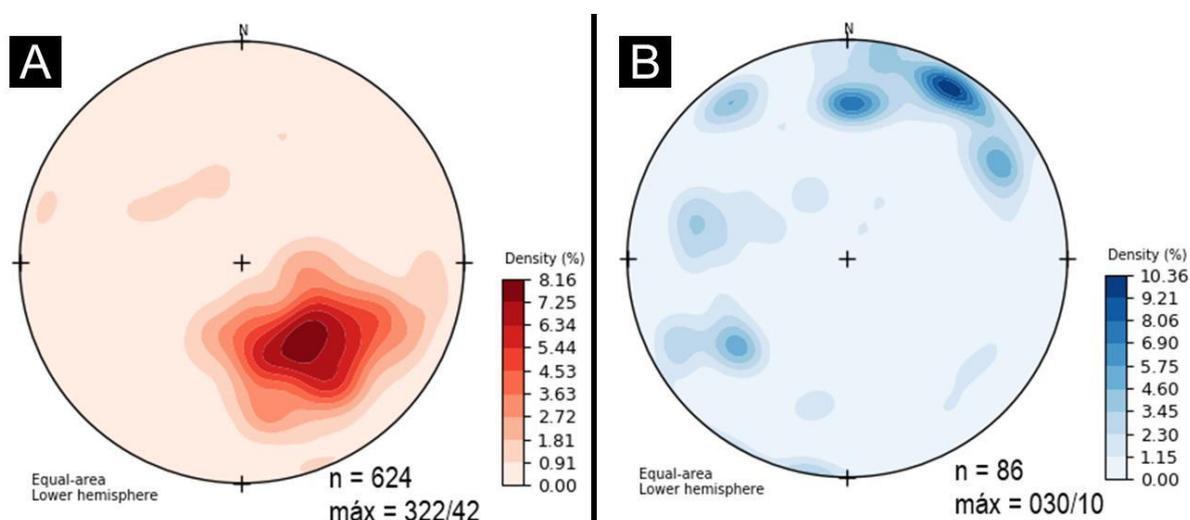


Figura 6.4: Estereogramas referente ao Domínio Estrutural III - Bom Jesus. A: Estereograma com densidade de pólos de foliações mergulhando 30 a 60° para NW. B: Estereograma com a densidade das medidas de lineação destacando os caimentos de <15° para NNE e localmente de 20° para SW. C: Estereograma com densidade de pólos de foliações mergulhando 30 a 60° para NNW. D: Estereograma com a densidade das medidas de lineação destacando os caimentos de <15° para NE.

6.1.4 Domínio IV - Campinorte

O Domínio Campinorte, delimitado na porção sudeste da Área X, apresenta geometria de faixa arqueada, com orientação N/S e inflexão para NE/SW em sua porção norte, representando cerca de 4% da área do projeto. Sua estruturação principal é definida pelas feições observadas nas rochas da Sequência

Metavulcanossedimentar Campinorte, Suíte Pau de Mel e Grupo Serra da Mesa, sendo marcada por foliações do tipo xistosidade, milonítica e ultramilonítica. Embora possua zonas de cisalhamento em seu interior, elas não foram utilizadas como divisores para demais domínios, pois não apresentam modificações significativas no padrão deformacional da região.

Esse domínio apresenta três direções preferenciais de foliação, a saber, uma foliação (i) N/S, observada a sul e oeste no domínio, uma foliação (ii) NE/SW, vista ao longo de todo o domínio, e uma foliação (iii) E/W, descrita na porção central. A relação entre ambas se dá pela predominância da foliação NE/SW, com as demais direções subordinadas, associadas à inflexão regional observada na zona de falha Rio dos Bois e aos corredores de cisalhamento N/S (Figura 6.1).

O *trend* N/S pode ser correlacionado aos corredores de cisalhamento dúctil-rúpteis de mesma orientação, desenvolvidos em uma tectônica pré-brasiliana. A estruturação N-S é marcada por mergulho moderado para W (30° a 50°) e lineações de estiramento mineral associadas, com caimento de até 40° para norte.

Já o *trend* NE/SW ocorre de forma predominante no Domínio Campinorte, associado ao evento deformacional transbrasiliano. Estes planos apresentam mergulho variável para NW, entre 30° e 80° aproximadamente, conforme a proximidade com as zonas de cisalhamento e com a Falha Rio dos Bois. Assim como a foliação anterior, o NE/SW também compreende uma série de lineações de estiramento mineral, com baixo ângulo de caimento para norte.

Por fim, o *trend* E/W, de ocorrência local, encontra-se evidenciado na porção centro-norte do domínio, ocorrendo associado às inflexões regionais, evidentes nas bordas dos corpos graníticos da Suíte Pau de Mel. Há, ainda, associada a essa direção, lineações de estiramento de ângulo moderado, variando de 25° a 35° para o quadrante NW.

O estereograma de foliação referente a este domínio (Figura 6.1A) evidencia as três principais direções de foliação, ambas com mergulho moderado, variando em maioria entre 45° e 60° . Já o estereograma de lineações (Figura 6.1B) demonstra o caimentos destas feições em baixo ângulo para norte.

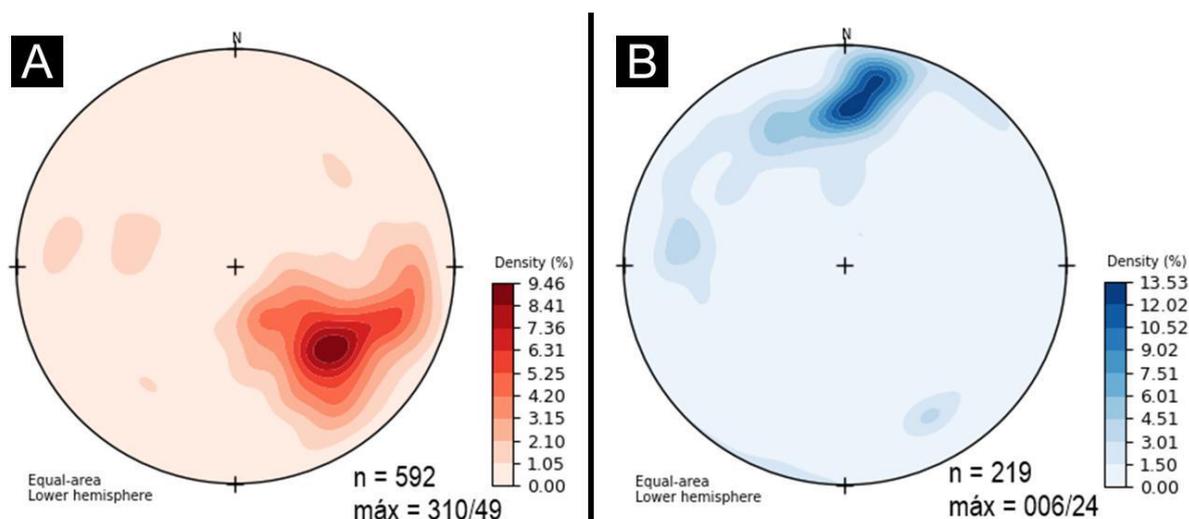


Figura 6.5: Estereogramas referente ao Domínio Estrutural IV - Campinorte. A: Estereograma com densidade de pólos de foliações mergulhando 30° a 80° para NW. B: Estereograma com a densidade das medidas de lineação destacando os caimentos de 0° a 40° para N.

6.2 Geologia Estrutural Local

A Área III está situada no domínio Mara Rosa do Projeto Mara Rosa (Figura 6.1), sendo a única área do projeto que possui apenas um domínio estrutural. A partir disso, pôde-se chegar a uma interpretação sobre os eventos deformacionais que aconteceram na região.

Apesar de haver apenas um domínio estrutural na Área III, as rochas possuem grande diferença entre si, por se tratar de uma região de contato entre a Sequência Santa Terezinha e a Sequência Mara Rosa, separadas por uma falha de empurrão, chamada Amaralina.

O domínio Mara Rosa engloba rochas graníticas e xistosas, na porção centro-oeste (Figura 6.6A), de estruturação NE/SW, majoritariamente, com pontos locais em que há inversão da direção para NW/SE, ao sul da área.

Na porção centro-leste (Figura 6.6B), separada pela falha Amaralina, as rochas são de composição tonalíticas a dioríticas, em ortognaisses, anfíbolitos e xistos, com *trend* principal NE/SW, de caimento um pouco mais elevado se comparado ao domínio anterior.

Ao longo do trabalho em campo, foi possível, em virtude dos afloramentos, encontrar a direção cinemática preferencial das estruturas, assim como analisar geograficamente o comportamento das foliações e lineações, que possuem uma direção preferencial.

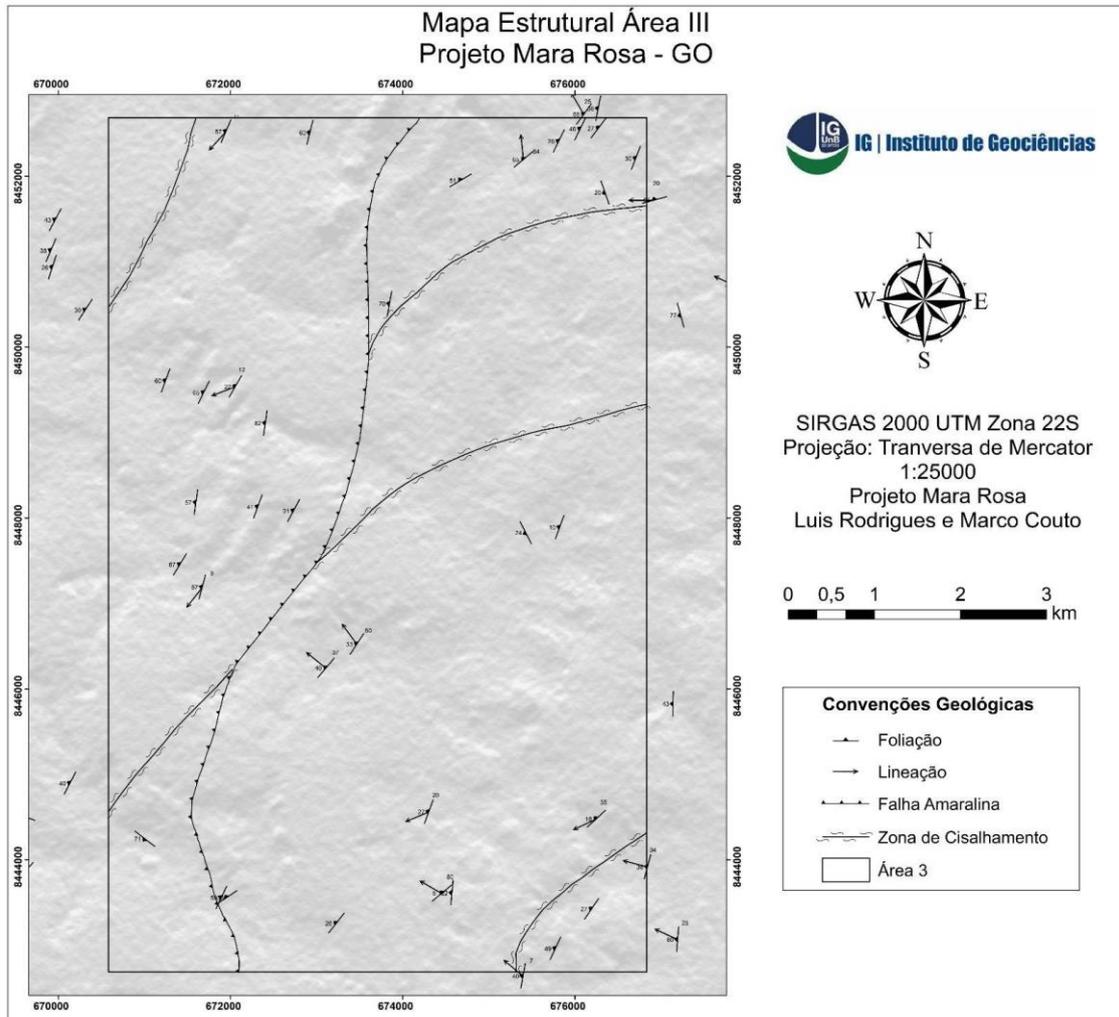


Figura 6.6: Mapa Estrutural da Área III do Projeto Mara Rosa, representando o único domínio presente na área, denominado domínio Mara Rosa.

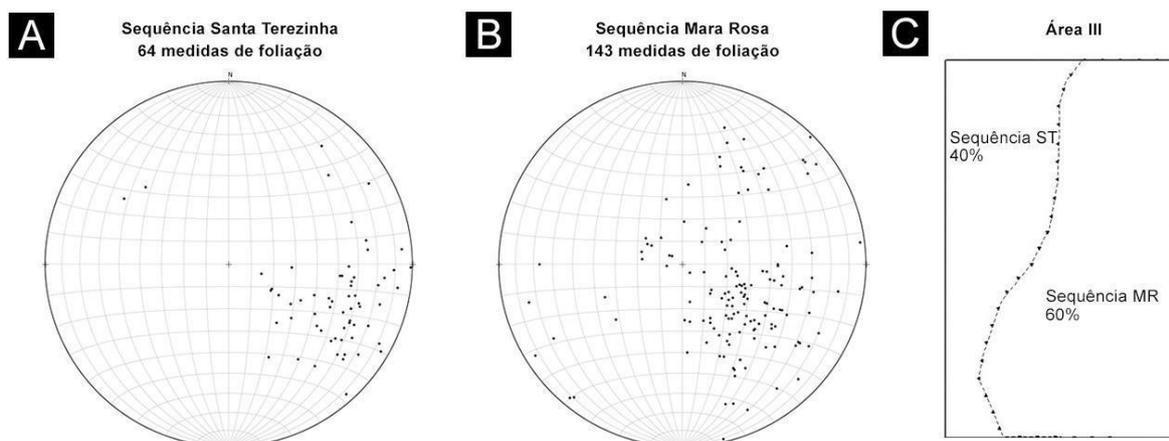


Figura 6.7: Estereogramas de foliações correspondentes ao domínio Mara Rosa. A: Foliação correspondente a Sequência Santa Terezinha. B: Foliação correspondente a Sequência Mara Rosa. C: Figura esquemática representativa da Área III, indicando o comportamento e localização dos domínios estruturais presentes. ST: Santa Terezinha. MR: Mara Rosa.

Após a análise do domínio, pode-se constatar que possui foliação S_n direcionada em NE/SW com ângulo de mergulho próximo a 60° , com lineações de caimento para S/SW. As dobras não são representativas para a área, pois ocorrem apenas em afloramentos pontuais e sendo de tamanho centimétrico.

A cinemática das estruturas, bem como a descrição geométrica, irá condicionar a caracterização das unidades, além de possibilitar entender o seu comportamento. A partir dessas informações, um quadro único, explicando toda a estrutura e deformação do Projeto Mara Rosa, será apresentado.

6.2.1 Trama Dúctil

6.2.1.1 Foliações

Na Área III, as rochas foram agrupadas em dois tipos de foliação, chamadas de S_n e S_{n+1} , com ocorrência ao longo de todo o domínio estrutural. A orientação preferencial é pautada em NE-SW, com mergulho entre 40 e 60 graus, em média (Figura 6.8). A foliação S_n corresponde a todo tipo de acamamento composicional visto nos afloramentos da área, enquanto S_{n+1} diz respeito a foliação de crenulação.

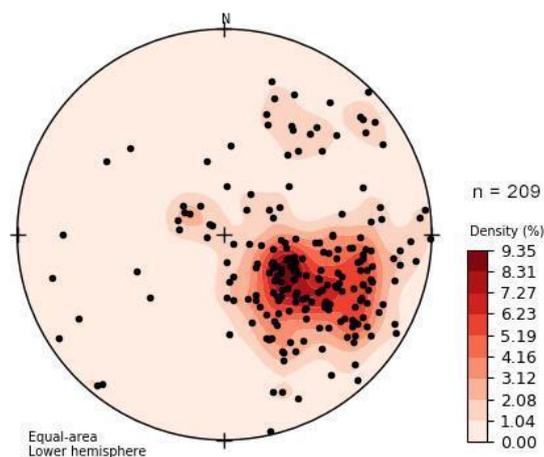


Figura 6.8: Projeção estereográfica para as medidas dos pólos (209 no total) de foliação obtidas para S_n e S_{n+1} . É possível notar concentração na região SE.

Na Sequência Santa Terezinha, as rochas apresentam foliação S_n em *trend* geral NE/SW, com mergulho entre 40 e 65° (Figura 6.10), de maneira geral, ocorrendo na forma de xistosidade por toda a área.

Nos xistos da Sequência Santa Terezinha (Figura 6.9), a foliação é marcada pela xistosidade, sendo ela contínua ou descontínua, em que sua orientação é dominada e definida pelos minerais micáceos (muscovita, biotita e, localmente, clorita). Além disso, há porções de domínio quartzoso, que também delimitam bem a foliação S_n . Por fim, também se nota porfiroblastos de granada e textura *mica fish*, que são feições típicas de processo de milonitização.

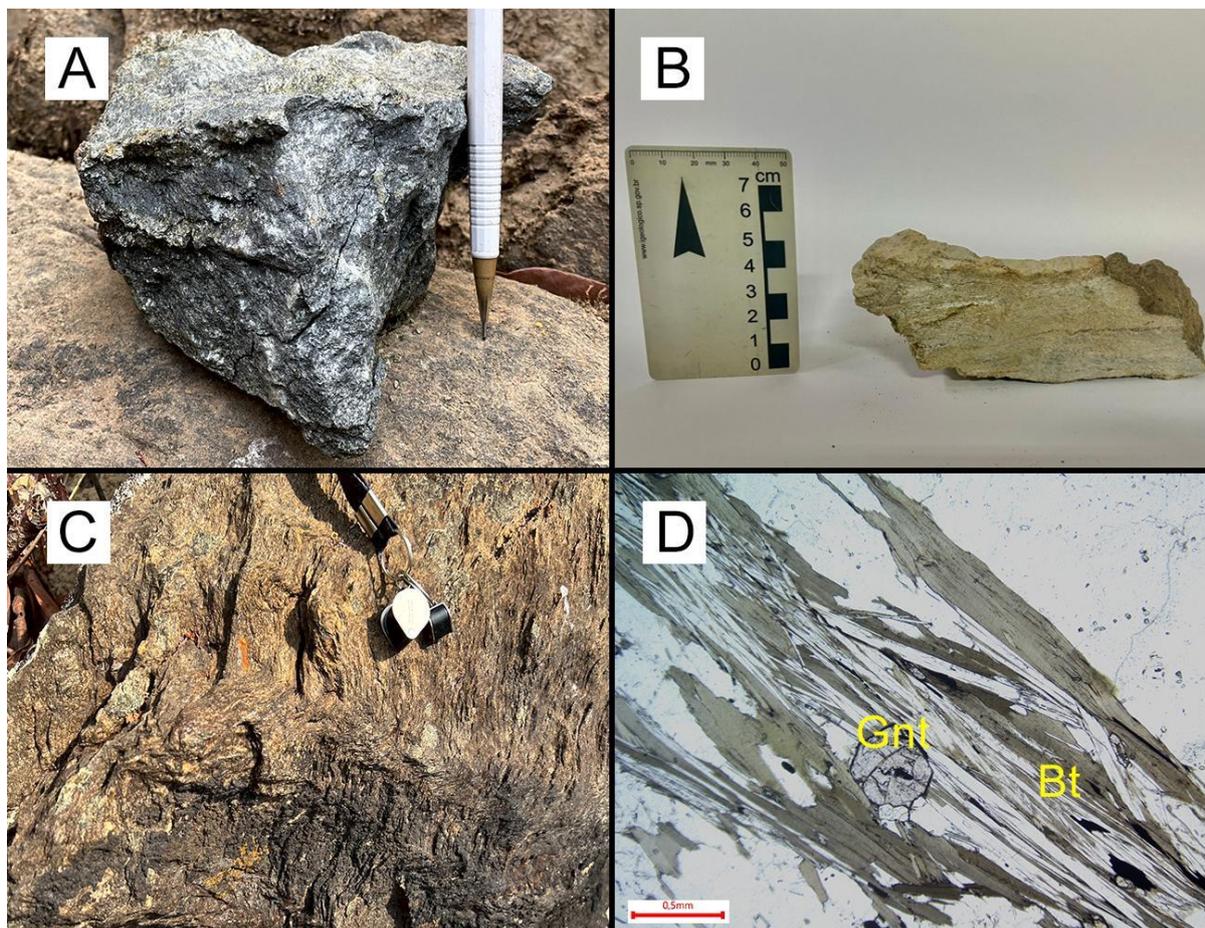


Figura 6.9: A: Anfibólio xisto, com textura nematoblástica evidenciada pela hornblenda, além de domínios com minerais micáceos, formando textura lepidoblástica (TF22-III-33). B: Rocha classificada como quartzo-muscovita xisto, com foliação bem marcada pelos minerais micáceos (TF22-III-38). C: Afloramento de quartzo-muscovita xisto com visível crenulação (TF22-III-54). D: Microfotografia em que é possível notar a textura *mica fish*, na qual os cristais de biotita estão cavalgando sob o outro (TF22-III-57).

O estereograma dos pólos de foliação da Sequência Santa Terezinha repete o mesmo comportamento das foliações em geral encontradas na Área III, com maior concentração na região SE.

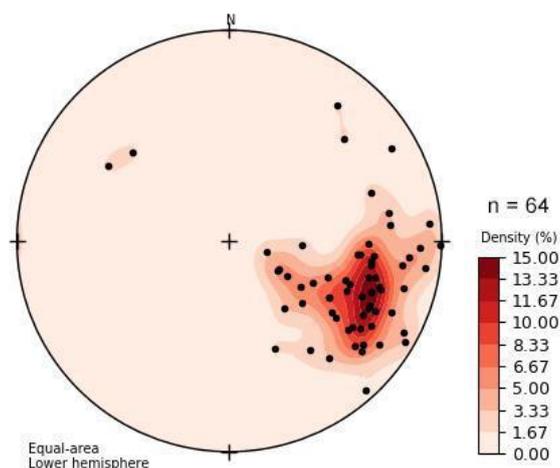


Figura 6.10: Projeção estereográfica para as medidas dos pólos (64 no total) de foliação obtidas para a Sequência Santa Terezinha, observando concentração na região ESE/SE.

Na Sequência Mara Rosa, as rochas possuem foliação de *trend* geral NE/SW e mergulho variando entre 30 e 60°, com poucas exceções (Figura 6.14). Tal foliação ocorre na forma de bandamentos composicionais e/ou tectônicos nos Ortognaisses Indiferenciados (Figura 6.11), como xistosidade na Unidade Ultramáfica (Figura 6.12) e como acamamento, com a orientação preferencial dos anfibólios, na Unidade Metavulcânica Máfica (Figura 6.13). Essa grande variação de morfologia e intensidade acontece devido a forma diferente como a deformação aconteceu em cada área, bem como o comportamento reológico que cada rocha possui.

A principal foliação nos Ortognaisses ocorre na forma de bandamento composicional ou gnáissico, de tamanho milimétrico a centimétrico, em que é possível observar as frações quartzo-feldspáticas intercaladas com frações máficas, composta por anfibólio, ou frações micáceas, com muscovita e biotita.



Figura 6.11: A: Bandamento composicional muito bem evidenciado no ortognaisse de composição diorítica (TF22-III-62). B: Bandamento composicional entre frações quartzo-feldspáticas e frações máficas, compostas por anfibólios (TF22-III-44).

Os xistos ocorrem de forma isolada, ao extremo nordeste da Área III, em que a xistosidade é marcada pela orientação preferencial dos minerais filossilicatos, como talco, clorita e muscovita.



Figura 6.12: A: A rocha, classificada como tremolita-talco xisto, apresenta foliação como xistosidade, dominada pelos minerais micáceos e com leve crenulação (TF22-III-4). B: Classificada como talco-tremolita xisto, a rocha possui orientação preferencial devido aos minerais micáceos, além de pseudomorfos de pirita e oxidação presente (TF22-III-150).

Nos anfibolitos da Área III, a foliação é marcada pela orientação dos anfibólios, como hornblenda, tremolita e actinolita, que ainda possuem fração quartzo-feldspática em sua composição.

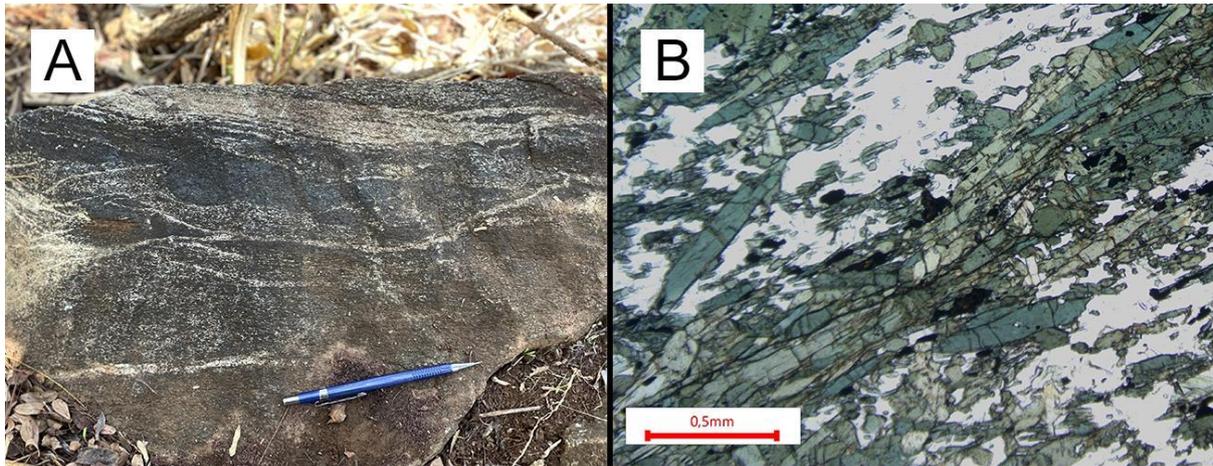


Figura 6.13: A: Rocha classificada como anfibolito, em que é possível notar maior foliação nas bordas e aumento da granulometria ao centro, indicando resfriamento mais rápido (TF22-III-136). B: A rocha, classificada actinolítico, evidencia a textura nematoblástica, em que os cristais de anfibólio têm uma orientação preferencial em uma direção (TF22-III-96B).

No contexto da Área III, a Sequência Mara Rosa apresenta tendência geral NNE/SSW, levemente diferente do contexto geral, que é visto como NE/SW.

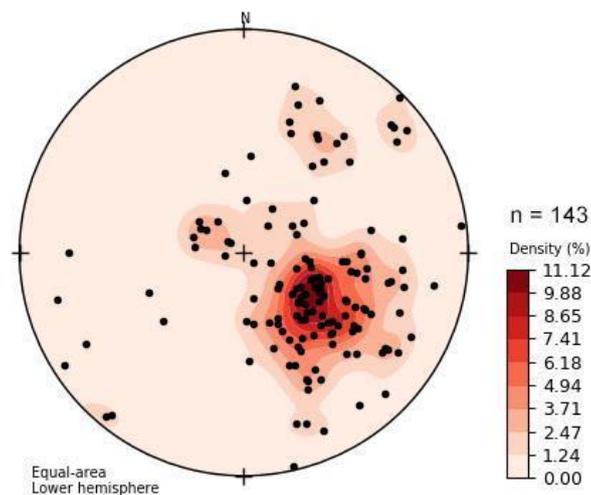


Figura 6.14: Projeção estereográfica para as medidas dos pólos (143 no total) de foliação obtidas para a Sequência Mara Rosa, com maior concentração em SE, mas outros pontos em NE.

A outra foliação encontrada na área é a S_{n+1} . Tal foliação é marcada pela orientação preferencial de minerais micáceos, que acabam truncando a foliação S_n , gerando marcas onduladas, como lineação de crenulação e clivagem de crenulação. Localmente, foi possível notar microdobras em alguns afloramentos. Na análise

microestrutural, por meio das seções delgadas, pode-se confirmar o que foi visto em campo, no qual notou-se crenulações.

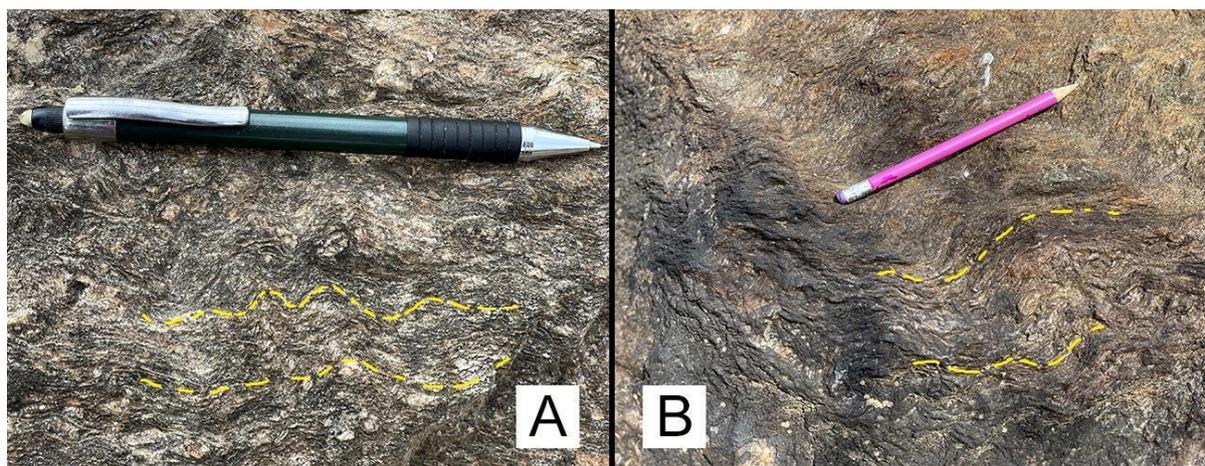


Figura 6.15: Em amarelo, tanto em A (TF22-III-56) como em B (TF22-III-54), é possível observar a presença da foliação S_{n+1} com suas lineações de crenulação.

6.2.1.2 Lineações

Com a descrição dos afloramentos em campo, as feições lineares da Área III puderam ser divididas em lineação mineral (L_n), de estiramento mineral (L_x) e de crenulação (L_c), em que o *trend* estrutural está orientado, preferencialmente, em SE/NW, com mergulho de ângulo baixo para SW (Figura 6.17A). É importante ressaltar que as lineações ocorrem nos dois domínios estruturais, porém, na Sequência Santa Terezinha, ocorrem no *strike* da foliação, enquanto na Sequência Mara Rosa ocorre de forma frontal a foliação.

A lineação mineral (L_n), caracterizada pela orientação principal de minerais que possuem hábito prismático e/ou alongado, foi a mais observada no trabalho em campo. Os minerais que mais a definiram foram as frações quartzosas, micáceas e de anfibólio. Preferencialmente, tal lineação possui camadas com atitude no intervalo de 195 a 247° e ângulo de mergulho baixo, com valores entre 5 e 20° (Figura 6.17B).

A lineação de estiramento (L_x) é definida pela forma deformacional que os grãos se encontram, sejam eles alongados e/ou estirados. Isso foi visto em campo, em pouquíssimos afloramentos, pelas feições quartzosas, como em dioritos da Sequência Mara Rosa, em planos de foliação de xisto e feições micáceas orientadas, da Sequência Santa Terezinha, em que a atitude das camadas varia entre 190 e 204° ,

com ângulo de mergulho entre 9 e 34° (Figura 6.17C). Isso pode ser um indicador de componente compressiva durante o processo de colagem dos arcos.

Por fim, a lineação de crenulação (Lc), marcada por linhas que formam microdobras em frações micáceas, foi identificada, incipiente ou não, em afloramentos de quartzo-muscovita xisto na Sequência Santa Terezinha, porém, em apenas um foi possível definir a atitude da camada, com valor de 189° e caimento em 11°, visto no afloramento TF22-III-167 (Figura 6.17D).

De modo geral, as lineações minerais apresentam angulação baixa, o que indica que estão associadas ao empurrão existente entre a Sequência Santa Terezinha e a Sequência Mara Rosa. Na Santa Terezinha, as linhas possuem direção SW, enquanto no Mara Rosa apresentam-se nas direções NW e SW.

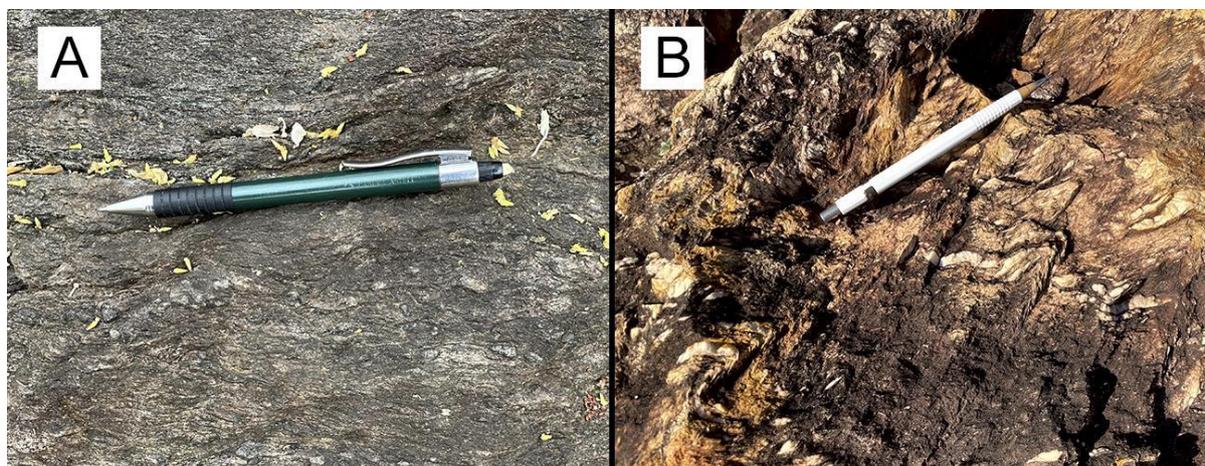


Figura 6.16: A: A lineação de estiramento (Lx) é definida pelo estiramento dos grãos micáceos na rocha (TF22-III-57). B: A lineação de crenulação formou microdobras e foliação do tipo S-C (TF22-III-167).

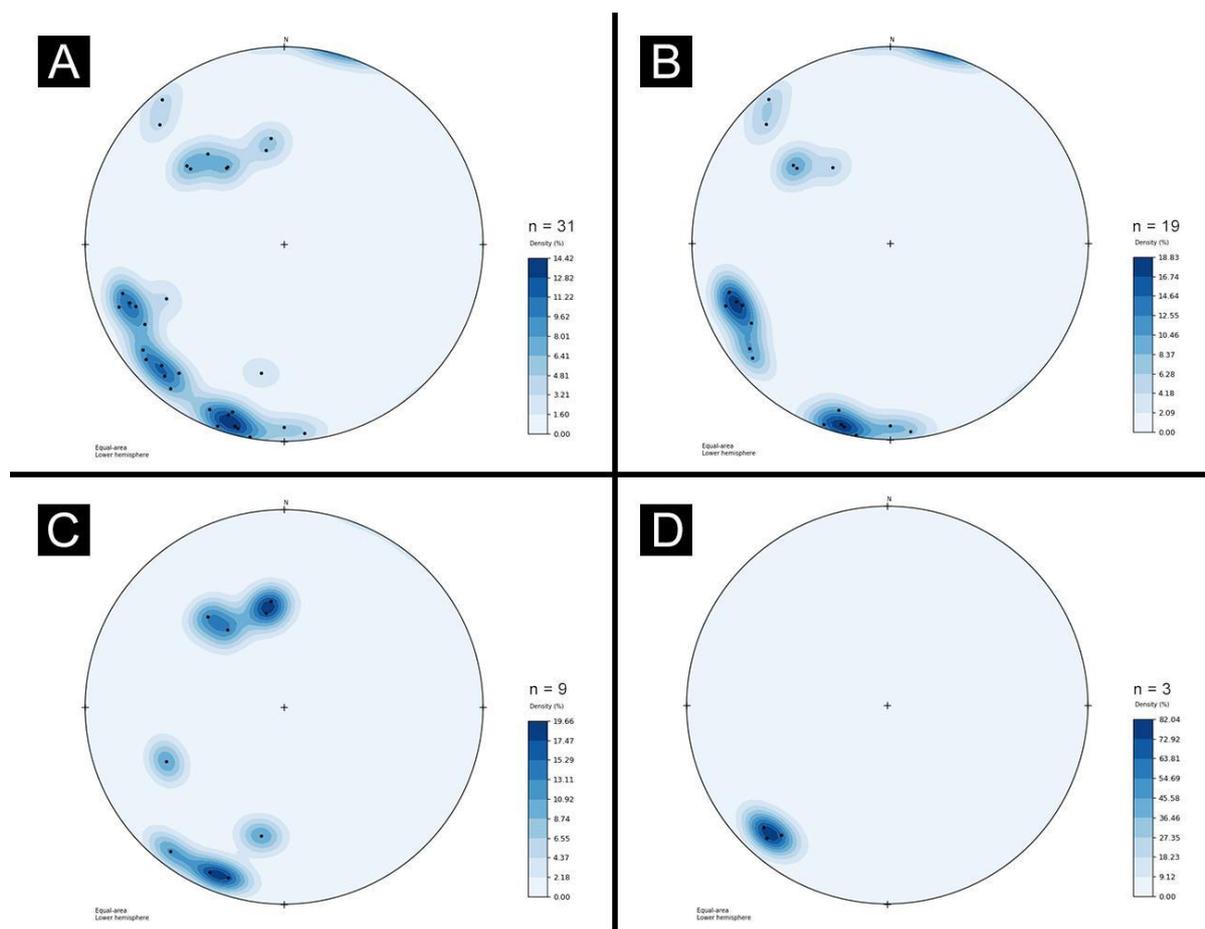


Figura 6.17: Projeção estereográfica para as medidas de lineação obtidas em quatro imagens. A: Estereograma com todas as lineações (n=31). B: Estereograma com lineações minerais (n=19). C: Estereograma com lineações de estiramento (n=9). D: Estereograma com lineações de crenulação (n=3).

6.2.1.3 Indicadores Cinemáticos

Ao longo do estudo na Área III, alguns afloramentos apresentaram indicadores cinemáticos em meio a sua foliação, principalmente na parte da Sequência Santa Terezinha, em meio a xistosidade. Na Sequência Mara Rosa também foi possível encontrar indicadores cinemáticos.

Os indicadores cinemáticos estavam envolvidos pela foliação, sem que fizessem alguma deformação ou a truncassem. Por isso, foram classificados como sigmóides, em que é possível notar a movimentação destral.

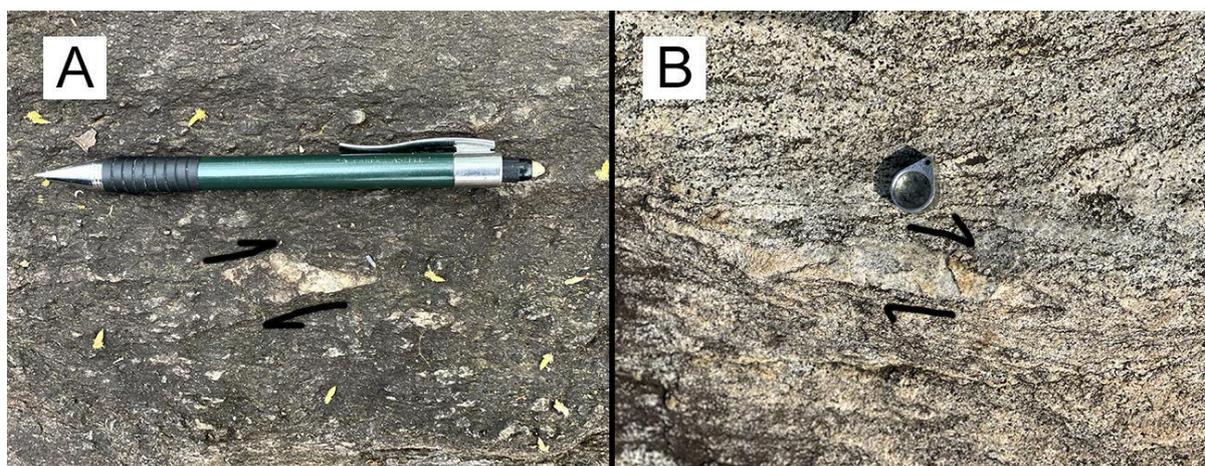


Figura 6.18: A: Sigmóide em granada-quartzo xisto, com orientação destal, indicado em preto (TF22-III-57). B: Sigmóide em afloramento de ortognaisse de composição tonalítica, indicando movimentação destal, indicado em preto (TF22-III-74).

Além dos sigmóides, a foliação do tipo S-C também foi bastante encontrada no domínio Mara Rosa, especialmente nos ortognaisse de composição diorítica a tonalítica.

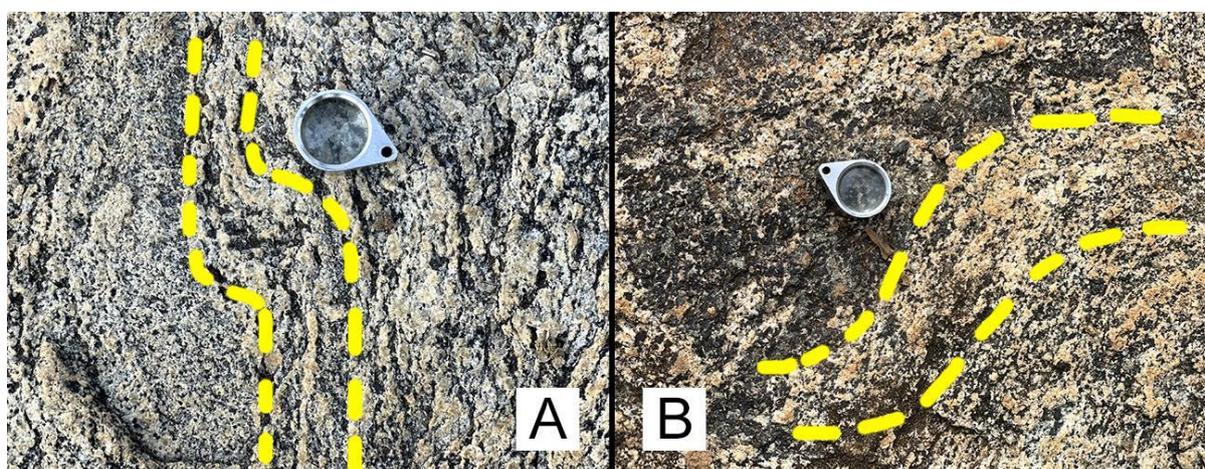


Figura 6.19: A (TF22-III-74) e B (TF22-III-86): As duas rochas, classificadas como ortognaisse de composição tonalítica, apresentam foliação do tipo S-C (indicado pelo tracejado em amarelo), próximos a lupa em cada figura, em que a ponta da lupa está direcionada para o norte.

6.2.1.4 Dobras

A Área III apresentou poucas dobras ao longo de todos os afloramentos encontrados, não sendo representativas tanto para o mapeamento da área quanto para o contexto geral do Projeto Mara Rosa.

Uma dobra centimétrica na Sequência Santa Terezinha foi vista, em afloramento de quartzo-muscovita xisto, na porção centro-oeste da área. Foi classificada como horizontal moderadamente inclinada, aberta e assimétrica.

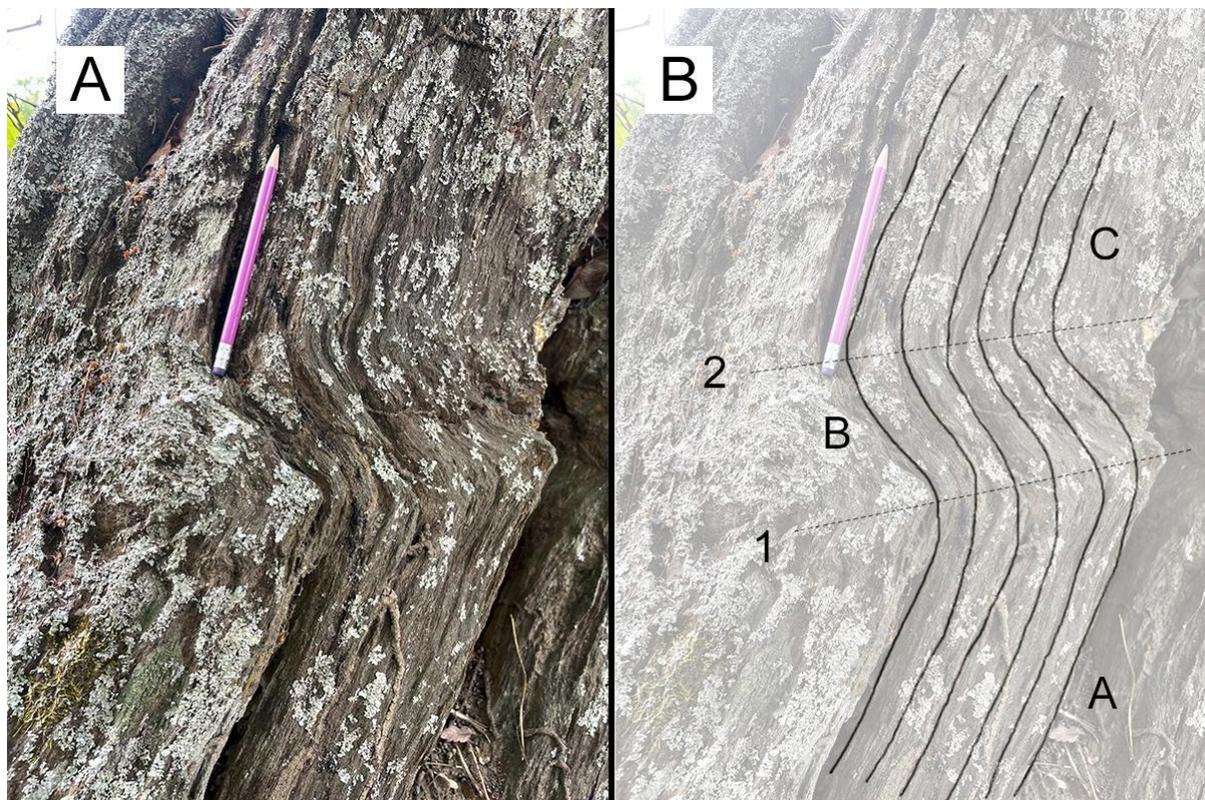


Figura 6.20: A/B (TF22-III-54): Dobra vista em afloramento de quartzo-muscovita xisto, com sua representação esquemática em B. O flanco A tem atitude 319/53, o flanco B possui atitude 068/64 e o flanco C apresenta atitude 244/66. Em (1), eixo da dobra possui 051/12 de atitude e seu plano axial mede 056/18, enquanto em (2), seu eixo da dobra tem 295/19 como atitude e 020/25 no plano axial.

Na Sequência Mara Rosa, uma dobra recumbente, de tamanho centimétrico, foi observada em afloramento de ortognaisse de composição diorítica, ao extremo sudeste da área. Tal dobra foi classificada como recumbente, em que seu plano axial está horizontalizado e a vergência está no sentido oposto ao sentido de mergulho dos planos axiais. A charneira possui atitude 335/30.



Figura 6.21: Em branco, dobra recumbente (marcada em tracejado branco) em afloramento de ortognaisse de composição tonalítica (TF22-III-86).

Por fim, com todas as estruturas dúcteis descritas e reconhecidas em campo, que compõem a Área III, fez-se um bloco diagrama esquemático (Figura 6.22), sintetizando o comportamento das estruturas e a disposição espacial. Nele, é visto as foliações, lineações e indicadores cinemáticos, com suas devidas orientações.

As lineações de estiramento, conforme visto no estereograma da Figura 6.17C, possuem direção principal em NNE/SSW, representadas no bloco diagrama. Os indicadores cinemáticos seguem o *trend* principal da Área, com cinemática dextral.

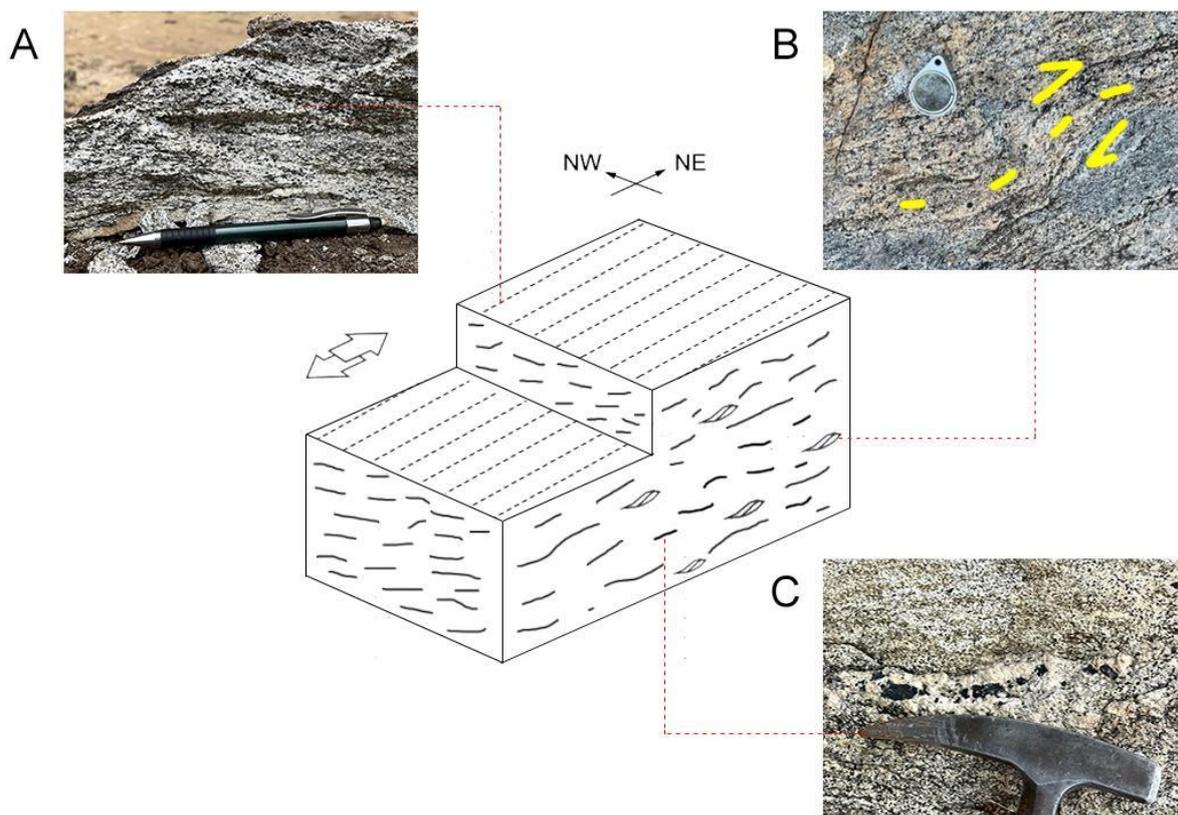


Figura 6.22: Bloco diagrama esquemático com os principais elementos estruturais pertencentes à Área III. A: Lineação de estiramento em nível rico em quartzo. B: Sigmóide com cinemática destal, representado em cor amarela. C: Nível centimétrico, como visto pela escala em martelo, de segregação de quartzo.

6.2.2 Trama rúptil

6.2.2.1 Fraturas

No contexto da Área III, as fraturas, caracterizadas por truncar os elementos da trama dúctil (foliação e lineação), possuem geometria plana e são oblíquas à direção das camadas. Tal estrutura ocorre de várias formas, sendo fratura em xisto, em gnaiss, em diorito e anfibolito, além de poder ser injeção posterior (TF22-III-44) e possuir quartzo que preenche as juntas formadas. Ou seja, pelo fato dela truncar as estruturas dúcteis, sua gênese é relativamente mais jovem, sendo, portanto, de regime deformacional mais raso.

Ao longo dos afloramentos, foi observado fraturas em pares conjugados, paralelas entre si ou isoladas em uma direção preferencial, com predomínio de fraturas isoladas. Não há, exatamente, uma orientação principal, que siga um *trend*

padrão, porém, como visto na Figura 6.24, as fraturas apresentam posição em NW e ENE, com alto ângulo de mergulho. Apenas em um ponto foi possível notar fratura de cisalhamento, em que há deslocamento milimétrico.

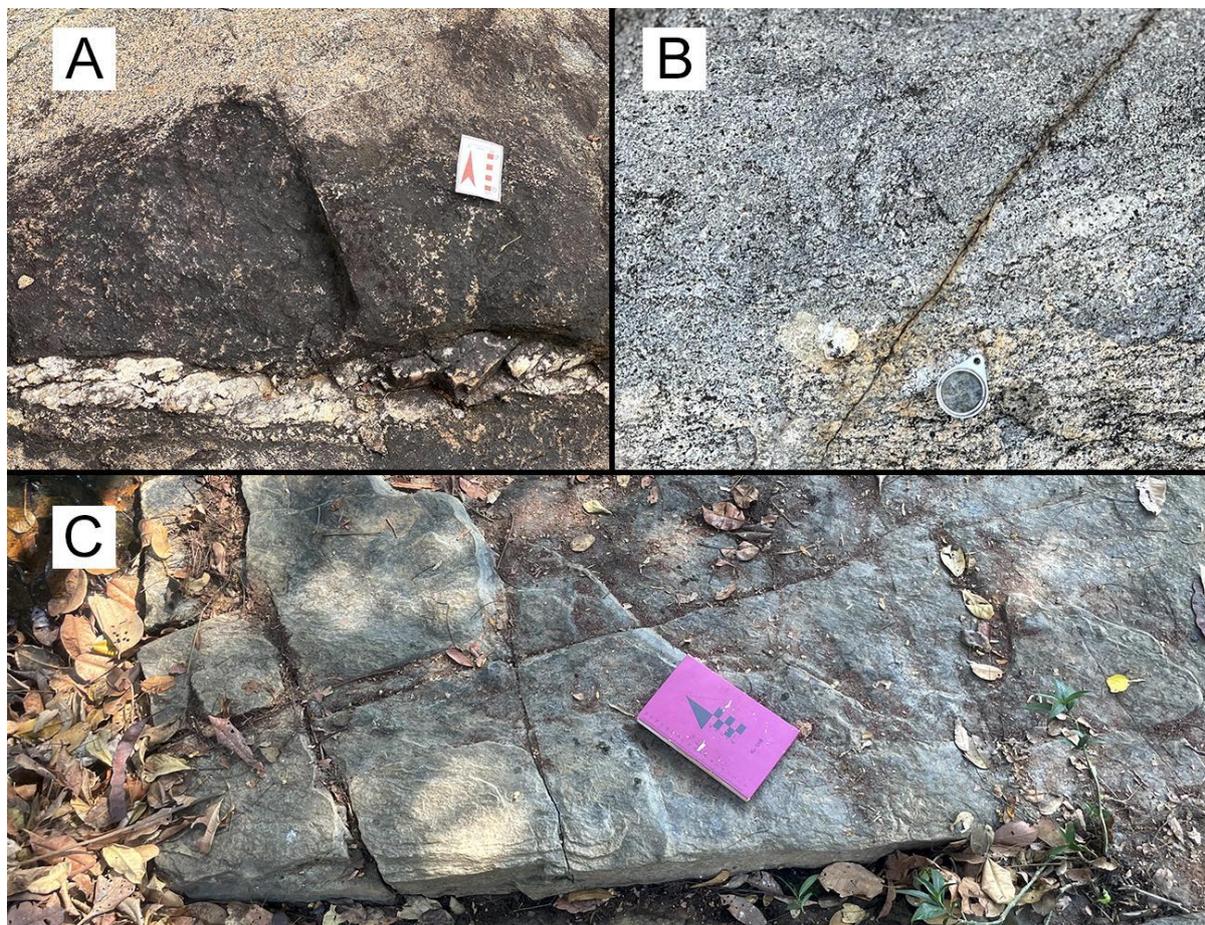


Figura 6.23: A: Os espaços gerados pelas fraturas estão sendo preenchidos por veios de quartzo, como é possível observar na figura (TF22-III-86). B: Fratura de cisalhamento, em que é possível observar deslocamento milimétrico dos estratos (TF22-III-74). C: As fraturas ocorrem em pares conjugados, como é possível notar na figura. Além disso, com o espaço formado, injeções posteriores de feldspatos aconteceram, entrando na foliação (TF22-III-44).

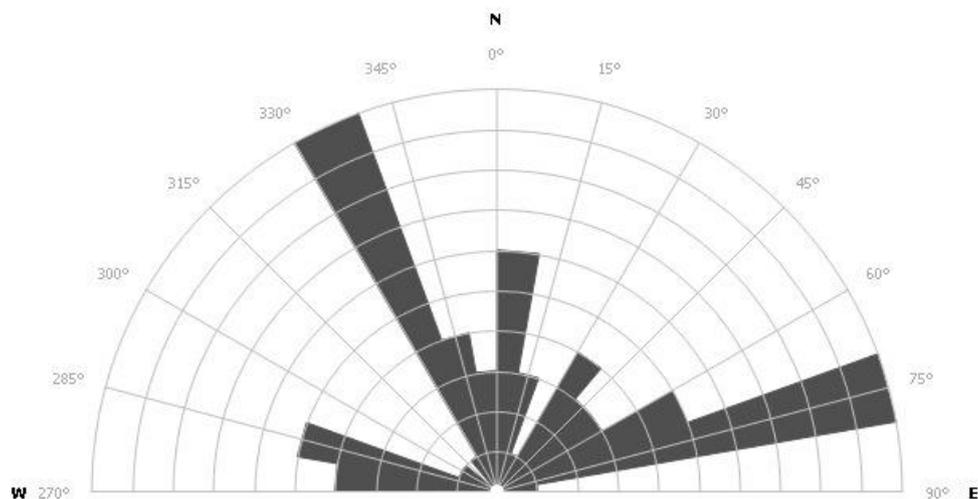


Figura 6.24: Diagrama de rosetas com as fraturas encontradas na Área III. É possível observar uma família de fraturas orientadas preferencialmente em NW e outra família em ENE.

6.2.2.2 Falha de Empurrão Amaralina

Dentro da Área III, há uma falha de empurrão, que separa as sequências de Santa Terezinha e Mara Rosa, chamada de Amaralina. Em campo, não foi encontrada nenhuma estrutura que evidenciasse a sua presença, por mais que tivesse lineação de estiramento mineral Lx, marcando alongamento dos cristais de quartzo e feldspato. Portanto, a falha foi marcada e mapeada em escala regional, sendo caracterizada pela evidente mudança da litologia entre a Sequência Santa Terezinha e a Mara Rosa, além da resposta pela geofísica, que indica mudança da litologia.

Nas proximidades da falha de empurrão, as rochas encontradas estão bem mais deformadas se comparadas às outras de toda a área mapeada. Além disso, é possível notar que as rochas da Sequência Mara Rosa possuem grande variação de granulometria, enquanto na Sequência Santa Terezinha, os xistos possuem alto grau de intemperismo.

6.3 Eventos Deformacionais

A Área III contempla certa heterogeneidade no que diz respeito ao comportamento das feições estruturais identificadas. É evidenciado três fases deformacionais (D_n , D_{n+1} , D_{n+2}), relacionadas a dois ciclos tectônicos, de idade neoproterozóico e faneróico, respectivamente.

A fase D_n se desenvolveu em regime compressivo dúctil e é responsável pelo desenvolvimento da principal feição estrutural reconhecida na Área III: o empurrão denominado falha Amaralina. Esta fase está associada a paragêneses minerais que alcançaram as condições de fácies anfibolito, no qual sofreram retrometamorfismo e se encontram em fácies xisto verde. A foliação S_n é a principal estrutura planar observada nessa fase, marcada por xistosidade e pequenas dobras assimétricas.

O segundo evento, chamado de fase D_{n+1}, ainda de uma deformação dúctil, é caracterizado por um evento tectônico transpressivo, descrito pela formação de zonas de cisalhamento anastomosadas, no qual a foliação está relacionada ao S_{n+1}, sendo vistas em estruturas anastomosadas, como crenulação. Além disso, está associado a paragêneses minerais de fácies xisto verde.

A fase D_{n+2} caracteriza-se por ser de regime dúctil, com formação de estruturas rúpteis distensivas. Essa seria a fase mais tardia, relacionada ao transbrasiliano. Tal fase é marcada na área pela presença de fraturas e fraturas de cisalhamento, caracterizada por cortar todas as estruturas tectônicas. A direção principal está em posição NW/ENE, com alto ângulo de mergulho.

Tabela 6.1: Representação dos eventos deformacionais da Área III, marcada por três fases.

Era	Ciclo Tectônico	Fases	Características Mecânicas	Metamorfismo
Neoproterozoico	Brasiliano	D _n	Compressiva dúctil progressiva com transposição da foliação, dobras isoclinais e sistemas de empurrão	Xisto Verde alto a anfibolito com retro metamorfismo em xisto verde médio (zona da clorita)
		D _{n+1}	Regime transpressivo formando zonas de cisalhamento anastomosadas	Xisto Verde
Fanerozoico	Trans-Brasiliano	D _{n+2}	Tectônicas de estruturas dúcteis-rúpteis distensivas	Ausente

Capítulo 7 - Geologia Econômica

A área de estudo do Projeto Mara Rosa está inserida no distrito auro-cuprífero Chapada-Mara Rosa (Oliveira *et al.*, 2000, 2004), constituído por sistemas minerais do tipo pórfiro, orogênicos e vulcanogênicos, tendo, atualmente, intensa atividade exploratória em andamento. Os depósitos de maior expressão descritos na região associam-se majoritariamente a sistemas de cobre e ouro, incluindo: (i) Depósito Chapada (Cu-Au), interpretado como um sistema do tipo pórfiro (Richardson *et al.*, 1986; Oliveira *et al.*, 2016); (ii) Depósito Zacarias (Au-Ag-Ba), pertencente a um sistema vulcanogênico disseminado, de natureza estratiforme (Poll, 1994; James, 2022); (iii) Depósito Posse (Au), descrito como um depósito aurífero orogênico (Oliveira *et al.*, 2004), sendo do tipo epigenético disseminado (Palermo *et al.*, 2000); (iv) Depósito Mundinho (Au-Cu-Bi), caracterizado por veios de quartzo sulfetados, controlados por zonas de cisalhamento N-S e magmatismo pós-orogênico associado (Oliveira *et al.*, 2000, 2004).

No contexto do Projeto Mara Rosa, encontram-se os depósitos de cobre e ouro “Saúva” e “Formiga” (*News Release, Lundin Mining, 2022*), recém-descritos e associados ao sistema pórfiro-epitermal, juntamente com o depósito de Chapada. O depósito Saúva é marcado por mineralização de cobre e ouro do tipo pórfiro, enquanto o depósito Saúva caracteriza um sistema do tipo *skarn* associado. Já as ocorrências de ouro “Garimpo Chico de Assis” e “Garimpo Viúva” estão relacionadas ao sistema orogênico do depósito Mundinho, alinhadas ao longo das zonas de cisalhamento de orientação N/S, próximas à falha Rio dos Bois. Suas ocorrências auríferas se dão na forma de veios de quartzo sulfetados, hospedados em rochas metaplutônicas, intrudidas em meio às rochas metapsamo-pelíticas da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte (Oliveira *et al.*, 2006).

7.1 Recursos Minerais do Projeto Mara Rosa

Com base no contexto metalogenético apresentado, esta seção detalha as ocorrências e potencialidades minerais descritas no âmbito das áreas mapeadas pelo Projeto Mara Rosa. Os recursos apresentados incluem ocorrências de natureza metálica e rochas e minerais industriais, sendo os metálicos agrupados com base em seus aspectos genéticos, conforme a divisão estabelecida por Robb (2005). Os processos metalogenéticos descritos incluem modelos genéticos magmático-

hidrotermais (Sistema Pórfiro-Epitermal), hidrotermais (Sistema Aurífero Orogênico) e residuais/supergênicos.

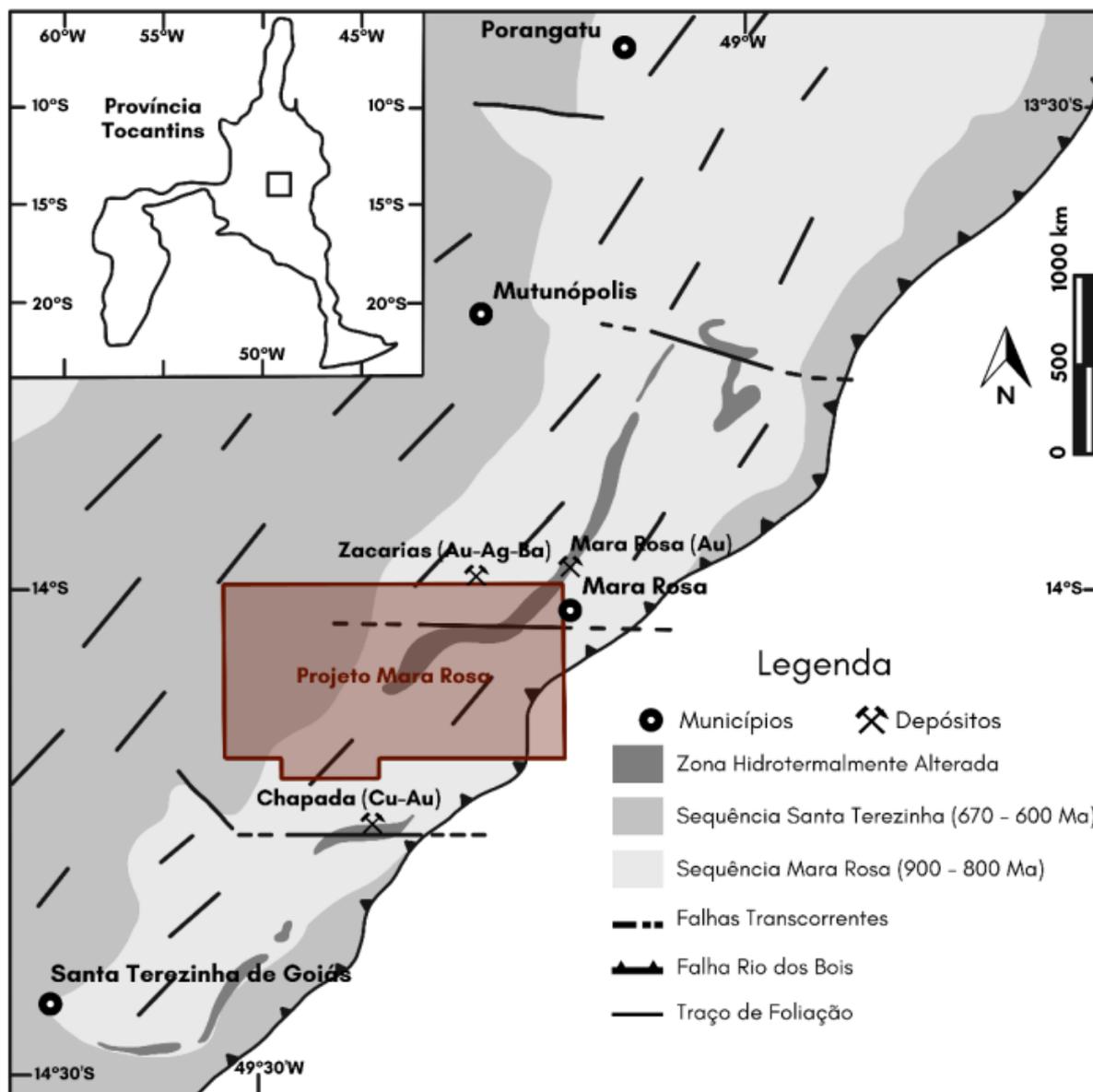


Figura 7.1: Mapa geológico simplificado do Arco Magmático Mara Rosa destacando zonas hidrotermais e correlação com estruturas regionais. Há uma coincidência espacial entre as ocorrências e depósitos de Cu-Au e Au, e zonas de alteração hidrotermal avançadas, marcadas por rochas aluminosas, podendo conter cianita, e rochas calcissilicáticas. Essas zonas hidrotermais, por sua vez, coincidem com sistemas de falhas transcorrentes (Modificado de Oliveira *et al.*, 2016).

7.1.1 Sistema Pórfiro-Epitermal

Diversas feições descritas nas áreas de estudo podem ser interpretadas como expressões de um sistema de mineralização do tipo pórfiro-epitermal, associadas aos depósitos Chapada, Saúva e Formiga. Dentre elas, destacam-se os halos de

alteração hidrotermal, associados às rochas da Unidade Hidrotermal, caracterizados por associações de rochas calcissilicáticas, ricas em epidoto e anfibólios, e rochas aluminosas, ricas em cianita e muscovita.

Os processos de sulfetação, marcados por disseminação de pirita e calcopirita, foram descritos majoritariamente em meio às rochas da associação aluminosa, como cianititos e cianita-xistos. Estas rochas, conforme evidenciado no Capítulo 4, se dispõem ao longo de uma faixa NE/SW quilométrica, com inflexão E/W, ao longo das Áreas IV, V, VI e VIII, tendo forte expressão topográfica e assinatura branca na composição ternária RGB da gamaespectrometria (Capítulo 3), contrastando com as rochas encaixantes. Esporadicamente, a malaquita pode ser encontrada em associação com rochas sulfetadas (Áreas VI e IX), sendo interpretadas como minerais de alteração de sulfetos de cobre primários. Demais ocorrências de pirita e calcopirita foram observadas, de maneira disseminada, como minerais acessórios nas rochas metavulcanossedimentares e metaplutônicas do Arco Magmático Mara Rosa, podendo ser produtos distais, com menor expressividade, dos halos de alteração hidrotermal observados.

Dentre as associações de rochas calcissilicáticas descritas ao longo da região mapeada, destaca-se um conjunto observado na Área VIII, composta por biotita, clinopiroxênio, granada, hornblenda, clorita, epidoto e quartzo, exibindo feições típicas de zonação composicional. Esta associação de rochas se desenvolve em meio aos dioritos dos Ortognaisses Mara Rosa, sendo interpretadas como um sistema *skarn*, gerado por fluido pervasivo, sem relação direta observada com pluton gerador. Esta ocorrência pode ser correlacionada ao depósito Formiga, onde a mineralização de Cu-Au é encontrada na forma de sulfetos maciços, compostos por pirita, calcopirita e bornita.

7.1.2 Sistema Aurífero Orogênico

Evidências de mineralização associadas ao sistema orogênico foram descritas nas Áreas V, VI e X. Nas áreas V, VI, processos hidrotermais epigenéticos associados à zonas de cisalhamento NE/SW e ENE/WSW, podem ter condicionado o crescimento de sulfetos em planos axiais, zonas de charneira e sombras de pressão de sigmoides (Oliveira, 2009). Evidências dessas mineralizações são nítidas em rochas calcissilicáticas no corte da FICO (Ferrovia de Integração do Centro-Oeste), localizada na área VI.

Na Área X, sua principal ocorrência é o Garimpo Viúva, o qual possui gênese associada a um plutonismo paleoproterozoico pós-tectônico, fortemente controlado pelo sistema transcorrente N-S, responsável também pela formação dos depósitos Mundinho, Zé Nunes e Pedro Coelho, entre outros (Oliveira, 2004; Abdallah, 2014). A mineralização ocorre em veios, bolsões e lentes de quartzo com disseminações de sulfetos (pirrotita, pirita e calcopirita) em rochas graníticas e metassedimentos psamo-pelíticos, relacionadas a zonas de biotitização e muscovitização. Entre as Áreas IX e X, está localizado também o Garimpo Chico de Assis, cujo contexto metalogenético foi pouco estudado.

7.1.3 Sistema Residual/Supergênico

Ao longo de todas as subáreas do Projeto Mara Rosa, foram descritos horizontes de alteração caracterizados por intensos processos de lixiviação, conforme descrito nos Capítulos 1 e 4, resultando na geração de crostas lateríticas ferro-manganesíferas disseminadas, ocorrendo especialmente a partir das cotas de 400 metros do relevo, aproximadamente. Embora estas concreções sejam comumente encontradas nas regiões adjacentes, sua disposição na área de estudo se mostra relevante por conta dos tipos de rochas aos quais se associam. Rochas metassedimentares químicas, como gonditos e formações ferríferas, podem ser encontradas de maneira disseminada ao longo de toda a região mapeada, caracterizando protominérios para formação de crostas ferríferas e manganesíferas economicamente exploráveis.

As rochas metassedimentares químicas ocorrem associadas às sequências metavulcanossedimentares Mara Rosa, Santa Terezinha e Campinorte, ocorrendo pontualmente ao longo de todas as subáreas do projeto. Estas unidades afloram de maneira mais significativa nas Áreas I, III, IV, V, VII, VIII e XI, onde caracterizam unidades em escala mapeável, tendo maior potencial para a geração de depósitos minerais em concreções lateríticas associadas.

7.1.4 Minerais e Rochas Industriais

Segundo Ciminelli (2005), Minerais e Rochas Industriais agrupam todas as rochas e minerais, tanto naturais quanto sintéticos, predominantemente não-metálicos, cujas propriedades físico-químicas podem ser utilizadas para aplicações como matéria prima para atividade industrial, bem como insumos e aditivos para seus

processos. Suas aplicabilidades incluem a indústria de construção civil, cerâmica, cimento, fertilizantes, metalurgia, química, celulose, vidros, tecnologia, entre outros. Para o Projeto Mara Rosa, foram elencados potenciais de aplicação industrial para ocorrências de cianita, grafita, talco, areia e seixos, além de rochas ornamentais e minerais com potencial gemológico.

A associação de rochas ricas em cianita, descritas acima como um halo hidrotermal do sistema pórfiro, são feições de suma importância para as potencialidades econômicas do Projeto Mara Rosa. Além de uma litocapa indicativa das mineralizações magmático-hidrotermais, os cianititos e cianita-xistos observados nas Áreas III, IV, V, VI e VIII podem ser diretamente explorados para aplicação na indústria de materiais refratários e/ou gemológicos (Joffily & Oliveira *in* Luz & Lins, 2008).

Ocorrências de talco xistos são descritas nas Áreas II, III, IV e V, caracterizando rochas metaultramáficas, aflorantes em meio às rochas das Sequências Metavulcanossedimentares Santa Terezinha e Mara Rosa e aos Ortognaisses Mara Rosa. As principais aplicações do talco na indústria se baseiam em uso como matéria prima para fabricação de produtos diversos, incluindo cosméticos, tintas, cerâmica, papel, borracha, inseticidas e fertilizantes (Almeida & Pontes *in* Luz & Lins, 2008).

Uma ocorrência de quartzitos grafitosos foi descrita na Área IV, em meios às rochas metassedimentares químicas da Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa. Embora a grafita ocorra associada a grandes quantidades de quartzo, existe potencial de aplicabilidade industrial. Seus usos na indústria são diversos, incluindo materiais refratários, baterias, lubrificantes, grafite para lápis, galvanoplastia, entre outros (Sampaio *et al.* *in* Luz & Lins, 2008).

Extensos depósitos aluvionares de areia e seixos podem ser observados ao longo das Áreas do Projeto Mara Rosa. Em especial, os canais de drenagem Rio dos Bois, Rio Formiga, Ribeirão das Antas e Ribeirão Santa Maria apresentam potencial para extração de sedimentos, tendo em vista a dimensão de seus canais e seu fluxo intenso, capaz de transportar e acumular material de granulometria média a grossa. As aplicabilidades da areia na indústria são variadas, especialmente para sedimentos puros (quartzosos) e bem selecionados. Além do abastecimento da construção civil, a areia é utilizada na fabricação de vidro, moldes para fundição, cerâmica, refratários, cimento, entre outros. Já os sedimentos de granulometria mais grossa, como grânulos

e seixos, são utilizados em construção civil e para aplicações ornamentais, em especial quando arredondados e esféricos (Luz & Lins, 2008).

Embora não exista extração de rochas ornamentais em atividade no contexto do Projeto Mara Rosa, algumas porções do Plúton Faina, aflorantes nas Áreas I, II, III e VII, mostram potencial para aplicações ornamentais. Estas rochas possuem granulação média a grossa, com composição granítica a tonalítica. Além do Plúton Faina, os Leucogranitos Bom Jesus, a Suíte Pau de Mel e as rochas exóticas da Unidade Hidrotermal, ricas em cianita e epidoto, também podem ser utilizados para fins ornamentais.

Por fim, minerais com potencial para utilização gemológica são encontrados na maior parte das áreas mapeadas. Além das rochas ricas em cianita, de granulação grossa, destacam-se as disseminações de veios de quartzo ricos em epidoto, descritos ao longo das unidades do Arco Magmático Mara Rosa. Os cristais de epidoto são vistos na forma de prismas euedrais, chegando a tamanhos centimétricos. Veios pegmatóides ricos em quartzo, muscovita e/ou turmalina são, por vezes, encontrados em associação. Já no contexto da Área VII, encontram-se cristais de granada euédricos, chegando a tamanhos centimétricos. Estes cristais podem ser aplicados, tanto para fins gemológicos, quanto para a indústria de abrasivos. Sua gênese está associada ao *hornfels* desenvolvido entre as rochas intrusivas do Plúton Faina e as encaixantes metassedimentares pelíticas da Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha.

7.2 Recursos Minerais da Área III

Os recursos minerais encontrados na Área III, consistem principalmente em torno de materiais refratários e/ou gemológicos. Ainda há a presença de uma pequena ocorrência de manganês no extremo sul da área. A Figura 7.1 mostra a ocorrência dos principais recursos minerais que aparecem na Área III.

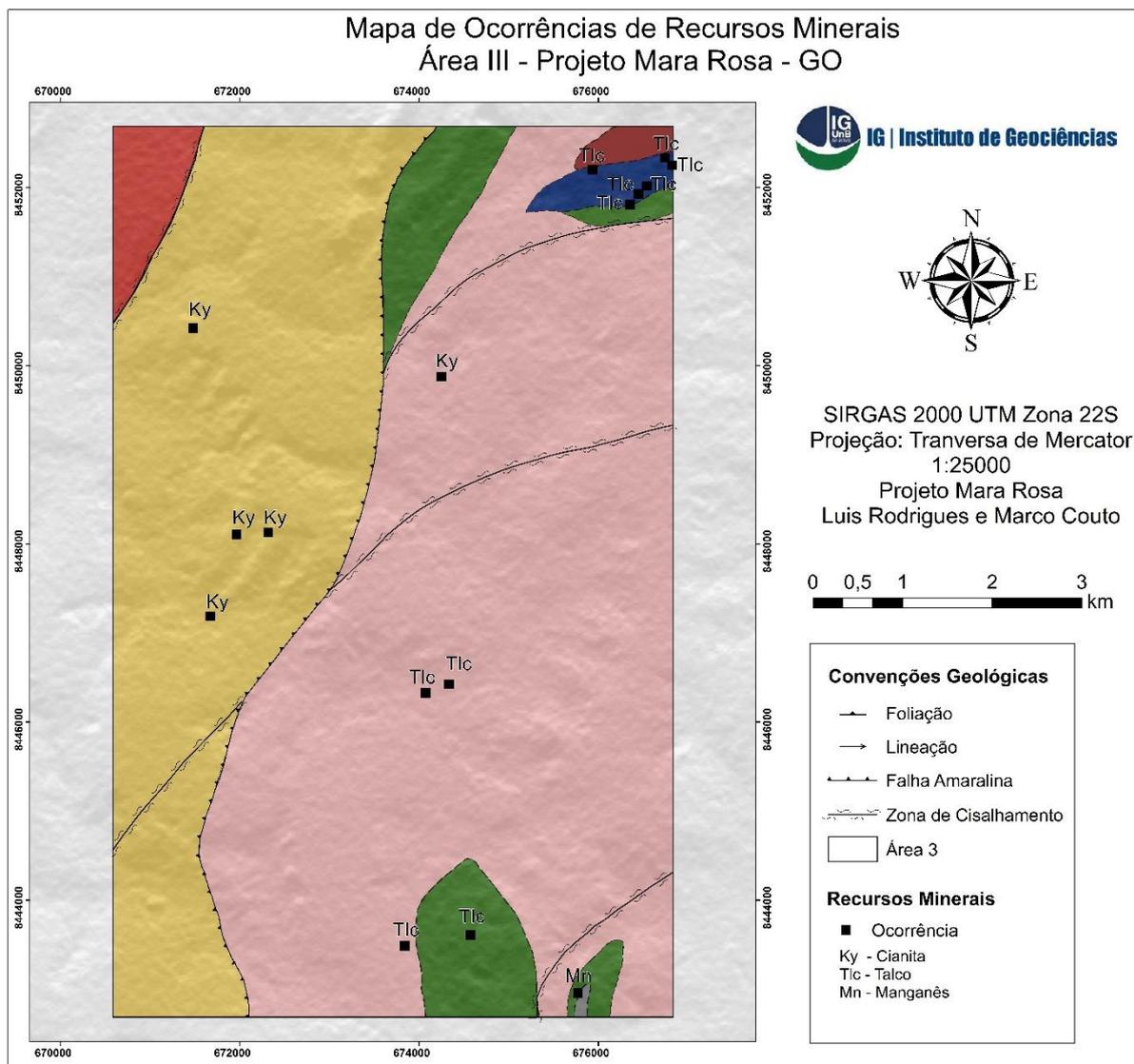


Figura 7.2: Mapa Geológico da Área III do Projeto Mara Rosa, com os pontos de ocorrência dos recursos minerais.

7.2.1 Sistema Residual/Supergênico

A Área III descreveu um ponto único de ocorrência da Unidade Metassedimentar Química, ao longo da Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa, na forma de lente de extensão métrica, mapeada no mapa. Esta rocha é formada por óxidos de manganês e espessartita (granada manganésifera), em que a granada é vista preservada e também se alterando para oxi-hidróxidos de manganês.

Os gonditos são considerados protominérios, formadores de depósitos supergênicos, em decorrência dos processos intempéricos e formação das crostas

lateríticas manganésíferas. Sua importância é ressaltada por valores prospectivos, encontrados em toda a área do Projeto Mara Rosa, mesmo que tal mineralização não tenha sido vista na Área III.

Os protominérios, formadores de depósitos supergênicos, associados aos processos de intemperismo geradores de crostas lateríticas manganésíferas, são um exemplo para potenciais ocorrências de depósitos de manganês na área. Entretanto, se apresenta de forma muito restrita na Área III, podendo ser desconsiderado como um depósito rentável de produção de manganês.

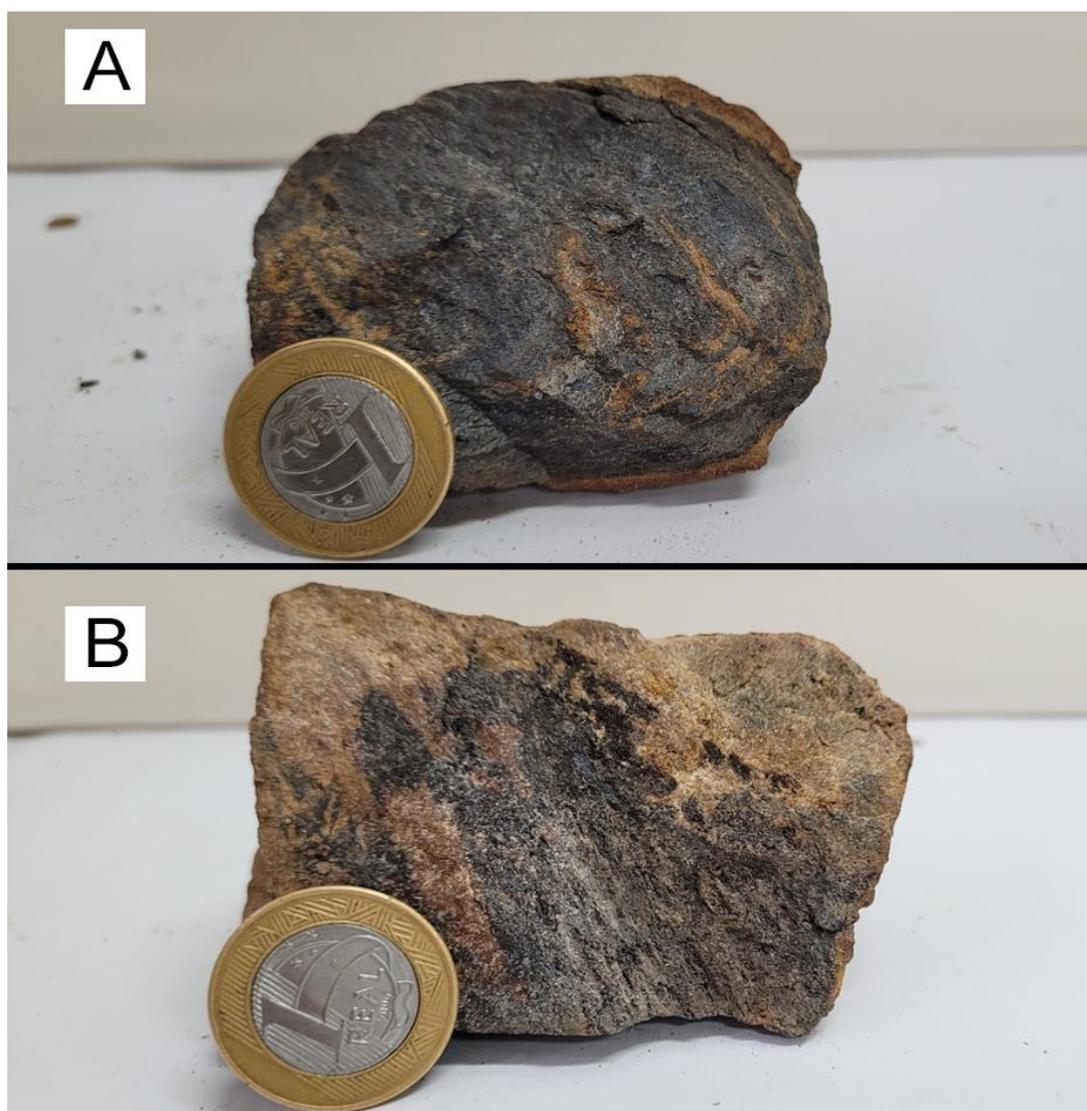


Figura 7.3: A/B: Foto das amostras do afloramento TF22-III-93 referentes aos gonditos.

7.2.2 Minerais e Rochas Industriais

No contexto da Área III, a ocorrência de cianita é marcada por aparecer dentro da Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha, na Unidade Psamo-Pelítica, sem que haja uma faixa específica de ocorrência. A cianita aparece na forma pura, como cianitito, ou associado a granada-quartzo-muscovita xisto e granada-estaurolita-quartzo-muscovita xisto, em pontos próximos um dos outros, em uma área restrita.

Os afloramentos são centimétricos, por vezes na forma de blocos rolados, em que o cianitito apresenta granulometria grossa, coloração amarronzada e composta por, essencialmente, cianita (90%). Já os xistos, que possuem afloramentos semelhantes aos cianititos e foram vistos em duas ocorrências, possuem granulação fina e estão associados aos xistos com quartzo, granada e estaurolita.

Possivelmente, tais corpos derivam da ação da zona de cisalhamento próxima a Santa Terezinha, onde o metamorfismo nestas rochas chegou em alta pressão e alta temperatura, em um metamorfismo em fácies anfibolito, formando cianita e estaurolita.



Figura 7.4: A/B: Amostras de campo do afloramento TF22-III-156 dos cianititos.

As ocorrências de minerais aluminosos na Área III, apesar de vários possíveis usos, já mencionado nos tópicos anteriores, não apresentam um potencial característico de um depósito de mineral refratário.

Diferentemente do que ocorre em outras áreas do Projeto, em que a cianita é derivada de processos hidrotermais e possui valor econômico viável, a ocorrência da cianita no contexto da Área III refere-se a processos metamórficos, zona de cisalhamento e a Falha Amaralina, não apresentando aspecto financeiro.

O talco, no contexto da Área III, aparece associada a Unidade Metaultramáfica, em que é observado nos talco-clorita xisto, clorita-talco xisto e tremolita-talco xisto, em afloramentos centimétricos a métricos. A mineralogia é composta, essencialmente, por talco, clorita, tremolita-actinolita, quartzo e pseudomorfos de pirita, com estrutura lamelar e cor esverdeada. A unidade apresenta direção NE/SW, estando associada aos anfibolitos e presente na parte mais superficial das rochas, podendo estar relacionado com a camada intempérica.

O talco é um mineral secundário, formado pela alteração de silicatos de magnésio, como, por exemplo, olivina, piroxênios, anfibólios e outros. Ocorre muitas vezes associado à clorita, serpentina, quartzo, dentre outros minerais.

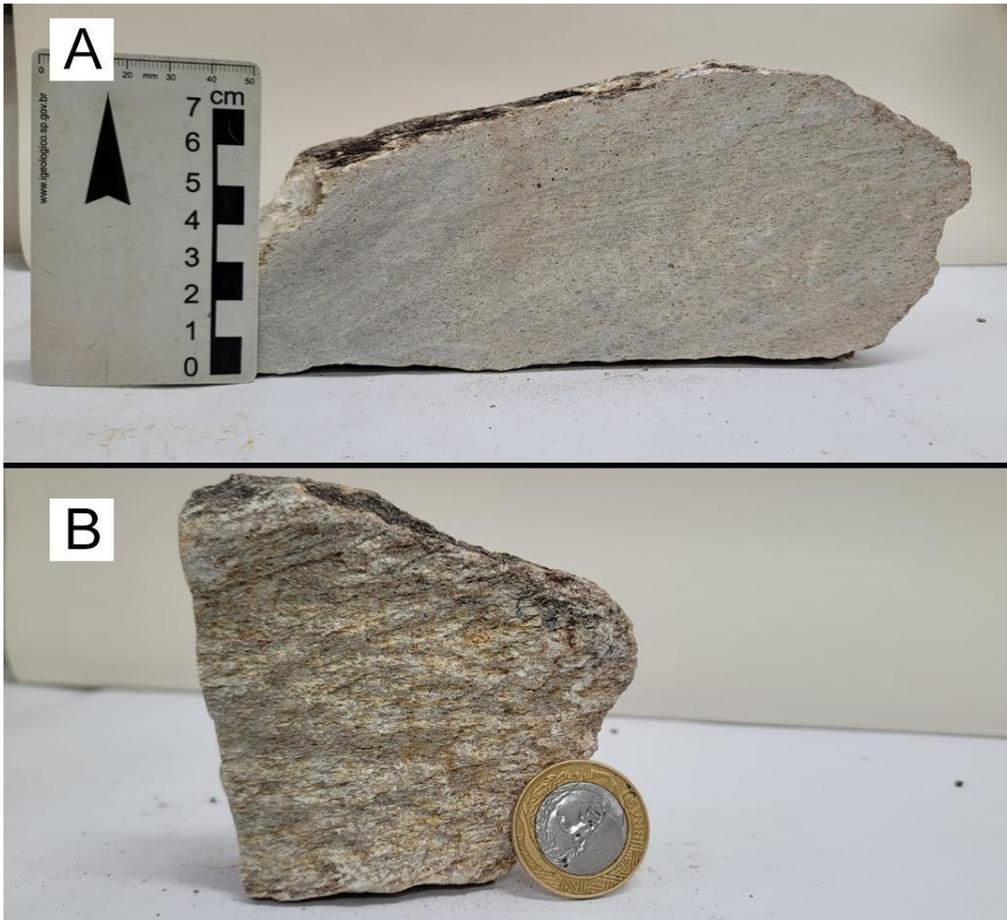


Figura 7.5: A/B: Amostras de campo do afloramento TF22-III-4 do clorita-talco xisto.

Capítulo 8 - Evolução Tectônica

Este capítulo tem como objetivo apresentar o desenvolvimento tectônico das unidades descritas e classificadas no Projeto Mara Rosa (PMR), utilizando dados e informações de revisões bibliográficas aliadas às características individuais que definem as relações estruturais e petrogenéticas destas unidades. Para fins de simplificação e adequação das evidências encontradas foi adaptada a divisão proposta por Frasca (2015) que divide a evolução do Arco Magmático Goiás (AMG) em cinco estágios principais, sendo eles: (1) Arco Paleoproterozoico; (2) Arco Intra-Oceânico Neoproterozoico; (3) Colisão Arco-Continente; (4) Colisional a Pós-Colisional; e (5) Extensional Pós-Orogênico (Tabela 8.1).

Tabela 8.1. Resumo dos principais estágios de evolução tectônica das unidades geológicas da área do PMR.

Estágio Tectônico	Idade	Arco Correspondente
Arco Paleoproterozoico	Riaciano, Paleoproterozoico 2300-2000 Ma (Cordeiro & Oliveira, 2017)	Campinorte
Arco Intra-Oceânico Neoproterozoico	Toniano, Neoproterozoico 900-800 Ma (Oliveira <i>et al.</i> , 2004)	Mara Rosa
Colisão Arco-Continente	Criogeniano, Neoproterozoico 670-600 Ma (Oliveira <i>et al.</i> , 2004)	Santa Terezinha de Goiás
Colisional a Pós-Colisional	Ediacariano, Neoproterozoico 590-560 Ma (Oliveira <i>et al.</i> , 2004)	-
Extensional Pós-Orogênico	Fanerozoico (Frasca, 2015)	-

A compartimentação tectônica da área do PMR tem seu contexto atrelado ao setor setentrional do Orógeno Brasília, mais especificamente na porção sudeste do Arco Mara Rosa. Esse setor é resultado dos eventos orogênicos ocorridos entre os

crátons São Francisco e Amazônico, envolvendo acreções de unidades tectônicas como o Maciço de Goiás e o AMG (Uhlein *et al.*, 2012).

Diversos estudos utilizando diferentes métodos geocronológicos foram realizados para a definição das unidades tectônicas que ocorrem no PMR. Além disso, os eventos tectônicos de acreção crustal foram destacados a partir das grandes estruturas que ocorrem nas áreas do projeto e se estendem para outras áreas do Arco Mara Rosa. Por fim, os estágios que dizem respeito ao final da orogênese, sendo eles colisional, pós-colisional e de extensão orogênica, foram sugeridos a partir das feições tectônicas superimpostas na área.

8.1. Evolução Tectônica do Orógeno Brasília

O Orógeno Brasília é caracterizado por um cinturão de dobramentos resultantes de eventos de acreção crustal de idades neoproterozoicas, localizado na porção leste da Província Tocantins e na porção ocidental do Cráton São Francisco (Almeida *et al.*, 1977; Hasui & Almeida, 1970; Fuck *et al.*, 2005), formado durante a orogenia Brasileira-Panafricana. O uso de dados de U-Pb, em conjunto com Sm-Nd e Lu-Hf, permite entender que a evolução do orógeno se dá entre 900 a 600 Ma (Pimentel & Fuck 1992; Cordani *et al.*, 2013a) no Gondwana Ocidental, tendo início a partir de arcos de ilha intra-oceânicos, eventos de subducção, formação de arcos magmáticos, acreção de terrenos por eventos colisionais e posterior fechamento do oceano Goiás (Almeida *et al.*, 1977; Hasui & Almeida, 1970; Fuck *et al.*, 2005).

Pimentel & Fuck (1992) o dividiram em dois segmentos, o domínio interno e o domínio externo, que se distinguem pelo grau metamórfico que se apresenta mais elevado em direção ao centro do orógeno. Ainda, se considera uma divisão que leva em conta suas características estruturais, tectônicas, geocronológicas e diferenças estratigráficas, dividindo o orógeno em setor meridional e setor setentrional (Uhlein *et al.*, 2012; Dardenne, 2000; Valeriano *et al.*, 2004, 2008; D`el-Rey Silva *et al.*, 2011). O setor meridional tem sua origem atrelada aos eventos colisionais entre os crátons São Francisco e Paranapanema, já o setor setentrional resulta dos eventos orogênicos ocorridos entre os crátons São Francisco e Amazônico (Uhlein *et al.*, 2012), envolvendo unidades tectônicas como o Maciço de Goiás, arcos magmáticos Mara Rosa e Arenópolis, pertencentes ao Arco Magmático de Goiás, e sequências sedimentares meso-neoproterozóicas.

8.2. Evolução Tectônica do Arco Magmático Goiás

O modelo de evolução tectônica mais recente do Arco Magmático Goiás leva em conta quatro estágios relacionados à evolução do Orógeno Brasília, sendo eles: (i) subducção intra-oceânica; (ii) magmatismo sin-tectônico colisional; (iii) magmatismo pós-tectônico colisional; e (iv) extensional pós-orogênico.

Os dois principais eventos de magmatismo do Arco Mara Rosa foram datados de 900 a 800 Ma, ocorrendo durante o estágio tectônico de subducção, e de 670 a 600 Ma, relacionado ao estágio sin-tectônico colisional. O evento mais antigo de magmatismo é considerado parte de um contexto de arco de ilha e o mais novo, de um arco continental (Oliveira *et al.*, 2004).

Além disso, houveram dois picos de metamorfismo, um de 760 a 730 Ma de altas condições de P-T, na transição do arco de ilha para arco continental, e outro de 630 Ma, de mais baixas condições de P-T, durante a colisão dos crátons Amazônico e São Francisco (Oliveira *et al.*, 2004; Oliveira *et al.*, 2016).

Após esses principais eventos de magmatismo e metamorfismo, ocorreu um estágio de magmatismo pós-tectônico colisional, caracterizado pela extensão litosférica e intrusão de corpos graníticos, como biotita granitos e leucogranitos, e gabro-dioritos, entre 590 a 560 Ma.

De acordo com Oliveira *et al.* (2016) e Ferreira (2020), a Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa, os Ortognaisses Mara Rosa e o Ortognaisse Amarolândia podem ser correlacionados ao primeiro evento de magmatismo do Arco Mara Rosa, no estágio insular. Nesse contexto, o plúton pré-tectônico Amarolândia foi datado em 870 Ma (Ferreira, 2020).

Oliveira *et al.* (2007, 2016) caracterizam a Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha de Goiás como o segundo estágio de magmatismo, agora do Arco Santa Terezinha, no estágio continental. O Plúton Faina intrude a sequência, sendo datado em 576 Ma (Junges *et al.* 2002a, 2003).

8.2.1. Estágio de Arco Paleoproterozoico

O Maciço de Goiás é uma amalgamação de rochas cristalinas com idades arqueanas a mesoproterozoicas localizadas a leste do Arco Magmático de Goiás. A interpretação sobre o significado tectônico desta unidade adotada neste trabalho está de acordo com a de Cordeiro & Oliveira (2017), que sugere que o maciço seja uma

extensão pericratônica na margem oeste do Cráton São Francisco. De acordo com Pimentel (2000), o Maciço de Goiás pode ser dividido em três domínios distintos: Crixás-Goiás, Campinorte e Cavalcante-Arraias.

O Arco Campinorte é descrito pelas rochas da sequência metavulcanossedimentar Campinorte, os metagranitos a metatonalitos da Suíte Pau de Mel e os granulitos do Complexo Uruaçu (Cordeiro *et al.*, 2017) e está associado ao Domínio Campinorte (Giustina *et al.*, 2009 e Cordeiro *et al.*, 2014). Dados geocronológicos U - Pb realizados em zircão de amostras de quartzitos micáceos supracrustais indicam idades máximas de deposição desse domínio em cerca de 2190 Ma (Giustina *et al.*, 2009), enquanto dados adquiridos por análises em zircão em amostras de metatufos riolíticos indicam idades de 2179 ± 4 Ma (Giustina *et al.*, 2009).

Cordeiro *et al.* (2014) também datou, por intermédio da análise de zircões em granulitos, idades 2170 ~ 2080 Ma para o domínio Campinorte, o que corrobora a ideia de que esse arco foi formado no paleoproterozoico. Ademais, valores de $\epsilon Nd(t)$ variando entre -2.1 e +3.4 descrevem uma maior participação de uma crosta paleoproterozoica em detrimento de uma arqueana para esse domínio (Giustina *et al.*, 2009).

A partir disso, e levando em consideração as rochas descritas dentro do domínio campinorte pelo PMR, à saber, rochas metavulcânicas intermediárias (p. ex. metadacitos e metariolitos), bem como xistos (p. ex. muscovita - clorita xistos), metassedimentos químicos (p. ex. gonditos) e granulitos, além de rochas associadas a intrusões graníticas, mais especificamente de composições graníticas a tonalíticas, é possível interpretar que esse domínio está associado a um ambiente deposicional marinho próximo a um arco magmático (Giustina *et al.*, 2009).

Dessa forma, é possível que a evolução geológica da área PMR tem início no paleoproterozoico, mais especificamente, na formação do Arco Campinorte, a qual ocorreu entre 2300 ~ 2000 Ma (Cordeiro *et al.*, 2017), uma vez que o domínio Campinorte abrange as rochas mais antigas do projeto. Um modelo esquemático que ilustra a formação do Arco Campinorte, bem como as feições geotectônicas associadas ao magmatismo de um arco, é apresentado na Figura 8.1.

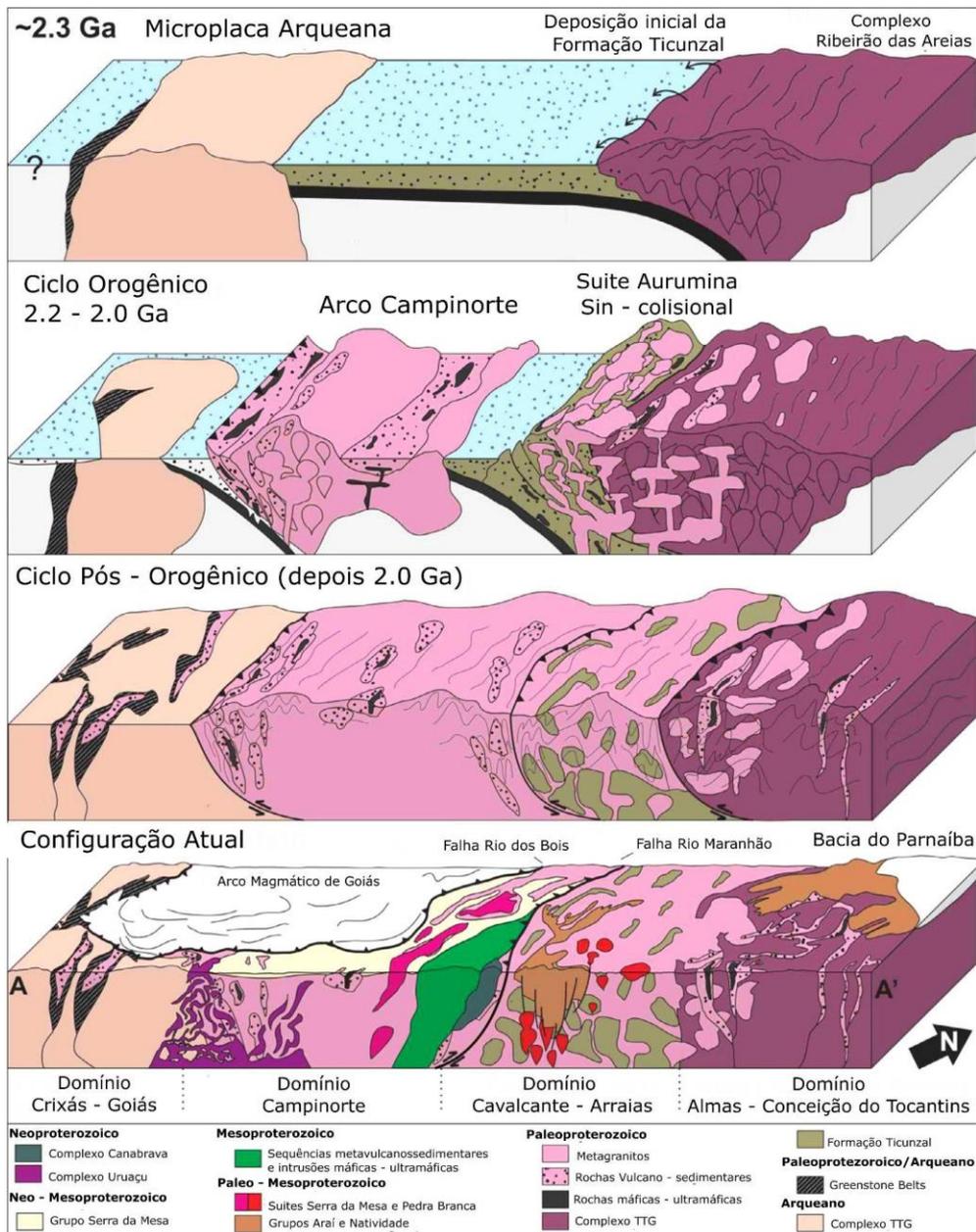


Figura 8.1: Modelo de evolução tectônica do Maciço de Goiás durante a fase do orógeno (2200 a 2000Ma). Destaque para a formação do Arco Campinorte, o qual é a única unidade contida no contexto do PMR (Adaptado de Cordeiro *et.al*, 2017).

As rochas pertencentes ao Domínio Campinorte, dentro do contexto do PMR, possuem uma foliação milonítica N/S impressa, interpretada como um evento E₀, de idade pré-brasiliana. A análise dos dados estruturais permite sugerir que estas estruturas tenham sido geradas como resposta a um evento transcorrente, responsável pela formação das zonas de cisalhamento observadas no extremo SE da área do PMR, mais especificamente na Área X. Associada a deformação do evento E₀, há metamorfismo em fácies xisto verde inferior.

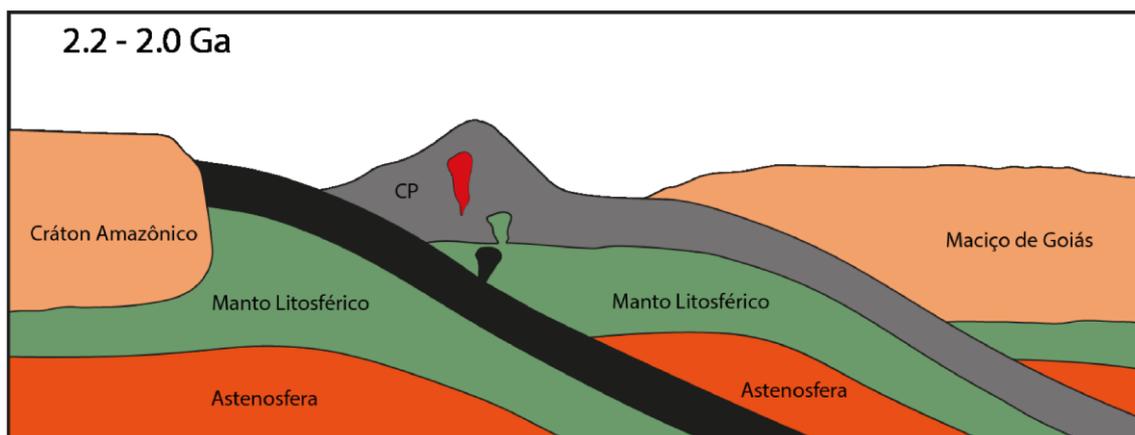


Figura 8.2: Estágio de Arco Paleoproterozoico, ocorrido entre 2200 e 2000 Ma. CP = Arco Campinorte.

8.2.2. Estágio de Arco Intra-Oceânico Neoproterozoico

O início da formação do AMG é marcado pelo consumo e fechamento do Oceano Goianides-Pharusian (Kröner & Cordani, 2003; Caby, 1994; Valeriano *et al.*, 2004) entre os crátons Amazônico e São Francisco, a princípio como arcos acrescionários insulares e posteriormente como margens continentais e orógenos colisionais com reciclagem crustal (Junges *et al.*, 2002; Laux *et al.*, 2005).

O primeiro período de acreção magmática de idade 900 a 800 Ma marca o início de sua evolução (Figura 8.3), com o processo de subducção da litosfera oceânica localizada entre o Cráton Amazônico e o Maciço de Goiás, ocasionada por esforços compressivos gerados pela colisão dos crátons (Viana *et al.*, 1997). Tal processo gera um sistema de arcos de ilha intraoceânicos e bacias de retro-arco, caracterizados por rochas vulcânicas calci-alcálicas intermediárias a ácidas e metaluminosas, bem como corpos plutônicos tonalíticos e dioríticos, alguns dos quais com características geoquímicas semelhantes a magmas adakíticos (Chiarini, 2007). Na porção do Arco Magmático Mara Rosa, as rochas apresentam razões isotópicas $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ iniciais baixas, idades de cristalização de 848 Ma e 810 Ma, idade modelo TDM principalmente entre 1,1 e 0,8 Ga e valores ϵNd positivos, sugerindo fontes juvenis (Pimentel & Fuck, 1992; Laux *et al.*, 2005; Matteini *et al.*, 2010).

Na área do PMR, a estrutura que marca a acreção da sequência metavulcanossedimentar Mara Rosa ao embasamento paleoproterozóico Campinorte é marcada pela Zona de Cisalhamento Rio dos Bois. As rochas descritas dentro do domínio são representadas por um conjunto extenso de anfibolitos, paragneisses e

xistos aluminosos, com eventuais associações de rochas metaultramáficas, especialmente na porção norte da área. Subordinadamente, ocorrem rochas metaquímicas, definidas por gonditos, *metacherts* e formações ferríferas. Além disso, na sequência encontra-se intrusões tardi a pós tectônicas de composição granítica a diorítica. As rochas encontram-se metamorizadas em condições de fácies anfíbolito, com retrometamorfismo em fácies xisto verde inferior.

A predominância da composição calci-alcalina dessas rochas magmáticas indica a ação de contínuos processos relacionados à subducção. Dantas *et al.* (2007) acrescentaram que na região as rochas plutônicas são peraluminosas, com assinatura isotópica de material juvenil relacionado à evolução dos arcos.

O estágio intra-oceânico é representado pelo início do evento tectônico E₁, de idade neoproterozoica. O regime compressivo regional nesse estágio está relacionado a formação de xistosidade e bandamento gnáissico em rochas da sequência metavulcanossedimentar Mara Rosa, ambas com direção de mergulho para NW. No plano de foliação, associa-se lineação de estiramento mineral com transporte tectônico para SE.

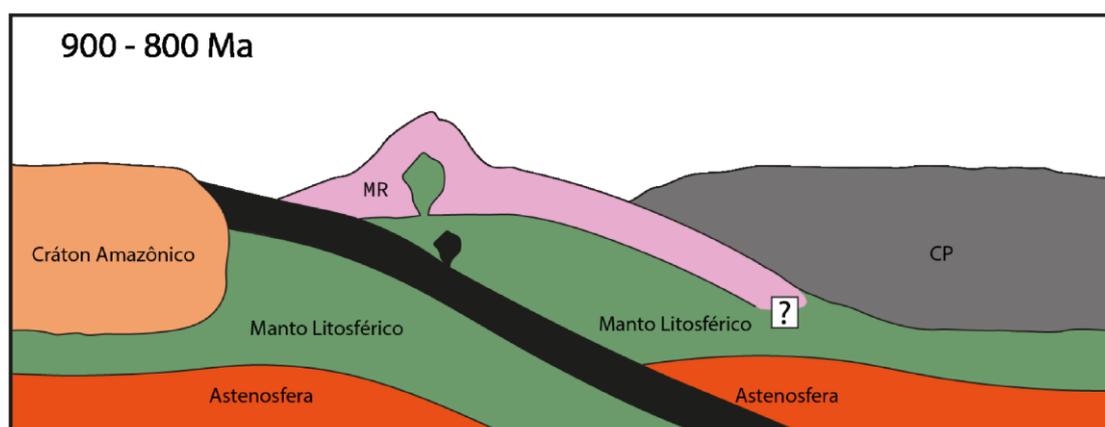


Figura 8.3: Estágio de Arco Intra-Oceânico Neoproterozoico. CP = Arco Campinorte, MR = Arco Mara Rosa.

8.2.3. Estágio de Colisão Arco-Continente

A evolução do estágio de arco intra-oceânico é marcada pelo desenvolvimento de uma margem continental ativa, onde há a formação do denominado arco magmático Santa Terezinha em 670-600 Ma (Figura 8.4). É nesse estágio em que há a formação da sequência metavulcanossedimentar Santa Terezinha, originalmente proposta por Souza & Leão Neto (1984). Essa sequência é composta

majoritariamente por rochas metassedimentares, incluindo mica xisto feldspático, mica xisto e quartzito, além de uma unidade vulcânica de anfibolitos e meta-andesitos (Fuck *et al.*, 2006). Dantas *et al.* (2001) dataram uma amostra de rocha metavulcânica félsica em 661 ± 8 Ma, atribuindo idade estimada para a sequência.

Na área do PMR, a estrutura que marca a acresção da sequência metavulcanossedimentar Santa Terezinha à sequência metavulcanossedimentar Mara Rosa foi descrita por Chiarini (2007) como discordância geofísica Porangatu-Mutunópolis-Amaralina. Para o projeto, foi denominada como Zona de Cisalhamento Amaralina, a qual possui extensão quilométrica, passando pelas áreas III, VII e de Mapeamento Geológico 2, com direção NE. Essa zona de cisalhamento é um importante limite tectônico, o qual justapõe dois estágios evolutivos do sistema de arco magmático.

À leste da zona de cisalhamento predominam rochas com ϵNd positivo (+0.01 e +8.01), o qual mostra a derivação a partir de uma crosta juvenil com pouca contaminação crustal. Essa assinatura está relacionada ao estágio de arco de ilha intra-oceânico (900-800 Ma) e corresponde a assinatura da sequência metavulcanossedimentar Mara Rosa. A oeste, predominam rochas com ϵNd negativo (-25.44 a -0.60), com sugestão de entrada de material juvenil e reciclagem crustal. Essa assinatura demonstra um estágio de acresção mais evoluído, ou seja, de formação do arco magmático continental (Chiarini, 2007; Frasca, 2015). Dessa forma, o estágio de colisão arco-continente é marcado pela mistura de fontes, juvenis e crustais, em torno de 660 Ma quando se inicia o desenvolvimento da margem continental ativa.

Associado à progressão do estágio de arco de intra-oceânico, o estágio da colisão arco-continente ainda é representado pelo evento tectônico E₁. O regime compressivo regional nesse estágio está relacionado a formação de xistosidade na sequência metavulcanossedimentar Santa Terezinha com mergulho para NW e lineação de estiramento mineral indicando transporte tectônico para SE. Junges *et al.* (2002) interpreta que o metamorfismo de 604-610 Ma é de baixa condições P-T, a partir de idades Sm-Nd e geotermobarometria em rochas metassedimentares do arco. Essa idade de metamorfismo foi observada no PMR em fácies anfibolito com retrometamorfismo para xisto verde inferior (zona da clorita).

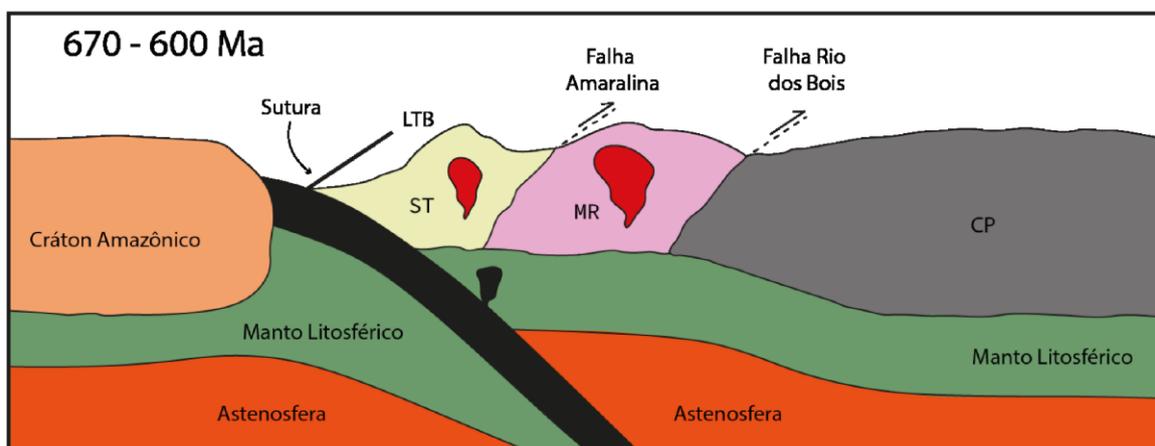


Figura 8.4: Estágio de Colisão Arco-Continente. ST= Arco Santa Terezinha de Goiás; MR = Arco Mara Rosa; CP = Arco Campinorte; LTB = Lineamento Transbrasiliiano.

8.2.4. Estágio Colisional a Pós-Colisional

O estágio colisional a pós-colisional do Arco Mara Rosa está inserido no contexto de amalgamação do supercontinente Gondwana. O fechamento do ciclo Brasileiro resultou na formação de uma estrutura de magnitude continental, de orientação NE/SW, que ocorreu na porção oeste do supercontinente Gondwana, o Lineamento Transbrasiliiano (LTB) (Schobbenhaus, 1975).

O LTB é um extenso feixe de falhas transcorrentes formadas durante o encurtamento crustal gerado no fim da orogenia neoproterozoica. Nesse contexto, insere-se no evento tectônico E₂, o qual no PMR é representado por zonas de cisalhamento transpressivas de orientação NE/SW com inflexões para E/W.

São observadas na área mapeada pelo projeto extensas zonas de cisalhamento dextrais paralelizadas de direção concordante ao LTB (Figura 8.5). Mais especificamente, na porção oeste do PMR, nas áreas I, II, III e VII. Tal geometria das zonas de cisalhamento é pronunciada em produtos geofísicos aeromagnéticos. Além dessas zonas, o LTB é o responsável pela assimetria geométrica do Plúton Faina, o qual é limitado pelas zonas de cisalhamento Varalzinho e Serra do Faina.

Ainda relacionado ao estágio colisional a pós-colisional, há um importante evento magmático Ediacariano (590-550 Ma), o qual registra um aumento na contribuição de material crustal e diminuição de fontes mantélicas (Frasca, 2015). O aumento nos valores de elementos como Pb e Th sugerem aumento da entrada de sedimentos na zona de subducção, confirmada pela presença de rochas de afinidade peraluminosa e valores negativos de εNd (Frasca, 2015).

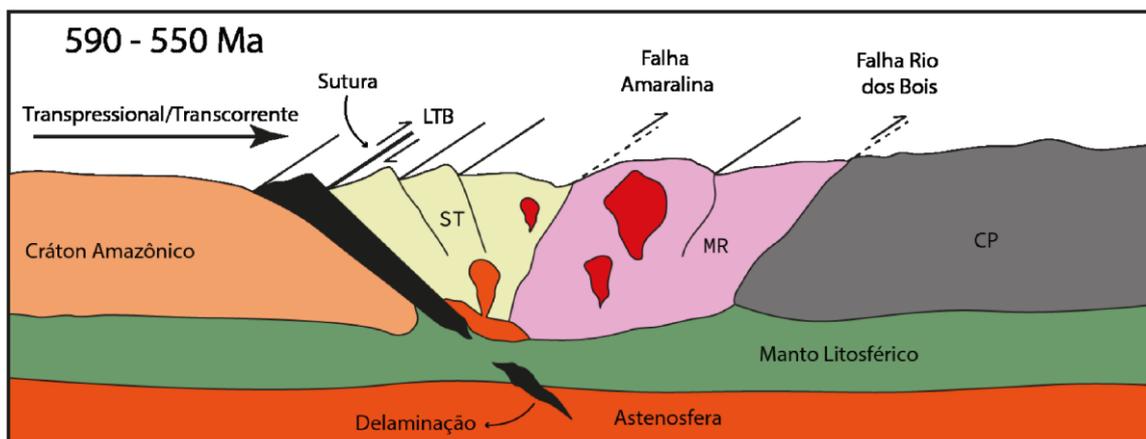


Figura 8.5: Estágio Colisional a Pós-Colisional. LTB = Lineamento Transbrasiliiano; ST= Arco Santa Terezinha de Goiás; MR = Arco Mara Rosa; CP = Arco Campinorte.

8.2.5. Estágio Extensional Pós-Orogênico

O estágio extensional é caracterizado como o evento mais jovem de idade fanerozóica, definido como pós Brasileiro (Frasca, 2015) representado por estruturas rúpteis multidirecionais. Essas direções em sistema de falhas e fraturas de direção NW/SE, E/W e N/S que sobrepõem todas as unidades estratigráficas do PMR.

Dentre essas estruturas, destaca-se a presença de falhas e juntas associadas à reativação de zonas de fraqueza do LTB. Essas estruturas rúpteis foram responsáveis por gerar o padrão de drenagens atual, formando lineamentos de direção NW/SE. Este estágio pode ser responsável por intrusões de leucogranitos que ocorrem na área do PMR e se encontram pouco deformados.

Por fim, este é classificado como colapso pós-orogênico (Figura 8.6), que foi responsável pela geração de estruturas antitéticas de alívio. Porém, ainda não existem datações ou estudos detalhados referentes aos efeitos dessas estruturas no orógeno.

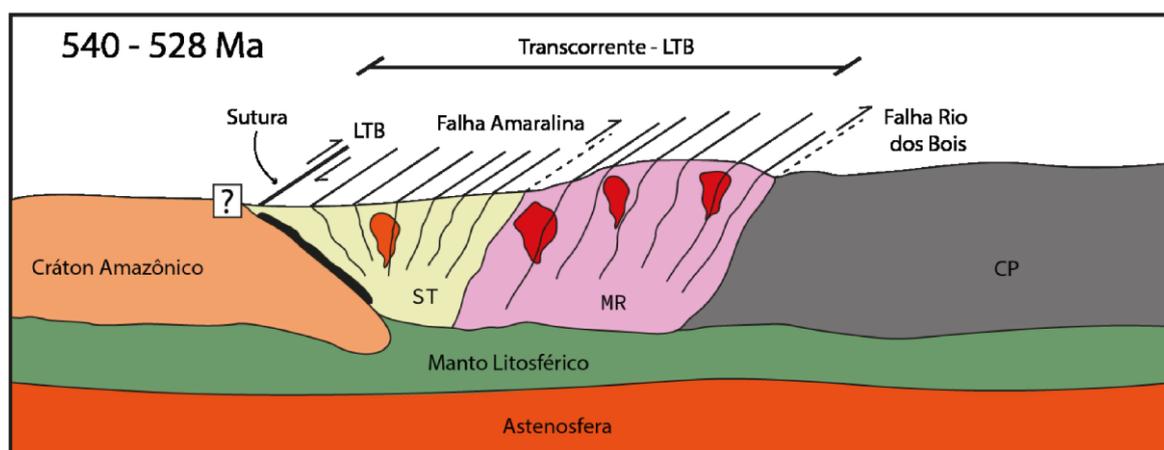


Figura 8.6: Estágio Extensional a Pós-Orogênico. Destaque para o colapso aproveitando as estruturas formadas durante o Transbrasiliano. LTB = Lineamento Transbrasiliano; ST= Arco Santa Terezinha de Goiás; MR = Arco Mara Rosa; CP = Arco Campinorte.

8.3. Modelo Evolutivo do Arco Magmático Mara Rosa

O início da evolução tectônica do Orógeno Brasília é marcado por períodos de acreção crustal durante o Paleoproterozoico e Neoproterozoico, envolvendo vários estágios de subducção. Esses estágios são colocados principalmente com relação aos crátons São Francisco e Amazônico, que atualmente se situam nas porções leste e oeste do Arco Mara Rosa, respectivamente. Além disso, os estágios relativos ao ápice da orogênese são marcados por uma tectônica transcorrente representada pelo Lineamento Transbrasiliano.

O primeiro estágio, ocorrido entre 2200 e 2000 Ma, é o da subducção do Arco Campinorte que evoluiu para o Maciço de Goiás, considerado uma extensão pericratônica do Cráton São Francisco (Cordeiro & Oliveira, 2017) (Figura 8.7A e Figura 8.7B). Em seguida, entre 900 e 800 Ma, houve um estágio de subducção de um arco intra-oceânico, correspondente ao Arco Mara Rosa (Oliveira *et al.*, 2004) (Figura 8.7C).

O estágio de colisão entre o Arco Mara Rosa e o Cráton São Francisco, ocorrido entre 670 e 600 Ma, marcou a evolução de um arco intra-oceânico para um arco continental (Oliveira *et al.*, 2004) (Figura 8.7D), correspondente ao Arco Santa Terezinha. O estágio colisional a pós-colisional, que ocorre entre 590 e 560 Ma, marca a colagem dos crátons Amazônico e São Francisco, representando a porção ocidental do supercontinente Gondwana (Oliveira *et al.*, 2004) (Figura 8.7E).

Por fim, o colapso orogênico marca um período de tectônica extensional, possivelmente ocorrido durante o Fanerozoico (Frasca, 2015). Poucos estudos foram realizados nas áreas do PMR sobre as implicações desse estágio para a evolução tectônica da área, porém certamente apresenta feições que não se enquadram nos outros estágios tectônicos.

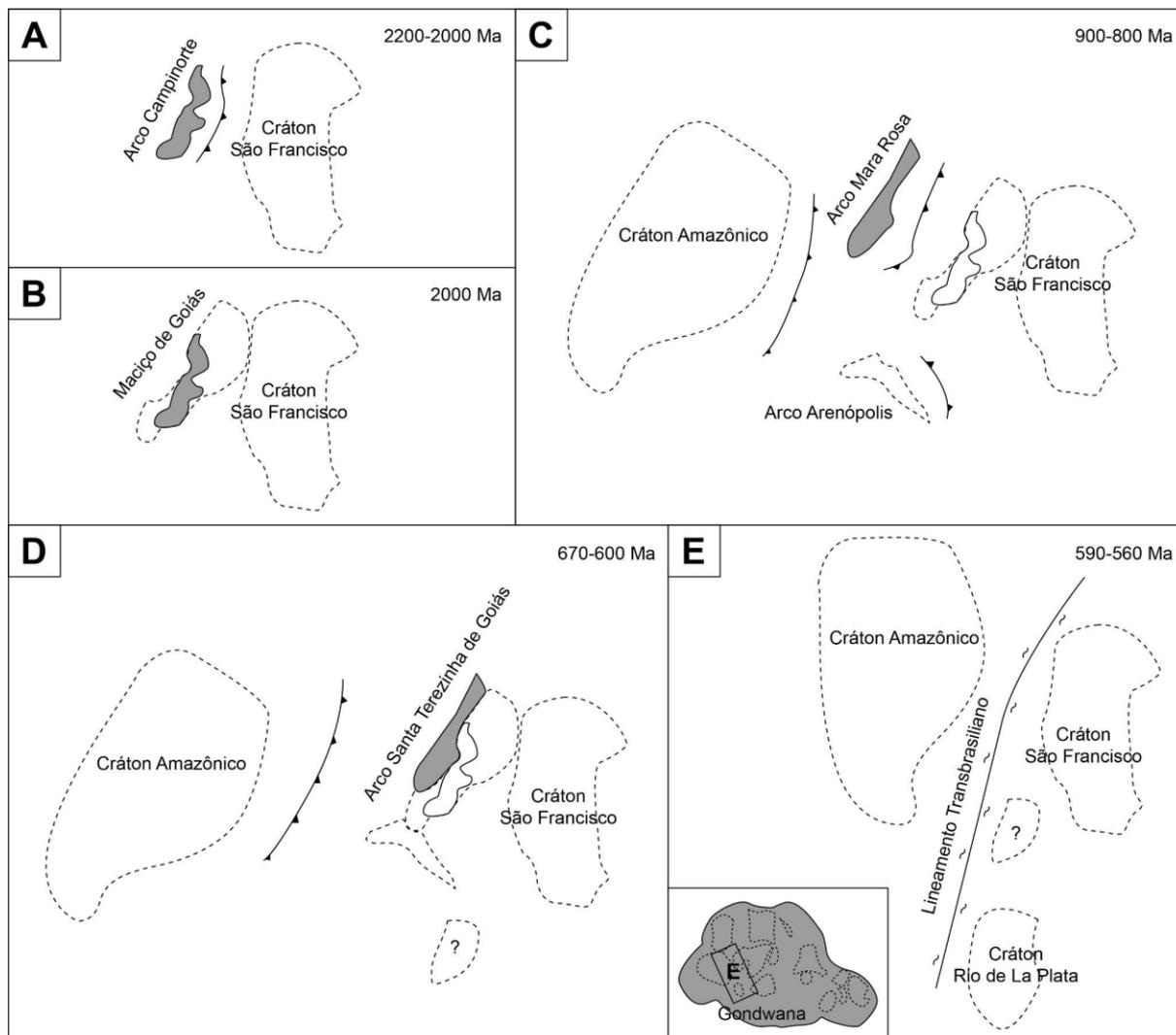


Figura 8.7: Estágios de evolução tectônica do Orógeno Brasília envolvendo os arcos Campinorte, Mara Rosa e Santa Terezinha de Goiás; (A) Estágio de Arco Intra-Oceânico Paleoproterozoico, correspondente ao Arco Campinorte, 2200-2000 Ma; (B) Maciço de Goiás como uma extensão pericratônica do Cráton São Francisco, 2000 Ma; (C) Estágio de Arco Intra-Oceânico Neoproterozoico, correspondente ao Arco Mara Rosa, 900-800 Ma; (D) Estágio de Colisão Arco-Continente, correspondente ao Arco Santa Terezinha de Goiás, 670-600 Ma; (E) Estágio Colisional Pós-Colisional, destacando a influência do Lineamento Transbrasiliiano no Orógeno Brasília após a formação do supercontinente Gondwana pela colisão entre os crátons. Adaptado de Oliveira *et al.* (2004).

Capítulo 9 - Conclusão

O Projeto Mara Rosa, com o mapeamento geológico realizado na escala de semidetalhe em 1:25000, abrangeu as duas repartições geotectônicas do Arco Campinorte e Arco Magmático de Goiás, sendo a primeira estabelecida e deformada em Paleoproterozoico, enquanto a segunda se fez no Neoproterozoico. Sendo assim, nove unidades litoestratigráficas foram individualizadas, com um total de 26 subunidades distintas, sendo estas obtidas com o presente mapeamento e trabalhos prévios citados anteriormente.

Apenas a Área X possui o Arco Campinorte, no qual é representado pela Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte e pela Suíte Pau de Mel e por pequenas porções da Unidade Metavulcânica Félsica e o Complexo Granulítico Uruaçu. Sua relação com o Arco Magmático de Goiás ocorre a partir da Zona de Cisalhamento Rio dos Bois, que separa essas duas unidades, em que tal zona é descrita como um complexo de núcleos metamórficos parecidos com os vistos em Uruaçu. Por fim, ainda há a presença de quartzitos e muscovita-quartzo xistos pertencentes ao Grupo Serra da Mesa.

Todas as áreas do Projeto estão inseridas no contexto do Arco Magmático de Goiás, que neste trabalho foi dividido e estudado em duas grandes unidades: a Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha e a Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa. Ambas apresentam intrusões de unidades plutônicas, em que seu caráter configura de Tardi a Pós-Tectônico, com composição granítica a granodiorítica. Enquanto a primeira unidade é caracterizada por alto K (%) e eTh (ppm) nos produtos gamaespectrométricos, a segunda se faz pela alta distribuição de eU (ppm).

As intrusões Plutônicas Tardi a Pós-Tectônicas ocorrem de duas formas no contexto do Projeto Mara Rosa: Plúton Faina e Leucogranito Bom Jesus. O primeiro ocorre nas áreas I, II, III e VII, em estrutura sigmoidal e dividido em fácies graníticas, representado por biotita granito indeformado, e fácies granodioríticas, que já são pouco deformados. O segundo é observado nas áreas III, IV, V, VI, VIII, IX e X, com direção geral NE, em que sua composição é feita por biotita-muscovita leucogranito e muscovita-granito, com fácies tonalíticas subordinadas.

Os resultados alcançados com o mapeamento geológico do Projeto Mara Rosa evidenciaram a existência de uma falha de empurrão, denominada Amaralina, que gerou entendimento para a evolução tectônica da região, corroborando a colisão de uma placa oceânica com uma placa continental. Tal falha registra o contato entre as Sequências Santa Terezinha e Mara Rosa

Em relação ao Projeto Mara Rosa (Figura 9.1), houve grande evolução cartográfica se comparada aos trabalhos anteriores (Figura 9.2). Isso ocorre devido ao maior detalhamento das unidades e criação de outras, bem como a delimitação de novas zonas de cisalhamento, o que era esperado pelo mapeamento em menor escala.

O mapa geológico final do Projeto Mara Rosa não contempla depósitos aluvionares e coberturas detríticas e lateríticas como unidades cartografáveis, tendo em vista que foi definido e priorizado apenas o mapeamento de rochas que compõem o substrato dessas coberturas. Afinal, o objetivo do presente trabalho era aprimorar o quadro litoestratigráfico e a evolução tectono-estrutural do Arco Magmático de Goiás.

Na porção oeste do Projeto Mara Rosa, diversos avanços cartográficos puderam ser observados. Um dos maiores destaques é o Plúton Faina, sendo Tardi a Pós-Tectônico, que além de ser melhor cartografado e observado nas áreas, pode-se realizar a divisão em fácies graníticas e granodioríticas. Esta unidade é contornada por duas estruturas que estão relacionadas ao processo colisional, que aconteceu no final da Orogênese Brasileira. Além disso, houve o surgimento, dentro da Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha, da Unidade Metassedimentar Química, representada pelos gnditos e formações ferríferas bandadas, e dos Ortognaisses Santa Terezinha, visto como granada-muscovita-biotita gnaisse tonalítico. A Unidade Metamáfica-Ultramáfica (talco xisto, metagabro e metahornblendito) e a Unidade Metassedimentar Psamo-Pelítica, composta por xistos variados, também pertencentes a Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha, puderam ser melhor definidas. Por fim, outro ponto levantado foi a melhor delimitação da Falha Amaralina, que ocorre nas Áreas III e VII, separando a Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha e a Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa.

O mapeamento realizado na porção central do Projeto Mara Rosa também trouxe avanços na cartografia da área. Uma importante mudança foi o surgimento da intrusão plutônica Leucogranito Bom Jesus, também de caráter Tardi a Pós-Tectônica e composta por biotita-muscovita leucogranito e muscovita granito, antes mapeada como Plúton Faina. De maneira geral, os Ortognaisses Mara Rosa, de composição diorítica a tonalítica, a Associação Aluminosa, da Unidade Hidrotermal e representada sumariamente pelos cianititos e xistos com cianita, e a Unidade Metavulcânica Máfica, da Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa e evidenciada por anfíbolitos e anfibólio xistos, puderam ter seus contatos melhor delimitados, com destaque para o aumento significativo dos ortognaisses na região mapeada. Além dessas unidades, houve a adição de mais duas: a Unidade Metassedimentar Química, associada aos gonditos e *metacherts*, e a Unidade Metaultramáfica, denotada por xistos com talco, clorita e tremolita, ambas pertencentes a Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa.

Por fim, a porção leste do Projeto Mara Rosa também recebeu grande progresso cartográfico, principalmente com a Área X. A antiga Suíte Amarolândia transformou-se em Ortognaisses Amarolândia, de composição sumariamente diorítica, e teve o seu tamanho diminuído, enquanto a Suíte Pau de Mel, representada especialmente por granito milonítico a ultramilonítico, foi aumentada. Ocorreu o surgimento de algumas unidades, como a Metaplutônica Máfica, evidenciada por metagabro e metahornblendito e de caráter Tardi a Pós-tectônica, a Associação Calcissilicática, na Unidade Hidrotermal e de rochas com epidoto, a Metaplutônica Félsica, sendo metadacito e metariolito na Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte, e o Complexo Granulítico Uruaçu, de granulito com biotita, silimanita, granada, microclínio e hiperstênio. Outro ponto levantado foi a melhor delimitação da Falha Rio dos Bois, na Área X, separando as unidades Mara Rosa e Campinorte.

Toda a área do Projeto Mara Rosa mostra-se recortada por um conjunto de rochas graníticas (leucogranitos, granodioritos e granitos tonalíticos), pouco ou não deformadas, integrantes da unidade de Plutônicas Tardi a Pós-Tectônicas.

O mapeamento geológico do Projeto Mara Rosa corroborou para que a área fizesse parte do Arco Magmático de Goiás, em que é visto grande potencial exploratório para depósitos de Cu-Au, associadas a ambientes geológicos de arcos

magmáticos. Isso porque há ocorrência de rochas ricas em cianita e pirita, que foram interpretadas como litocapas argílica metamorfizadas em fácies anfíbolitos.

Em relação a atividades de mineração, o Projeto destaca os depósitos de Saúva e de Formiga, ambos estando na Área VIII e sendo de Cu e Au, além de dois garimpos, o Garimpo Chico de Assis, que ocorre no limite entre as Áreas IX e X, e o Garimpo da Viúva, pertencente a Área X, ambos sobre Au.

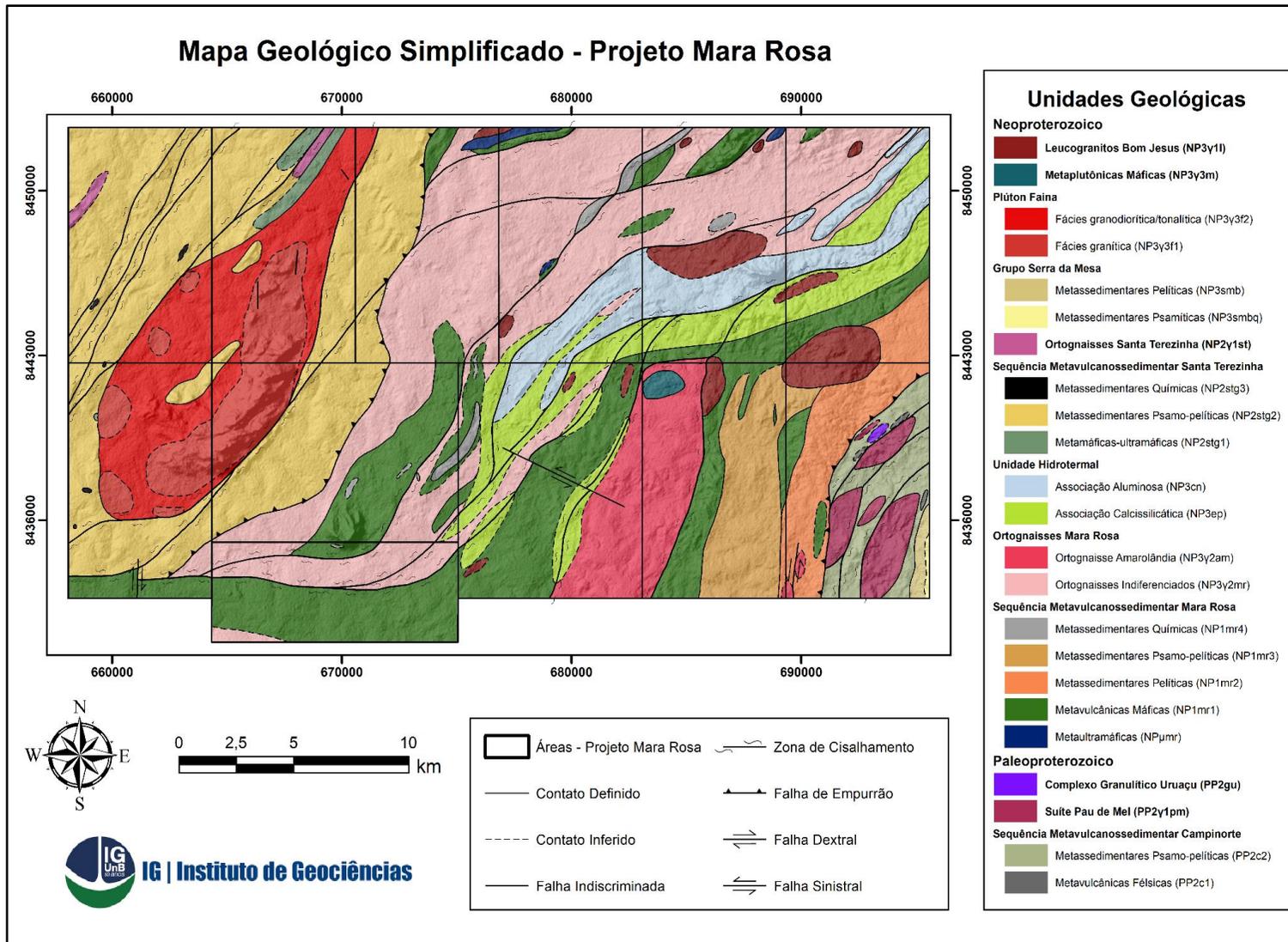


Figura 9.1: Mapa geológico integrado, em sua versão simplificada, da área do Projeto Mara Rosa.

Área III - Projeto Mara Rosa

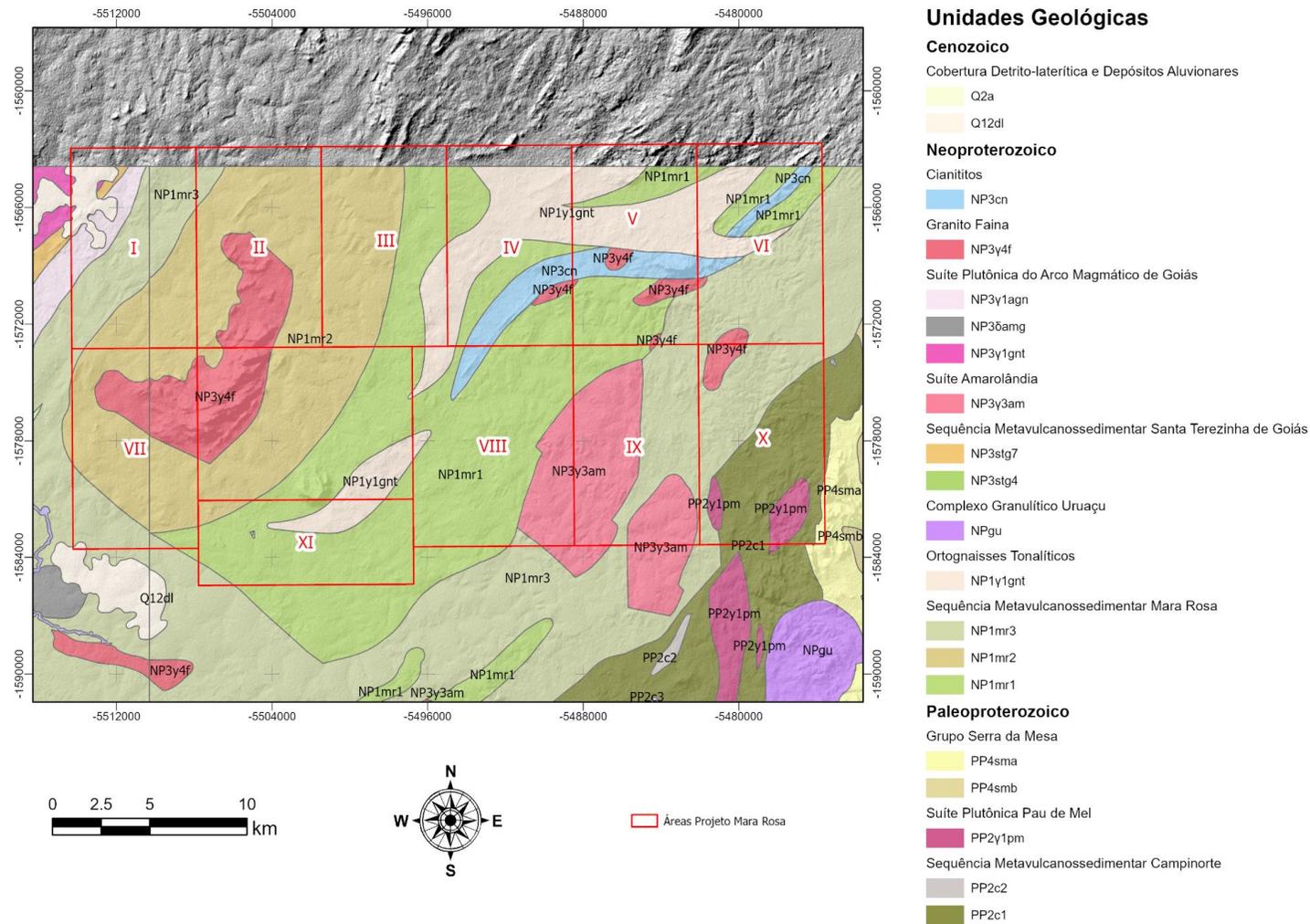


Figura 9.2: Mapa geológico simplificado da área do Projeto Mara Rosa, de acordo com a Folha Campinorte SD.22-Z-B-I.

REFERÊNCIAS

ABDALLAH, S. (2014). Geology and geochemistry of Bois River Suite, Mara Rosa (GO): evidence of magmatic arc paleoproterozoic. *Geochimica Brasiliensis*, 28(1), 43-43.

ALMEIDA, F.F.M., Y. HASUI, B.B. de BRITO NEVES, R.A FUCH, Brazilian structural provinces: An introduction, *Earth-Science Reviews*, Volume 17, Issues 1–2, 1981.

ALVARENGA, C.J.S., FUCH, R.A., PIMENTEL, M.M., DANTAS, E.L. (2017). The Northern Brasília Belt. In: Heilbron, M., Cordani, U., Alkmim, F. (eds) São Francisco Craton, Eastern Brazil. *Regional Geology Reviews*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-01715-0_11

ARANTES, D. OSBORNE, G.A. BUCK, P.S. & PORTO, C.G. 1991. The Mara Rosa volcano-sedimentary sequence and associated gold mineralization, In: LADEIRA.E.A. (ed.) *Brazil Gold'91*, Balkema, Rotterdam, p.221-229.

ARAÚJO FILHO, J.O. 2000. The Pirineus sintaxis: an example of the intersection of two brasiliano fold-thrust belts in central Brazil and its implications for the tectonic evolution of Western Gondwana. *Rev. Bras. Geociências*, 30(1):144-148.

ARAÚJO FILHO, J.O., ELTON L.D., MOURA M.A., BÜHN, B. MATTEINI, M. 2007. Trabalho Final de Graduação, Projeto Jaú-Peixe. Mapeamento geológico 1:50.000 das folhas Jaú e São Salvador Universidade de Brasília- Unb.

ARCANJO, João Batista Alves. *Fotogeologia: conceitos, métodos e aplicações*. Salvador: CPRM, 2011. 143 p. il. ISBN 9788574991368.

BARROS NETO, L. S. 2000. *Evolução Estrutural do Distrito Esmeraldífero de Campos Verdes, Goiás*. Brasília. Universidade de Brasília, Instituto de Geociências. Dissertação de Mestrado, 111p.

BIONDI, J. C. (2003). *Processos metalogenéticos e os depósitos minerais brasileiros*. Oficina de Textos.

BLAKELY, R.J., SIMPSON, R. W, 1986. Approximating edges of source bodies from magnetic or gravity anomalies: *Geophysics*, 51: 1494–1498.

CIMINELLI, R. R. (2005). 2. Desempenho Funcional dos Minerais. *Rochas & Minerais Industriais*, 31.

CLIMATEMPO. Climatologia e histórico de previsão do tempo em Mara Rosa, BR. Climatedpo, 2022. Disponível em: <<https://www.climatempo.com.br/climatologia/4945/mararosa-br>>. Acesso em: 31 de outubro de 2022.

CPRM. Geologia e Recursos minerais do Estado de Goiás e do Distrito Federal. Brasília: Universidade de Brasília, 2000.

CPRM. Geologia da folha Santa Terezinha de Goiás SD.22-Z-A-III, escala 1:100.000. Brasília: Universidade de Brasília, 2007.

CORDEIRO, P. F. de O., DE OLIVEIRA, C. G., GIUSTINA, M. E. S. D., DANTAS, E. L., SANTOS, R. V. 2014. The Paleoproterozoic Campinorte Arc: Tectonic evolution of a Central Brazil pre-Columbia orogeny. *Precambrian Research*, 251, 49–61. doi:10.1016/j.precamres.2014.06.002.

CORDEIRO, P. F. de O. 2014. Compartimentação geológica e geocronológica dos terrenos do embasamento norte da Faixa Brasília.

DEER. W.A., HOWIE, R.A., ZUSSMAN, J. 1963. *Rock forming minerals*. Londres, Longman, 558p.

D'EL REY SILVA, L. J. H.; BARROS NETO, L. S. 2002. The Santa Terezinha-Campos Verdes esmerald district, central Brazil: structural and Sm-Nd data to constrain the tectonic Evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt. *Journal of South American Earth Sciences* 15: 639-708.

EMBRAPA. ALOS - Advanced Land Observing Satellite. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/alos>>. Acesso em: 2 de ago. 2022.

FERREIRA FILHO, C. F. et al. 1992. The Niquelândia Mafic-Ultramafic Complex, Goiás, Brazil: A Contribution to the Ophiolite x Stratiform Controversy Based on New Geological and Structural Data. *Precambrian Research*, 59: 125-143.

FUCK, R. A., DANTAS, E. L., PIMENTEL, M. M., LAUX, J. H., JUNGES, S. L., OLIVEIRA, C. G., SORDI, D. A., CHIARINI, M. F. 2006. The Santa Terezinha sequence, Goiás magmatic arc, central Brazil: constraints from U-PB and SM-ND data.

GEHRING, A. U., FISCHER H., SCHILL E., GRANWEHR J., LUSTER J. 2007. The dynamics of magnetic ordering in a natural hemo-ilmenite solid

solution. *Geophysical Journal International*, Volume 169, Issue 3, June 2007, Pages 917–925.

GIUSTINA, M. E. S. D., OLIVEIRA, C. G., PIMENTEL, M. M., MELO, L. V., FUCK, R. A., DANTAS, E. L., BUHN, B. 2009. U-Pb and Sm-Nd constraints on the nature of the Campinorte sequence and related Palaeoproterozoic juvenile orthogneisses, Tocantins Province, central Brazil. *Geological Society, London, Special Publications*, 323(1), 255-269.

GIUSTINA, M.E.S.D., OLIVEIRA, C.G., PIMENTEL, M.M., BUHN, B., 2009. Neoproterozoic magmatism and high-grade metamorphism in the Goiás Massif: new LA-MCICMPS U–Pb and Sm–Nd data and implications for collisional history of the Brasília Belt.

GONÇALVES, C. C. A. Caracterização petrográfica dos alvos hidrotermais norte e sul, Suruca e porção NW da Mina de Chapada - Alto Horizonte/GO. 178p. Dissertação (TCC) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro, 2011.

HASUI, Y. COSTA.J.B.S. & HARALYI.N.L.E. 1994. Estrutura em quilha Brasil Central, uma feição fundamental na geologia de Goiás e Tocantins. *Geociências*, 13(2):463-497.

HASUI, Y. & ALMEIDA.F.F.M. DE 1970. Geocronologia do centro-oeste brasileiro. *Boi. Soc. Bras. Geol.* 19:5-26.

INPE/CBERS. Sobre o CBERS. Disponível em: <<http://www.cbbers.inpe.br/sobre/index.php>>. Acesso em: 2 de ago. 2022.

INPE/CBERS. CBERS 04A. Disponível em: <<http://www.cbbers.inpe.br/sobre/cbbers04a.php>>. Acesso em: 2 de ago. 2022.

JAMES, M. J. (2022). O depósito de Au-Ag-barita Zacarias, Orógeno Brasília, Brasil Central: mineralização vulcanogênica Toniana associada ao Arco Magmático Goiás.

JOFFILY, C. M. L. C. Gênese e controle do cianitito da Serra das Araras, Arco Magmático Mara Rosa. 2006. 78 f. Dissertação (mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

JOHNSON, S. E. Porphyroblast microstructures; a review of current and future trends. *American Mineralogist* 1999;; 84 (11-12): 1711–1726.

JOST, H., CHEMALE JR., F., FUCK, R.A., DUSSIN, I.A., 2013. Uv Complex, the oldest orthogneiss of the Archean-Paleoproterozoic terrane of central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 47, 201-212.

JUNGES, S. L. *et al.* Idades U-Pb de granitos sin- a tardi-tectônicos do Arco de Mara Rosa, Goias. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 41., 2002, João Pessoa. Anais... João Pessoa: SBGNE, 2002. p. 312.

JUNGES, S. L. *et al.* New ID-TIMS U-Pb ages in the western portion of the Mara Rosa Arc: two hundred million years of arc building. In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 4., 2003, Salvador. Short Papers. Salvador: CBPM; IRD, 2003. v. 1, p. 198-201.

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

KOPPEN, W. *Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra.* México: Fondo de Cultura Economica, 1948. 478 p.

KUYUMJIAN, R.M. 1989. Geoquímica e significado do posicionamento geotectnico de rochas plutônicas da região de Chapada, Goias, Brasil. In: CONG. BRAS. GEOQ. 2. Anais... SBGq-CPRM/DNPM, Rio de Janeiro, pp. 195-201.

KUYUMJIAN, R. M. The geochemistry and tectonic significance of amphibolites from the Chapada sequence, central Brazil. 1989. 289 f. Thesis (PhD) - University of London, London, 1989.

LACERDA, H. As mineralizações auríferas da região de Mara Rosa (GO). *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 16, p. 274-284, 1986.

LUYENDYK, A.P.J. 1997. Processing of airborne magnetic data. *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, 17 (2): 31-38.

LUZ, A. B. D., & FINS, F. A. F. (2008). Rochas & minerais industriais: usos e especificações.

MACHADO, E.C. 1981. Novas considerações e integração geológica na região de Pilar-Crixás/Mara Rosa-Porangatu. In: SIMP. GEOL. CENTRO-OESTE, 1. Goiânia, Ata... Soc. Brás. Geologia, pp.300-318.

MARTINS-FERREIRA, Marco Antonio Caçador. Farid Chamale Jr., Airton Natanael Coelho Dias, José Eloi Guimarães Campos. Proterozoic

intracontinental basin succession in the western margin of the São Francisco Craton: Constraints from detrital zircon geochronology, 2018.

MARQUES, Gustavo Campos. Geologia dos grupos Araí e Serra da Mesa e seu embasamento no sul do Tocantins. 2009. 122 f. Dissertação (Mestrado em Geologia)-Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

MELO, L. V. Compartimentação geocronológica dos depósitos de Cu-Au e Au do Distrito Chapada-Mara Rosa-Campinorte no Arco Magmático de Goiás, Brasil Central 2006. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

MORAES, R.; BROWN, M.; FUCK, R.A.; CAMARGO, M.A.; LIMA, T.M. 2002, Characterization and P–T evolution of melt-bearing ultrahigh- temperature granulites: an example from the Anápolis– Itauçu Complex of the Brasília Fold Belt, Brazil, *Journal of Petrology*, v. 43, n. 9, p. 1673–1705.

NABIGHIAN, M. N., 1972, The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: Its properties and use for automated anomaly interpretation: *Geophysics*, 37: 507–517.

NABIGHIAN, M. N., V. J. S. Grauch, R. O. Hansen, T. R. LaFehr, Y. Li, J. W. Peirce, J. D. Phillips, and M. E. Ruder, 2005, The historical development of the magnetic method in exploration: *Geophysics*, 70, 6: 33ND–61ND.

OLIVEIRA, F. B. *et al.* Características epigenéticas do depósito de Cu-Au Chapada, Arco Magmático de Goiás. 2009.

OLIVEIRA, C. G. *et al.* The Cooper-gold and gold deposits of the Neoproterozoic Mara Rosa magmatic arc, central Brazil. *Ore Geology Reviews*, Amsterdam, v. 25, p. 285-299, 2004.

OLIVEIRA, C. G.; QUEIROZ, C. L.; PIMENTEL, M. M. The Arenópolis-Mara Rosa gold-copper belt, Neoproterozoic Goiás Magmatic Arc. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 30, p.219-221, 2000.

Oliveira, C. G., Oliveira, F. B., Dantas, E. L., Fuck, R. A., & Almeida, T. (2006). Nota Explicativa e Mapa Geológico da Folha Campinorte (Folha SD. 22-XD-IV, 1: 100.000). *Brasília, CPRM*.

OLIVEIRA, C.G; OLIVEIRA, F. B.; DANTAS, E.L.; FUCK, R. A. Geologia da Folha Campinorte- GO SD.22-Z-B-I: Goiás: UnB/CPRM, 2007.

OLIVEIRA, C. G., DE OLIVEIRA, F. B., DELLA GIUSTINA, M. E. S., MARQUES, G. C., DANTAS, E. L., PIMENTEL, M. M., & BUHN, B. M. (2016).

The Chapada Cu–Au deposit, Mara Rosa magmatic arc, central Brazil: constraints on the metallogenesis of a Neoproterozoic large porphyry-type deposit. *Ore Geology Reviews*, 72, 1-21.

PALERMO, N. Le Gisement aurifère précambrien de Posse (Goiás, Bresil) dans son cadre géologique. 1996. 175 f. These (Doctorat) - ENSPM, Paris, 1996. Anexes.

PALERMO, N.; PORTO, C. G.; COSTA JR., C. N. The Mara Rosa gold district, central Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 30, n. 2, p. 256-260, 2000.

PASSCHIER, C. W., & TROUW, R. A. J. 2005. *Microtectonics*, 366 pp.

PIMENTEL, M. M. *et al.* The Mara Rosa Arc in the Tocantins Province: further evidence for Neoproterozoic crustal accretion in central Brazil. *Precambrian Research*, Berlin, n. 81. p. 299-310, 1997.

PIMENTEL, M. M. & FUCK, R. A. 1992. Neoproterozoic crustal accretion in central Brazil. *Geology*, 20:375-379.

PIMENTEL, M.M., FUCK, R.A., JOST, H., FERREIRA FLHO, C.F., ARAÚJO, S.M. 2000. The basement of the Brasília Fold Belt and the Goiás Magmatic Arc. In: Cordani U.G., Milani E.J., Thomaz Filho A., Campos D.A. (eds.). *The Tectonic Evolution of South America*. Rio de Janeiro, 31st International Geological Congress, p. 195-229.

PIMENTEL, M.M., WHITEHOUSE, M.J., VIANA, M.J., FUCK, R.A., MACHADO, N. 1997. The Mara Rosa arc in the Tocantins Province: Further evidence for Neoproterozoic crustal accretion in central Brazil. *Precambrian Research*, 81:299-310.

POLL, N. J. (1994). *Geology of the Zacarias gold-silver-barite deposit, Goiás State, Brazil, The. 1990-1999-Mines Theses & Dissertations.*

QUEIROZ G.L., SALAMUNI E., NASCIMENTO E.R. 2014. AzimuthFinder: ferramenta para extração de dados e apoio na análise estrutural. *Geologia USP, Série científica*, São Paulo, v. 14, n.1, p. 69-80.

REEVES, C. (ed) 2005. *Aeromagnetic Surveys Principles, Practice & Interpretation*. Geosoft., 155p.

RICHARDSON, S.V. JONES J.P & KESSLER.S.E. 1988. Strontium isotopic geochemistry of Pan-African/ Brasília rocks, Chapada copper deposit. *Econ. Geol.* 81:1884-1898.

RICHARDSON, S. V., KESLER, S. E., ESSENE, E. J., & JONES, L. M. (1986). Origin and geochemistry of the Chapada Cu-Au deposit, Goiás, Brazil; a metamorphosed wall-rock porphyry copper deposit. *Economic Geology*, 81(8), 1884-1898.

ROBB, L. (2005). Introduction to ore forming processes. Blackwell, 373 p.

ROEST, W. R., J. VERHOEF, and M. PILKINGTON, 1992. Magnetic interpretation using 3D analytic signal: *Geophysics*, 57: 116–125.

SANTOS, M. V. Zoneamento Sócio-Econômico-Ecológico: diagnóstico sócio-econômico-ecológico do Estado de Mato Grosso e assistência técnica na formulação da 2ª aproximação. Cuiabá, MT; SEPLAN-MT, 2000.

SIC-Superintendência de geologia e mineração. Sistema de Informações Geográficas do Estado de Goiás, acessado em 17/06/22 <<http://www2.sieg.go.gov.br/>>.

SOARES, J. E. P.; BERROCAL, J.; FUCK, R. A.; MOONEY, W. D.; VENTURA, D. B. R. 2006. Seismic characteristics of central Brazil crust and Upper mantle: a deep seismic refraction study. *Journal of Geophysical Research*, USA, v. 111, n. b12302, p. 1029-1060, 2006.

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

SORDI, Diogo Alves de. Aerogeofísica aplicada à compreensão do sistema de empurrões da sequência Santa Terezinha de Goiás, Brasil Central. 2007. 130 f. Dissertação (Mestrado em Geologia)-Universidade de Brasília, Brasília, 2007

SOUZA, J. O.; LEÃO NETO, R. 1984. Projeto Estudo dos Garimpos brasileiros. Mapeamento geológico do garimpo de esmeraldas de Santa Terezinha de Goiás. Goiânia, DNPM/CPRM, 65p.

TASSINARI, C.C.G. SIGA JR.O. & TEIXEIRA.W. 1981. Panorama geocronológico do centro-oeste brasileiro: soluções, problemática e sugestões, In: SIMP. GEOL. CENTRO-OESTE, 1. Goiânia, Brasil, Atos... SBG,v.I,pp.93-116.

UHLEIN, A.; FONSECA, M. A.; SEER, H. J.; DARDENNE, M. A. 2012. Tectônica da faixa de dobramentos Brasília - setores setentrional e meridional. *Geonomos*, 20(2), 1-14.

UNRUG, R. 1992. The supercontinent cycle and Gondwanaland assembly: component cratons and the timing of suturing events. *J. Geodyn.* 16, 2 15-240.

VIANA, M. G.; PIMENTEL, M.; WHITEHOUSE, M. J.; FUCK, R. A.; MACHADO, N. 1995. O arco magmático de Mara Rosa, Goiás: geoquímica e geocronologia e suas implicações regionais. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 25. p. 111-123.

VIANA, M.G. 1995. Geocronologia e geoquímica das rochas ortognáissicas e metavulcânicas da região de Mara Rosa, norte de Goiás. Dissertação de Mestrado, Univ. Brasília, 118p.