



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

**TRABALHO DE MAPEAMENTO GEOLÓGICO FINAL  
ÁREA X**

**PROJETO MARA ROSA**

Heitor Augusto Bitencourt - 180032771

Miguel Oliveira da Costa - 180107291

**Brasília – DF, 2023.**

## FOLHA DE APROVAÇÃO

TRABALHO DE MAPEAMENTO GEOLÓGICO FINAL – PROJETO MARA ROSA TF  
2022

Autores: Heitor Augusto Bitencourt e Miguel Oliveira da Costa

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:

---

Claudinei Gouveia de Oliveira - Orientador  
Professor da Universidade de Brasília - (UnB)

---

Catarina Labouré Bemfica Toledo - Membro  
Professora da Universidade de Brasília - (UnB)

---

Reinhardt Adolfo Fuck - Membro  
Professor da Universidade de Brasília - (UnB)

Brasília, 13 de fevereiro de 2023

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

Heitor Augusto Bitencourt 180032771

Miguel Oliveira da Costa 180107291

TF 2022/2023 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)

Maria Emília Schutesky Della Giustina (co-orientadora)

Elton Luiz Dantas

Guilherme de Oliveira Gonçalves

Henrique Llacer Roig

Luís Gustavo Ferreira Viegas

Natalia Hauser

Roberta Mary Vidotti

Valmir da Silva Souza

BRASÍLIA/DF

2023

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pelo dom da vida e por ter me dado a oportunidade de estudar e aprender um pouco mais sobre as maravilhas desta Terra.

Agradeço também à minha família, em especial meu pai, Ivair Bitencourt de Souza, que não pode ver o fim desta jornada mas que me fez ser o homem que eu sou (eu consegui, pai!), à minha mãe, Isis Alves Silva, que sempre me apoiou e me ajudou a erguer a cabeça nos dias mais difíceis, a minha avó, Maria Firmina Alves Silva, que me presenteou com todo amor e carinho que eu jamais poderia pedir e que me ensinou a sorrir para esta vida, e a minha tia, Danielle Silva Ramanery, que me ensinou que não há nada de errado em viver as coisas boas da vida.

Agradeço a minha grande amiga Luísa Mendes de Oliveira, que ao longo de todos esses anos de amizade sempre me apoiou e sempre me ajudou a focar nos caminhos de Deus e seguir confiando Nele.

Meus mais sinceros agradecimentos a toda a equipe do Projeto Mara Rosa, em especial ao Professor Claudinei Gouveia de Oliveira e aos demais orientadores pelos ensinamentos, instruções e assistência. Aos motoristas Serjão, Mendes e Péricles pela presteza e amizade de sempre.

Agradeço também aos professores Federico Alberto Cuadros Jimenez, Tiago Luis Reis Jalowitzki e Adalene Moreira Silva que, ao longo da graduação, me ensinaram sobre as belezas da Geologia.

Agradeço também à minha inspiração nesse mundo geológico, e grande amigo, Lucas Santos Batista Teles, por todo o companheirismo e disponibilidade ao longo da minha formação.

Por último, mas não menos importante, agradeço aos meus grandes amigos e parceiros de estudo, risadas e discussões sobre os mistérios do universo Carlos Eduardo dos Reis Santos, Humberto Alexandre de Paula Correia, Tiago Pedrosa Lyra, Lucas Cunha Moreira, Vitor Alves Pereira, Samuel Camilo Teixeira Rios, Cauê Oliveira Miranda, em especial, a minha dupla e meu amigo Miguel Oliveira da Costa, por toda a paciência, companheirismo, organização e empenho durante todo esse tempo.

*Heitor Augusto Bitencourt*

Agradeço primeiramente a Deus, por sempre me colocar no caminho certo, especialmente no caminho da geologia, e me guiar em todos os momentos da vida. Também à minha família, Marcio Alves de Oliveira, Michele Dias da Costa de Oliveira e Manuela Oliveira da Costa, por toda a confiança e apoio que sempre me deram.

Agradeço ao Professor José Eloi Guimarães Campos, por todo esforço e dedicação para com os estudantes, possibilitando minha participação, e de muitos outros, neste trabalho. Agradeço também por toda a contribuição para minha formação como geólogo, com seus variados conselhos e ensinamentos ao longo deste período. Ao mentor e amigo Lucas Santos Batista Teles, por toda a dedicação e disponibilidade durante minha formação acadêmica, estando sempre pronto para me ajudar a alcançar as respostas que procurava.

Ao Professor Claudinei Gouveia de Oliveira, pela coordenação deste trabalho, bem como por toda a confiança depositada, os ensinamentos e as oportunidades oferecidas ao longo deste período. Aos Professores Elton Luiz Dantas, Natalia Hauser, Luís Gustavo Ferreira Viegas, Maria Emília Schutesky, Roberta Mary Vidotti, Valmir da Silva Souza e Guilherme de Oliveira Gonçalves, por toda a orientação e atenção para com as correções do trabalho, bem como às Professoras Catarina Labouré Bemfica Toledo, Rejane Ennes Cicerelli, Eliza Inez Nunes Peixoto e Adalene Moreira Silva, por todas as contribuições para minha formação profissional. A Igor Praxedes por toda a ajuda ao longo do projeto e pelas valiosas dicas, que muito contribuíram para a conclusão deste trabalho, e a Luca de Moraes Ohashi, membro vitalício da Área X.

Por fim, agradeço a Ana Paula Schuertz Costa, por todo o apoio e companheirismo ao longo do último ano, e a meus grandes amigos Carlos Eduardo dos Reis Santos, Tiago Pedrosa Lyra, Humberto Alexandre de Paula Correia, Lucas Cunha Moreira, Cauê Oliveira Miranda, Marco Aurélio da Rocha Alves Brito, James Souza Jardim, Vitor Alves Pereira, Samuel Camilo Teixeira Rios, Arthur Souza do Amaral, Matheus Costa Bracioli, Marco Túlio Dias do Couto, Luis Fernando Rodrigues, Guilherme Trigilio e Matheus Moreira, por todos os momentos que não podem ser descritos em tão poucas palavras. Em especial, ao meu companheiro ao longo de toda a graduação, Heitor Augusto Bitencourt, por todo esforço e dedicação para com este trabalho e por toda a jornada que percorremos nos últimos anos.

*Miguel Oliveira da Costa*

## RESUMO

O Projeto Mara Rosa representa o Trabalho Final de Graduação em Geologia do ano de 2022, executado no âmbito do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília. O trabalho teve como objetivo principal a confecção de mapa geológico, em escala 1:25.000, em parte dos municípios de Mara Rosa e Alto Horizonte, localizados na porção norte do estado de Goiás. A área mapeada totaliza 665,5 km<sup>2</sup>, sendo dividida em 11 subáreas, sendo o presente relatório correspondente aos resultados da Área X. O Projeto Mara Rosa abrange parte de dois grandes domínios geotectônicos principais, a saber, o Arco Magmático de Goiás - Segmento Mara Rosa, de idade neoproterozoica, e o Arco Magmático Campinorte, correspondente ao embasamento paleoproterozoico da região. As unidades descritas na Área X incluem: Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte, intrusões paleoproterozoicas da Suíte Pau de Mel, Complexo Granulítico Uruaçu, Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa, Ortognaisse Amarolândia, Grupo Serra da Mesa e as rochas intrusivas tardi a pós-tectônicas Leucogranitos Bom Jesus, sendo que os terrenos paleoproterozoicos afloram, no contexto do Projeto Mara Rosa, exclusivamente na Área X. Os dados adquiridos em campo, juntamente com análises petrográfica e estruturais posteriores, resultaram na identificação de quatro episódios deformacionais na região, associados à evolução do Arco Magmático Mara Rosa, bem como na identificação de metamorfismo em fácies xisto verde a granulito, e potencial metalogenético associado, principalmente, a sistemas pórfiro, orogênico e residual/supergênico.

**Palavras chave:** Arco Magmático Mara Rosa, Arco Magmático Campinorte, Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa, Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte, Paleoproterozoico.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALOS - *Advanced Land Observing Satellite*  
AM - Anomalia Magnética  
ASF - *Alaska Satellite Facility*  
CA - Cráton Amazônico  
CAST - Academia Chinesa de Tecnologia Espacial  
CBERS - *China-Brazil Earth Resources Satellite*  
CMT - Campo Magnético Total  
CP - Cráton Parapanema  
CPRM - Serviço Geológico do Brasil  
CSF - Cráton São Francisco  
Dx - Primeira Derivada horizontal do CMA no eixo X  
Dy - Primeira Derivada horizontal do CMA no eixo Y  
Dz - Primeira derivada vertical do CMA  
ERTS - *Earth Resources Technology Satellite*  
eTh - Equivalente de Tório  
eU - Equivalente de Urânio  
FBN - Faixa Brasília Norte  
FBS - Faixa Brasília Sul  
FUNMINERAL - Fundo de Fomento à Mineração  
Ga - Bilhões de anos  
GHT - Gradiente Horizontal Total  
GPS - Global Positioning System  
ICP - *Inductively Coupled Plasma*  
IG - Instituto de Geociências  
INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária  
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia  
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
JAXA - *Japan Aerospace Exploration Agency*  
Landsat - *Land Remote-Sensing Satellite (System)*  
LTB - Lineamento Transbrasiliano  
LWIR - *Longwave Infrared*  
Ma - Milhões de anos  
MDE - Modelo Digital de Elevação  
MME - Ministério das Minas e Energia  
NASA - *National Aeronautics and Space Administration*  
NIR - *Near-infrared spectroscopy*  
OLI - *Operational Land Imager*  
PALSAR - *Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar*  
PCA - Plano de Controle Ambiental

PMR - Projeto Mara Rosa  
ppm - Partes por milhão  
PRISM - *Panchromatic Remote-Sensing Instrument for Stereo Mapping*  
PSX - Sintaxe dos Pirineus  
RGB - *Red - Green - Blue*  
RIGeo - Repositório Institucional de Geociências  
SA3D - Sinal Analítico em três dimensões  
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  
SRTM - *Shuttle Radar Topographic Mission*  
SST - Sequência Santa Terezinha  
SWIR - *Shortwave Infrared*  
TIRS - *Thermal Infrared Sensor*  
UnB - Universidade de Brasília  
USGS - *United States Geological Survey*  
UTM - Universal Transversa de Mercator  
WPM - Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura  
ZCA - Zona de Cisalhamento Amarolândia  
ZCBJ - Zona de Cisalhamento Bom Jesus  
ZCR - Zona de Cisalhamento Ribeirãozinho

aln - alanita	grt - granada
anf - anfibólio	hbl - hornblenda
ap - apatita	ilm - ilmenita
bo - bornita	kf - feldspato potássico
bt - biotita	ky - cianita
chl - clorita	mg - magnetita
cpx - clinopiroxênio	ms - muscovita
cpy - calcopirita	pl - plagioclásio
dio - diopsídio	plg - plagioclásio
ep - epidoto	
pr - pirrotita	
py - piritita	
qtz - quartzo	
rt - rutilo	
sr - sericita	
st - estaurolita	
ttn - titanita	

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1.1:** Mapa de Localização da área do Projeto Mara Rosa, mostrando suas principais vias de acesso e divisão em 11 áreas.

**Figura 1.2:** Trajeto rodoviário de Brasília (DF) até Mara Rosa (GO). Fonte: Google Earth Pro.

**Figura 1.3:** Mapa de pontos da Área X, evidenciando, em diferentes cores, as datas de coleta dos dados e quantidade de pontos descritos em cada um dos dias.

**Figura 1.4:** Dados climatológicos anuais do município de Mara Rosa (GO), referentes às médias dos últimos 30 anos. Fonte: Climatempo (2022).

**Figura 1.5:** Unidades geomorfológicas do Projeto Mara Rosa. Fonte dos dados: portal SIEG (Sistema de Informações Geográficas do Estado de Goiás).

**Figura 1.6:** Vista panorâmica para leste da Área X. Nesta foto pode ser observado o contraste entre as unidades de relevo presentes na Área X, onde a superfície de aplainamento representa as unidades metavulcanossedimentares, enquanto os morros e colinas correspondem ao Grupo Serra da Mesa.

**Figura 1.7:** Solos observados, em campo, na Área X. (A) Neossolo Litólico. (B) Cambissolo Háplico. (C) Latossolo Vermelho-Amarelo. (D) Concreção laterítica.

**Figura 1.8:** Cobertura de solos do Projeto Mara Rosa. Fonte dos dados: portal SIEG (Sistema de Informações Geográficas do Estado de Goiás).

**Figura 1.9:** Vista panorâmica com direção para oeste das áreas de pastagem da Área X.

**Figura 1.10:** Cobertura vegetal do Projeto Mara Rosa. Fonte dos dados: portal SIEG (Sistema de Informações Geográficas do Estado de Goiás).

**Figura 1.11:** Hidrografia da Área X, observada em campo. (A) Drenagem intermitente, em fase de seca. (B) Rio do Bois em fase de cheia, após fortes chuvas nos dias anteriores.

**Figura 1.12:** Hidrografia do Projeto Mara Rosa. Fonte dos dados: portal SIEG (Sistema de Informações Geográficas do Estado de Goiás).

**Figura 2.1:** Mapa mostrando a Localização da Província Tocantins no contexto geotectônico do Brasil (A) Destaque para a área de estudo, em preto; (B) Destaque para o Orógeno Brasília. (Adaptado de Fuck *et al.*, 2017).

**Figura 2.2:** Mapa geológico com disposição e idade das principais unidades geológicas do Orógeno Brasília. (Adaptada de Fuck *et al.*, 2017).

**Figura 2.3:** Mapa Geológico do Arco Magmático de Mara Rosa, evidenciando as sequências metavulcanossedimentares Mara Rosa (900-800 Ma) e Santa Terezinha (670-600 Ma). Fonte: Adaptado de Oliveira *et al.* (2016).

Figura 2.4: Unidades litoestratigráficas presentes na área do Projeto Mara Rosa, segundo dados da CPRM (Folhas Campinorte e Santa Terezinha, 2006). Trabalhos recentes (Oliveira, 2016 e Mapeamento Geológico 2 - Projeto Mara Rosa, 2022) promoveram melhor caracterização dos contatos litológicos, sendo as informações referentes à Folha Campinorte utilizadas de maneira majoritariamente qualitativa, indicando, previamente ao trabalho de campo, as unidades encontradas na região.

**Figura 3.1:** Etapas de processamento dos dados de sensoriamento remoto do Projeto Mara Rosa.

**Figura 3.2:** Relevo sombreado e curvas de nível geradas a partir do MDE ALOS PALSAR utilizado no Projeto Mara Rosa. (A) Relevo sombreado das áreas do Projeto. (B) Relevo sombreado da Área X. (C) Curvas de nível da Área X com espaçamento de 50 metros.

**Figura 3.3:** Hipsometria da região de estudo do Projeto Mara Rosa, destacando as regiões mais elevadas do terreno em cores quentes, enquanto as regiões de menor altitude aparecem em cores frias.

**Figura 3.4:** Composições coloridas da imagem CBERS 04A utilizada no Projeto Mara Rosa.

**Figura 3.5:** Análise de componentes principais da imagem CBERS 04A utilizada no Projeto Mara Rosa. (A) Banda 1. (B) Banda 2. (C) Banda 3. (D) Banda 4.

**Figura 3.6:** Composições coloridas da imagem Landsat 8 utilizada no Projeto Mara Rosa.

**Figura 3.7:** Análise de componentes principais da imagem Landsat 8 utilizada no Projeto Mara Rosa. (A) Banda 2. (B) Banda 3. (C) Banda 4. (D) Banda 5. (E) Banda 6. (F) Banda 7.

**Figura 3.8:** Lineamentos de drenagem e lineamentos de relevo das áreas do Projeto Mara Rosa, com suas orientações preferenciais destacadas em diagramas de roseta.

**Figura 3.9:** Mapa Base simplificado referente à Área X do Projeto Mara Rosa.

**Figura 3.10:** Localização do Levantamento Aerogeofísico do Estado de Goiás - 1ª Etapa: Arco Magmático de Mara Rosa, destacando a área recoberta. Fonte: adaptado de LASA (2004).

**Figura 3.11:** Fluxograma relacionando os produtos gamaespectrométricos utilizados no Projeto Mara Rosa.

**Figura 3.12:** Produtos gamaespectrométricos primários, referentes à Área X do Projeto Mara Rosa. (A) Contagem Total. (B) Potássio. (C) Equivalente de Tório. (D) Equivalente de Urânio.

**Figura 3.13:** Composição colorida dos canais de K, eTh e eU, referente às áreas do Projeto Mara Rosa. À direita, destaque para a Área X, com maior realce da escala de cores.

**Figura 3.14:** Fluxograma relacionando os produtos magnetométricos utilizados no Projeto Mara Rosa.

**Figura 3.15:** Produtos magnetométricos aplicados, referentes à Área X do Projeto Mara Rosa. (A) Anomalia Magnética. (B) Primeira Derivada Vertical. (C) Gradiente Horizontal Total. (D) Sinal Analítico 3D.

**Figura 3.16:** Mapa de domínios gamaespectrométricos referente às áreas do Projeto Mara Rosa.

**Figura 3.17:** Mapa de lineamentos magnéticos referente às áreas do Projeto Mara Rosa.

**Figura 3.18:** Mapa geológico-geofísico preliminar do Projeto Mara Rosa, relacionando as interpretações gamaespectrométricas com o mapeamento geológico em escala 1:100.000 apresentado pela CPRM (2007).

**Figura 4.1:** Mapa Geológico Integrado do Projeto Mara Rosa (versão simplificada). A versão completa encontra-se no Apêndice III.

**Figura 5.1:** Mapa Geológico simplificado da Área X do Projeto Mara Rosa (versão simplificada). Mapeamento realizado em escala 1:25000. A versão completa encontra-se no Apêndice V.

**Figura 5.2:** Exemplos de afloramentos tipicamente observados de rochas da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte. (A) Blocos *in situ* de rochas metavulcânicas. (B) Paredão de xistos expostos.

**Figura 5.3:** Rochas de falha, do tipo tectonito L, comumente observadas no contexto da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte, caracterizadas por veios de quartzo estirados, com alongamento N-S.

**Figura 5.4:** Aspectos gerais de metadacito TF22-X-38, aflorante na porção norte da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte (Área X). (A) Amostra de mão, de coloração esverdeada, com foliação e presença de fenocristais de quartzo e plagioclásio imersos na matriz, indicando sua textura vulcânica. (B) e (C) Fotomicrografias (2,5x) evidenciando fenocristais de plagioclásio deformados, imersos em matriz felsítica recristalizada. (D) e (E) Fotomicrografias (2,5x) em que se observam fenocristais de plagioclásio imersos em matriz felsítica recristalizada, com destaque para os domínios de clorita associados. Não foram encontradas, nesta mostra, seções ideais para medição do teor de An do plagioclásio.

**Figura 5.5:** Aspectos gerais de metadacito TF22-X-88, aflorante no extremo leste da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte (Área X). (A) Amostra de mão, de coloração acinzentada, com presença de fenocristais em meio à matriz fina, parcialmente recristalizada. (B) e (C) Fotomicrografias (5,0x) evidenciando os fenocristais de quartzo e plagioclásio deformados, imersos em matriz recristalizada. (D) e (E) Fotomicrografias (2,5x) à luz refletida, destacando os fenocristais de magnetita subedrais a euedrais disseminados na rocha.

**Figura 5.6:** Aspectos gerais de metariolito TF22-X-202 da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte, aflorante na porção sul da área de estudo. (A) Amostra de rocha com coloração acinzentada e fenocristais de quartzo, sanidina e plagioclásio em meio à matriz afanítica. (B) e (C) Fotomicrografias (2,5x) evidenciando os fenocristais deformados de sanidina, com bandamento por fluxo, imersos em matriz recristalizada, além do domínio granoblástico estirado. (D) e (E) Fotomicrografias (2,5x) destacando a rotação dos fenocristais e a deformação geral da rocha, além da alteração parcial dos minerais primários para epidoto e sericita (sericitização).

**Figura 5.7:** Aspectos gerais do xisto TF22-X-7, da porção nordeste da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte. (A) Amostra macroscópica com coloração cinza e planos de foliação submilimétricos. (B) e (C) Fotomicrografias (2,5x) evidenciando a foliação da rocha (D) e (E) Fotomicrografias (5x) destacando a intercalação entre domínios granoblásticos e lepidoblásticos.

**Figura 5.8:** Aspectos gerais do xisto TF22-X-209, da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte. (A) Amostra de mão com coloração escura, evidências de oxidação e foliação milimétrica. (B) e (C) Fotomicrografias (2,5x) evidenciando porfiroblasto de pseudomorfo de granada, substituída por hematita, em meio aos planos de foliação da rocha. Nota-se também a presença de inclusões orientadas dentro dos porfiroblastos, indicando caráter sin-tectônico. (D) e (E) Fotomicrografias (2,5x) destacando a presença de sericita em meio aos domínios quartzosos. (F) e (G) Fotomicrografias à luz refletida (2,5x), em que é possível observar inclusões de ilmenita associadas aos porfiroblastos oxidados de granada.

**Figura 5.9:** Fotomicrografia (10x) da amostra TF22-X-209, destacando a ocorrência de turmalina em seção basal e com zonação composicional.

**Figura 5.10:** Tipos de afloramentos mais comuns para as rochas da Suíte Pau de Mel. (A) Lajedo. (B) Blocos in situ e blocos rolados.

**Figura 5.11:** Detalhe das rochas com deformação intensa, características da Suíte Pau de Mel. Granito ultramilonítico com bandamento composicional com detalhe para a crenulação desenvolvida nos domínios lepidoblásticos.

**Figura 5.12:** Aspectos gerais de pseudotaquilitos associados aos corredores deformacionais N-S.

**Figura 5.13:** Aspectos gerais do tonalítico milonitizado TF22-X-82 (Suíte Pau de Mel). (A) Amostra de mão. (B) e (C) Fotomicrografias (2,5x) exibindo a variação entre domínios granoblásticos com quartzo estirado e domínios lepidoblásticos com biotita, além de ocorrências de epidoto. (D) e (E) Fotomicrografias (2,5x) com destaque para a sericitização dos minerais primários e para a presença de titanita euédrica.

**Figura 5.14:** Aspectos gerais do granito milonitizado TF22-X-103 (Suíte Pau de Mel). (A) Amostra de mão, com foliação milonítica e estiramento mineral evidentes. (B) e (C) Fotomicrografias (2,5x) exibindo a intercalação entre domínios granoblásticas quartzo-feldspáticos e domínios lepidoblásticos com biotita e muscovita.

**Figura 5.15:** Aspectos gerais do granito ultramilonítico TF22-X-33 (Suíte Pau de Mel). (A) Amostra de mão, exibindo oxidação por intemperismo. (B) e (C) Fotomicrografias (2,5x) exibindo matriz sericitizada dominante, com eventuais porfiroclastos de quartzo fraturados e rotacionados, além de fraturas preenchidas por minerais opacos. (D) e (E) Fotomicrografias à luz refletida (5x), com destaque para a disseminação de oxi-hidróxidos de ferro ao longo da rocha. Normalmente, a hematita é encontrada ao longo dos planos de fratura.

**Figura 5.16:** Aspectos gerais do granulito ortoderivado, de composição máfica, TF22-X-40A, pertencente ao Complexo Uruaçu. (A) Amostra melanocrática, de granulação fina a média e capa intempélica marrom. (B) e (C) Fotomicrografias (2,5x) evidenciando o arranjo entre os cristais de hiperstênio e minerais opacos. Observa-se clorita nas bordas e interstícios dos cristais de ortopiroxênio. (D) e (E) Fotomicrografias à luz refletida (2,5x), destacando a disseminação de magnetita na rocha.

**Figura 5.17:** Aspectos gerais do granulito paraderivado TF22-X-40B, pertencente ao Complexo Uruaçu. (A) Amostra de mão, com coloração cinza-esbranquiçado, granulação média e cristais de granada subedrais, de cor vermelha e tamanho submilimétrico. A rocha apresenta bandamento composicional milimétrico. (B) e (C) Fotomicrografias (2,5x) evidenciando o arranjo granoblástico entre quartzo e granada, além do contato suturado entre os cristais de quartzo, indicando seu grau deformacional elevado. (D) e (E) Fotomicrografias (2,5x) com destaque para as microinclusões de quartzo e muscovita presentes nos porfiroblastos de granada.

**Figura 5.18:** Aspectos gerais do granulito paraderivado TF22-X-41. (A) Amostra de mão, intensamente deformada e oxidada, em que se observam domínios composicionais quartzo-feldspáticos com sillimanita e domínios ricos em granada e biotita. (B) e (C) Fotomicrografias (2,5x) exibindo boudins de sillimanita em meio aos domínios granoblásticos estirados. (D) e (E) Fotomicrografias (2,5x) com destaque para granada com bordas oxidadas, sillimanita preservada e domínios sericitizados. (F) e (G) Fotomicrografias à luz refletida (2,5x) com destaque para as ocorrências de magnetita disseminada na rocha.

**Figura 5.19:** Área com pasto e, ao fundo, pequena área florestada, típica de cerrado. Esta configuração é comum à Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa, na porção oeste da Área X (fotografia para sudoeste).

**Figura 5.20:** Afloramentos característicos dos anfibolitos da Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa. (A) Pequeno lajedo próximo ao limite oeste da Área X. (B) Indícios de deformação em afloramento de anfibolito.

**Figura 5.21:** Aspectos macroscópicos típicos dos anfibolitos relacionados à Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa. (A) Rocha com textura diablástica, marcada por cristais de hornblenda sem orientação preferencial. (B) Domínios ricos em quartzo e feldspatos, em meio aos anfibólios.

**Figura 5.22:** Aspectos gerais do muscovita-clorita xisto TF22-X-227, associado à porção sul da Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa na Área X, próximo a zona de falha Rio dos Bois. (A) Amostra de mão mostrando foliação da rocha. (B) e (C) Fotomicrografia (5x) exibindo xistosidade contínua, marcada pela orientação dos cristais de muscovita. (D) e (E) Fotomicrografia em luz refletida (10x) com destaque para os cristais subedrais de magnetita.

**Figura 5.23:** Afloramento em corte de estrada (GO-347), mostrando paragneisses intemperizados da Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa. Fotografia para sul. (A) Arqueamento da foliação, atribuído à sobrecarga causada pelo peso do perfil de solo acima do pacote de rochas. (B) Destaque para o bandamento composicional do paragneisse, marcado por domínios quartzosos e domínios micáceos.

**Figura 5.24:** Amostra de paragneisses da Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa, encontrada nos limites da Área IX, a oeste. Destaque para os domínios micáceos intercalados com porções quartzo-feldspáticas, contendo também porfiroblastos de granada. Exemplo de feição preservada da unidade.

**Figura 5.25:** (A) Agregados de anfibólio fino acicular, possivelmente actinolita. (B) Destaque para associação com os veios de quartzo, que favorecem a percolação de fluidos hidrotermais e formação de minerais calcissilicáticos.

**Figura 5.26:** Padrão de relevo e afloramento do Ortognaisse Amarolândia no extremo SW da Área X. (A) Afloramento na forma de blocos in situ. (B) Lascas imbricadas do Ortognaisse Amarolândia, com alto ângulo de mergulho.

**Figura 5.27:** Aspectos gerais do Ortognaisse Amarolândia, no contexto da Área X. (A) Foliação submilimétrica. (B) Detalhe para o bandamento composicional incipiente, resultado de segregação metamórfica.

**Figura 5.28:** Aspectos gerais do ortognaisse tonalítico TF22-X-130, associado ao Ortognaisse Amarolândia, na porção SW da Área X. (A) Gnaisse rico em biotita cloritizada. (B) e (C) Fotomicrografias (2,5x) mostrando a foliação marcada por domínios lepidoblásticos intercalados com domínios granoblásticos. (D) e (E) Fotomicrografias (5x) destacando as fitas de quartzo orientadas paralelamente à foliação, bem como evidências do processo de cloritização secundária e da rotação dos cristais mais grossos de epidoto.

**Figura 5.29:** Aspectos gerais das rochas associadas ao Grupo Serra da Mesa. (A) Quartzito de granulação fina com presença de muscovita. (B) Quartzo-muscovita xisto com intercalações de domínios granoblásticos quartzosos e domínios lepidoblásticos.

**Figura 5.30:** Afloramento de granito (Bom Jesus) na forma de lajedo, localizado na margem sul da GO-347, na porção norte da Área X.

**Figura 5.31:** Aspectos gerais do Leucogranito Bom Jesus TF22-X-19. (A) Amostra de mão com textura inequigranular e granulação fina a média. (B) e (C) Fotomicrografias (2,5x) destacando a trama granular milimétrica. (D) e (E) Fotomicrografias (2,5x) com destaque para os cristais de muscovita com epidoto associado, e presença de titanita como acessório.

**Figura 5.32:** Diagrama QAP (Streckeisen, 1967) para classificação de rochas plutônicas. O círculo vermelho representa a composição modal da amostra TF22-X-19, classificada como monzogranito.

**Figura 5.33:** Aspectos gerais do diabásio TF22-X-201, descrito na porção sul da área de estudo. (A) Seção de amostra de cor preta, granulação fina a densa e formato esferoidal. (B) e (C) Fotomicrografias (2,5x) exibindo saussuritização dos cristais de plagioclásio e alteração de vidro para palagonita. (D) e (E) Fotomicrografias (2,5x) destacando o arranjo característico da rocha, com textura intergranular, formada por ripas de plagioclásio com até 0,7 mm de comprimento, contendo cristais de augita e magnetita entre eles, além de quartzo. (F) e (G) Fotomicrografias à luz refletida (2,5x), exibindo a ocorrência de magnetita disseminada na rocha.

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

**Figura 6.2:** Estereogramas associados ao Domínio Campinorte. (A) Contornos de densidade relativos aos polos das foliações, destacando a presença das três direções preferenciais NE-SW, N-S e E-W. (B) Representação das medidas de lineação, destacando o caimento para N.

**Figura 6.3:** Estereogramas associados ao Domínio Mara Rosa. (A) Contornos de densidade relativos aos polos das foliações, destacando a presença das duas direções preferenciais NE-SW e N-S. (B) Representação das medidas de lineação, destacando as duas direções principais de caimento das lineações, a saber, direção SW e NW, com ligeiro predomínio de caimentos para SW.

**Figura 6.4:** Estereogramas associados ao Domínio Transbrasiliano. (A) Contornos de densidade relativos aos polos das foliações, destacando a presença de direção preferencial NE-SW. (B) Representação das medidas de lineação, destacando caimento para NW.

**Figura 6.5:** Estereogramas associados ao Domínio Bom Jesus. (A) Contornos de probabilidade relativos aos polos das foliações, destacando a presença de direção preferencial NE-SW abrangente, englobando as inflexões E-W associadas. (B) Representação das medidas de lineação, destacando caimento preferencial para NE/N.

**Figura 6.6:** Mapa Estrutural Integrado da Área X, evidenciando as principais estruturas que a compõem, bem como os domínios estruturais estabelecidos.

**Figura 6.7:** Aspectos gerais da xistosidade da Sequência Mara Rosa. (A) Xistosidade com direção preferencial N-S em quartzo-muscovita xisto. (B) Amostra de mão detalhando a leve crenulação dos xistos, indicativa de foliação  $S_{n+1}$ . (C) e (D) Fotomicrografias evidenciando a xistosidade e os cristais de quartzo estirados em muscovita-clorita xisto da Sequência Mara Rosa.

**Figura 6.8:** Aspectos da foliação nos Ortognaisses Amarolândia. (A) Bandamento gnáissico marcado por domínios micáceos e domínios quartzo feldspáticos. (B) Foliação milonítica com porfiroclastos de quartzo com cinemática dextral em um domínio microlítico (C) e (D) Fotomicrografias mostrando os porfiroblastos de epidoto rotacionados, com sombra de pressão indicando assimetria dextral em ortognaisse tonalítico.

**Figura 6.9:** Estereogramas dos polos da foliação e contornos de densidade do Domínio Mara Rosa na Área X. As atitudes ilustram a tendência geral N-S, com inflexão para E-W a NW-SE.

**Figura 6.10:** Aspectos gerais da foliação N-S associada ao Domínio Campinorte. (A) Afloramento de veio de quartzo com orientação N-S. (B) Complexo grão-cauda de caráter sinistral junto a grãos fraturados de mesma indicação cinemática. (C) e (D) Granito ultramilonítico com estiramento N-S (Tectonito L).

**Figura 6.11:** Fotomicrografias dos porfiroblastos de granada rotacionados, com sombra de pressão indicando assimetria dextral em granada-muscovita-quartzo xisto da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte.

**Figura 6.12:** Aspectos gerais das ocorrências da foliação NE-SW ao longo do Domínio Campinorte. (A) Foliação milonítica desenvolvida nos corpos graníticos da Suíte Pau de Mel. (B) Foliações S-C de cinemática dextral em xistos da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte. (C) Estrutura sigmoidal no contato entre os xistos da Sequência Campinorte e os corpos da Suíte Pau de Mel, apresentando cinemática sinistral.

**Figura 6.13:** Aspectos microestruturais da foliação NE-SW, associada às rochas metavulcânicas félsicas do Domínio Campinorte. (A) e (B) Fotomicrografias mostrando porfiroclastos de plagioclásio rotacionados. (C) e (D) Fotomicrografias mostrando porfiroclastos de plagioclásio associados a trilhas de subgrão de quartzo

**Figura 6.14:** Aspectos gerais da foliação NE-SW em xistos da Sequência Campinorte. (A) e (B) Destaque para a foliação NE-SW associada à textura lepidoblástica dos xistos.

**Figura 6.15:** (A) Interseção das foliações N-S e NE-SW, formando lineações de interseção. (B) Detalhe das estruturas formadas pela junção das duas foliações principais do Domínio Campinorte.

**Figura 6.16:** Aspectos gerais da foliação E-W, associada às bordas dos corpos intrusivos da Suíte Pau de Mel.

**Figura 6.17:** Estereograma de polos das foliações e contornos de densidade do Domínio Campinorte na Área X. As atitudes ilustram os *trends* N-S, NE-SW e E-W, com ocorrências de NW subordinadas, associadas principalmente ao Grupo Serra da Mesa.

**Figura 6.18:** Estereograma de lineações de estiramento mineral e contornos de densidade do Domínio Mara Rosa na Área X. Os caimentos para SW e N representam, respectivamente, componentes compressiva e transcorrente da deformação.

**Figura 6.19:** Aspectos gerais da Lineação N-S presente no Domínio Campinorte. Destaque para os cristais de quartzo estirados em rochas da Suíte Pau de Mel. Ambos os afloramentos não estão *in situ*.

**Figura 6.20:** Aspectos gerais da lineação de crenulação (Li) observada no afloramento TF22-X-185. (A) Crenulação marcada por microdobras centimétricas nos bandamentos gnáissicos. (B) Maior detalhe da disposição da crenulação, com destaque para a maior deformação das bandas micáceas.

**Figura 6.21:** Estereogramas das lineações e contornos de densidade do Domínio Campinorte na Área X. As atitudes ilustram as diferentes orientações da lineação de estiramento mineral (Lx), majoritariamente, bem como a lineação de interseção (Li).

**Figura 6.22:** Dobra fechada em xisto da Sequência Campinorte, com eixo caindo para oeste. (A) Disposição do afloramento. (B) Destaque para a geometria da dobra e plano axial (pontilhado).

**Figura 6.23:** Estereograma representativo dos polos dos flancos das dobras fechadas.

**Figura 6.24:** Aspecto geral de milonitos encontrados ao longo dos corredores de cisalhamento. Detalhe para os cristais de quartzo e plagioclásio estirados.

**Figura 6.25:** Aspectos gerais das juntas e fraturas de cisalhamento observados na Área X. (A) Conjunto de juntas em xistos da Sequência Campinorte. (B) Fratura de cisalhamento dextral em xistos da Sequência Mara Rosa. (C) Conjunto de juntas e veios preenchidos por quartzo leitoso. (D) Conjunto de juntas ortogonais em veio de quartzo na estrada de terra.

**Figura 6.26:** Diagramas de rosetas ilustrando as principais direções de juntas e fraturas da Área X. (A) Diagrama completo para a Área X. (B) Diagrama para o Domínio Mara Rosa, no qual há um destaque para a direção E-W. (C) Diagrama para o Domínio Campinorte.

**Figura 6.27:** Aspectos gerais das falhas normais associadas ao complexo de núcleo metamórfico da Área X. (A) Falha normal com topo para W com destaque para o plano de falha (B) Slickenlines derivadas da movimentação normal.

**Figura 6.28:** Estrutura ideal de um complexo de núcleo metamórfico, levando em consideração o modelo da elevação isostática. Detalhe para o falhamento normal de baixo ângulo ao redor do núcleo metamórfico (Adaptado de Sadowski, 1991).

**Figura 7.1:** (A) Mapa geológico esquemático do Arco Magmático Mara Rosa (Modificado de Pimentel et al., 1997). (B) Mapa geológico esquemático do distrito de Cu-Au e Au Chapada-Mara Rosa (Modificado de Arantes *et al.*, 1991), destacando as principais mineralizações conhecidas. (C) Seção estrutural esquemática W-E do Arco Magmático Mara Rosa (Modificado de Palermo *et al.*, 2000).

**Figura 7.2:** 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).

**Figura 7.3:** Cava principal do Garimpo Viúva, com vista para W. Embora apresente extenso histórico de extração de ouro, encontra-se desativado atualmente.

**Figura 7.4:** Fotomicrografias ilustrativas da sulfetação associada ao sistema orogênico na Área X.. (A) Cristal euédrico de pirita da amostra TF22-X-88, associado a metadacito da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte. (B) Cristal anédrico de calcopirita da amostra TF22-X-201.

**Figura 7.5:** Amostra TF22-X-69, classificada como um biotita xisto com segregações de quartzo e sulfetação associada. A rocha aflora ao longo de uma das zonas de cisalhamento N-S na Área X, caracterizando uma possível ocorrência mineralizada do sistema aurífero orogênico. Ainda que não seja mineralizada, atua como um importante vetor prospectivo.

**Figura 7.6:** Amostras de gondito (TF22-X-50) coletada na Área X. (A) e (B) Destaque para a porção com cristais de granada (espessartita) preservados, em meio ao oxi-hidróxidos de Mn neoformados.

**Figura 7.7:** Exemplo de concreção laterítica, recorrente ao longo da Área X, aflorando amplamente em platô na porção leste da área.

**Figura 7.8:** Veio de quartzo com epidoto e actinolita, enquadrado na associação de rochas calcissilicáticas (TF22-X-250). Destaque para o desenvolvimento de actinolita ao redor do veio.

**Figura 7.9:** Aspectos gerais do leito arenoso do Rio dos Bois. (A) Depósito de areia moderadamente selecionada, com afloramento das rochas da Suíte Pau de Mel ao fundo. Vista para norte. (B) Destaque para a grande extensão do canal de drenagem e da deposição de areia, com vista para sul.

**Figura 7.10:** Amostra TF22-X-82, ilustrativa dos tonalitos da Suíte Pau de Mel, com potencial de aplicação para fins ornamentais.

**Figura 7.11:** Sistema de mineralização de ouro orogênico associado as zonas de cisalhamento N-S. (Adaptado de Oliveira *et al.*, 2004).

**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).

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

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

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

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

**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.

**Figura 8.7:** Estágios de evolução tectônica associada ao Projeto Mara Rosa. (A e B) Estágio de Arco Paleoproterozoico (2200-2000 Ma). (C) Estágio de Arco Intra-Oceânico Neoproterozoico (900-800 Ma). (D) Estágio de Colisão Arco-Continente (670-600 Ma) (E) Estágio Colisional a Pós-Colisional, destacando a influência do Lineamento Transbrasiliano no Orógeno Brasília após a formação do supercontinente Gondwana. Adaptado de Oliveira *et al.* (2004).

**Figura 9.1:** Unidades litoestratigráficas da Folha Campinorte (CPRM - Oliveira *et al.*, 2006).

**Figura 9.2:** Unidades litoestratigráficas mapeadas pelo Projeto Mara Rosa.

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1.1:** Cronograma de atividades do Projeto Mara Rosa.

**Tabela 3.1:** Especificações da câmera WPM do satélite CBERS 04A, e metadados da cena utilizada no Projeto Mara Rosa.

**Tabela 3.2:** Especificações dos sensores OLI e TIRS do satélite Landsat 8 e metadados da cena utilizada no Projeto Mara Rosa.

**Tabela 3.3:** Especificações do Modelo Digital de Elevação produzido pelo sensor ALOS PALSAR e metadados da cena utilizada no Projeto Mara Rosa.

**Tabela 3.4:** Parâmetros de entrada para os algoritmos de geração do *hillshade* e das curvas de nível.

**Tabela 3.5:** Especificações do Levantamento Aerogeofísico do Estado de Goiás - 1ª Etapa: Arco Magmático de Mara Rosa. Informações obtidas em LASA (2004).

**Tabela 3.6:** Descrição dos domínios gamaespectrométricos do Projeto Mara Rosa. Detalhe dos afloramentos conhecidos disponível em: [geosgb.cprm.gov.br](http://geosgb.cprm.gov.br).

**Tabela 7.1:** Principais depósitos do Distrito Auro-Cuprífero Mara Rosa (Oliveira *et al.*, 2007).

**Tabela 8.1.** Principais estágios de evolução tectônica das unidades geológicas do Projeto Mara Rosa. A definição dos estágios se deu por Frasca (2015) e Cordeiro & Oliveira (2017) com base em critérios geocronológicos e tectono-estruturais, marcados por grandes estruturas regionais.

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Objetivos</b>	<b>2</b>
<b>1.2. Localização e Vias de Acesso</b>	<b>2</b>
<b>1.3. Materiais e Métodos</b>	<b>3</b>
1.3.1. Etapa Pré-Campo	3
1.3.2. Etapa Campo	7
1.3.3. Etapa Pós-Campo	9
<b>1.4. Aspectos Fisiográficos</b>	<b>9</b>
1.4.1. Clima	9
1.4.2. Geomorfologia	10
1.4.3. Pedologia	13
1.4.4. Vegetação / Uso e Ocupação do Solo	16
1.4.5. Hidrografia	19
<b>2. GEOLOGIA REGIONAL</b>	<b>21</b>
2.1. O Orógeno Brasília	21
2.2. Contexto Geológico do Projeto Mara Rosa	25
2.2.1. Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte	26
2.2.2. Suíte Plutônica Pau de Mel	27
2.2.3. Grupo Serra da Mesa	28
2.2.4. Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa	28
2.2.5. Ortognaisses Tonalíticos	30
2.2.6. Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha	30
2.2.7. Suíte Amarolândia	31
2.2.8. Granito Faina	31
2.2.9. Cianititos	31
<b>3. SENSORIAMENTO REMOTO E GEOFÍSICA</b>	<b>33</b>
3.1. Sensoriamento Remoto	33
3.1.1. Imagens Multiespectrais	34
3.1.2. Modelo Digital de Elevação (MDE)	35
3.1.3. Etapas de Processamento	36

3.1.4. Produtos e Interpretações	38
3.2. Geofísica	49
3.2.1. Gamaespectrometria	50
3.2.2. Magnetometria	55
3.2.3. Produtos e Interpretações	58
<b>4. GEOLOGIA DO PROJETO MARA ROSA</b>	<b>64</b>
4.1. Arco Magmático Campinorte	64
4.2. Arco Magmático Mara Rosa	66
4.2.1. Unidade Metavulcanossedimentar	66
4.2.2. Unidade Metassedimentar	67
4.2.3. Rochas Intrusivas Pré a Sin-tectônicas	68
4.2.4. Unidade Hidrotermal	69
4.3. Grupo Serra da Mesa	69
4.4. Rochas Intrusivas Tardi a Pós-tectônicas	70
<b>5. LITOESTRATIGRAFIA E PETROGRAFIA DA ÁREA X</b>	<b>71</b>
5.1. Arco Magmático Campinorte	71
5.1.1. Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte (PP2c)	73
5.1.2. Suíte Pau de Mel (PP2y1pm)	84
5.1.3. Complexo Granulítico Uruaçu (PP2gu)	90
5.2. Arco Magmático Mara Rosa	95
5.2.1. Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa (NP1mr)	95
5.2.2. Ortognaisses Mara Rosa	101
5.3. Grupo Serra da Mesa (NP3sm)	105
5.4. Rochas Intrusivas Tardi a Pós-tectônicas	107
5.4.1. Leucogranitos Bom Jesus (NP3y3l)	107
5.4.2. Rochas Intrusivas Básicas	110
<b>6. GEOLOGIA ESTRUTURAL</b>	<b>113</b>
6.1. Domínios Estruturais do Projeto Mara Rosa	113
6.1.1. Domínio Campinorte	115
6.1.2. Domínio Mara Rosa	116
6.1.3. Domínio Transbrasiliano	117

6.1.4. Domínio Bom Jesus	118
6.2. Arcabouço Estrutural da Área X	119
6.2.1. Arcabouço Estrutural Dúctil	121
6.2.2. Falha Rio dos Bois e Zonas de Cisalhamento	133
6.2.3. Arcabouço Estrutural Rúptil	134
6.3. Complexo de Núcleo Metamórfico	136
6.4. Eventos Deformacionais	137
<b>7. GEOLOGIA ECONÔMICA</b>	<b>139</b>
7.1. Recursos Minerais do Projeto Mara Rosa	141
7.1.1. Sistema Pórfiro-Epitermal	141
7.1.2. Sistema Aurífero Orogênico	143
7.1.3. Sistema Residual/Supergênico	143
7.1.4. Minerais e Rochas Industriais	144
7.2. Recursos Minerais da Área X	146
7.2.1. Sistema Aurífero Orogênico	146
7.2.2. Sistema Residual/Supergênico	148
7.2.3. Sistema Pórfiro-Epitermal	150
7.2.4. Minerais e Rochas Industriais	151
7.3. Considerações Metalogenéticas	153
<b>8. EVOLUÇÃO TECTÔNICA</b>	<b>155</b>
8.1. Estágio de Arco Paleoproterozoico	156
8.2. Estágio de Arco Intra-Oceânico Neoproterozoico	158
8.3. Estágio de Colisão Arco-Continente	160
8.4. Estágio Colisional a Pós-Colisional	161
8.5. Estágio Extensional Pós-Orogênico	162
8.6. Modelo Evolutivo do Projeto Mara Rosa	163
<b>9. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>165</b>
<b>10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>168</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O presente relatório apresenta o trabalho desenvolvido na Área X do Projeto Mara Rosa, que trata de mapeamento geológico em escala 1:25.000, realizado na região norte do estado de Goiás, incluindo parcialmente os municípios de Mara Rosa, Alto Horizonte, Nova Iguaçu de Goiás e Amaralina. Este trabalho é parte integrante do projeto de Trabalho de Mapeamento Geológico Final do ano de 2022, no âmbito do curso de graduação em Geologia, sob gestão do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília. A área total do projeto possui aproximadamente 665,5 km<sup>2</sup>, sendo compartimentada em nove subáreas de 60 km<sup>2</sup>, uma subárea de 80 km<sup>2</sup> e uma de 45,5 km<sup>2</sup>. No total, 30 discentes executaram o mapeamento e confecção do relatório para cada área.

O Projeto Mara Rosa foi coordenado pelo Professor Dr. Claudinei Gouveia de Oliveira e co-orientado pela Professora Dra. Maria Emília Schutesky. Como parte da equipe de orientadores, participaram os Professores Drs. Elton Luiz Dantas, Natalia Hauser, Roberta Mary Vidotti, Valmir da Silva Souza, Luis Gustavo Ferreira Viegas, Guilherme de Oliveira Gonçalves e Henrique Llacer Roig.

O mapeamento geológico executado enquadra unidades relacionadas com a evolução do Segmento Mara Rosa, localizado na porção norte do Arco Magmático de Goiás, juntamente com o Arco Magmático Campinorte, Grupo Serra da Mesa e corpos intrusivos tardi a pós-tectônicos relacionados, como o Granito Faina e os Leucogranitos Bom Jesus.

A área de estudo contribui para o entendimento da evolução do Orógeno Brasília, principalmente em sua porção setentrional, tendo em vista que abrange o contato tectônico entre as sequências metavulcanossedimentares Mara Rosa e Santa Terezinha. Estas sequências representam as duas etapas de formação do Arco Magmático de Goiás, sendo a Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa correspondente ao estágio insular do arco (900-800 Ma), enquanto a Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha está relacionada ao estágio continental e ao fechamento oceânico (670-600 Ma) (Oliveira *et al.*, 2016). A região engloba também o contato entre as rochas de arco neoproterozoicas e o embasamento paleoproterozoico da região, representado pelo Arco Magmático Campinorte.

O contexto geológico regional apresenta também potencial econômico relevante, com ocorrências já descritas de depósitos vulcanogênicos e Cu-Au pórfiro, como os depósitos de Au-Ag-Ba de Zacarias (Poll, 1994), Cu-Au de Chapada

(Richardson, 1986; Kuyumjian, 1989), Au de Posse (Palermo *et al.*, 2000) e Au-Cu-Bi Mundinho (De Oliveira *et al.*, 2000).

Neste cenário a execução do mapeamento geológico na região é justificada por sua cartografia limitada à escala regional de 1:100.000 (Alvarenga *et al.*, 2007; Fuck *et al.*, 2007), aliada à importância geotectônica da região, seu potencial metalogenético e disponibilidade de dados geofísicos regionais para apoio ao trabalho. Neste relatório será dado enfoque à Área X, tendo em vista a divisão estabelecida de 11 áreas a serem mapeadas no Projeto Mara Rosa.

### **1.1. Objetivos**

O objetivo principal do Projeto Mara Rosa é a elaboração de mapa geológico em escala 1:25.000 da área de estudo, juntamente com a elaboração de relatório técnico detalhando as atividades desenvolvidas, os produtos obtidos e as interpretações dos resultados para cada área. Seus objetivos específicos incluem a caracterização das ocorrências minerais da região e seu potencial metalogenético associado, além de determinação dos tipos e formas de contatos entre as diferentes unidades geológicas, delimitação de domínios estruturais, caracterização petrográfica e adequação de modelos de evolução tectônica para a área mapeada, tendo como base os modelos de evolução do Segmento Mara Rosa, já consagrados na literatura.

Os relatórios apresentados ao término do trabalho incluem: contexto geológico regional; análise e interpretação de dados geofísicos e de sensoriamento remoto; descrição das unidades geológicas mapeadas; petrografia; geoquímica; análise estrutural; potencial econômico e evolução tectônica. As discussões e interpretações realizadas foram embasadas nos dados de campo, com apoio da bibliografia, sensoriamento remoto, geofísica, petrografia e geoquímica. Isso permitiu caracterizar, com maior confiabilidade, as diferentes unidades geológicas estudadas, suas feições estruturais, potencial metalogenético e evolução tectônica.

### **1.2. Localização e Vias de Acesso**

A área de estudo se encontra na porção norte do estado de Goiás, inserida nos municípios de Mara Rosa, Alto Horizonte, Nova Iguaçu de Goiás e Amaralina, com a base de trabalho estabelecida na região urbana de Mara Rosa (Figura 1.1). O acesso ao local se dá, a partir do Distrito Federal, seguindo pela rodovia BR-070 até a cidade de Cocalzinho de Goiás, passando pela BR-414 até a cidade de Assunção de Goiás, onde o trajeto segue pela BR-080 até a cidade de Uruaçu. Posteriormente, segue-se

pela BR-153 até alcançar a GO-239, seguindo então até a cidade de Mara Rosa, totalizando aproximadamente 351 km (Figura 1.2).

A cidade de Mara Rosa foi escolhida como base para esse projeto, tendo em vista sua proximidade das áreas de estudo e por oferecer a infraestrutura adequada ao desenvolvimento do projeto. O acesso às áreas mapeadas, partindo da base, foi feito por meios das vias GO-573, recobrindo a porção norte, e GO-347, para as áreas a sul, bem como estradas secundárias não pavimentadas.

### **1.3. Materiais e Métodos**

O Projeto Mara Rosa, desenvolvido entre junho de 2022 e fevereiro de 2023, foi dividido em três etapas principais de trabalho. Na etapa pré-campo, foi realizada a revisão bibliográfica do contexto geológico regional, bem como a interpretação de imagens orbitais e dados aerogeofísicos, finalizando com a elaboração dos mapas base e das interpretações geológicas preliminares. Os produtos gerados foram devidamente aplicados nas etapas seguintes, servindo de apoio logístico ao trabalho de campo e integrando as interpretações pós-campo. Já na etapa de campo, foi feita a campanha de coleta de dados litológicos e estruturais *in situ* na área de estudo, enquanto na etapa pós-campo, as informações obtidas foram integradas, complementadas por análises petrográficas e laboratoriais, e apresentadas na forma de relatório técnico e mapas geológicos. A Tabela 1.1 apresenta o cronograma de atividades do projeto.

#### **1.3.1. Etapa Pré-Campo**

A etapa pré-campo teve início em junho de 2022, estendendo-se até o início do mês de setembro (Tabela 1.1). Nessa etapa, foram contempladas as atividades integrantes da disciplina de Preparação do Mapeamento Geológico Final, incluindo o ciclo de palestras de ambientação do Projeto Mara Rosa e discussão de temas relacionados; compilação da bibliografia relacionada à geologia regional e fisiografia da região; análise e interpretação dos dados geofísicos e de sensoriamento remoto; e confecção de mapas de apoio para as etapas posteriores, tendo como foco a preparação e o planejamento para o trabalho de campo.

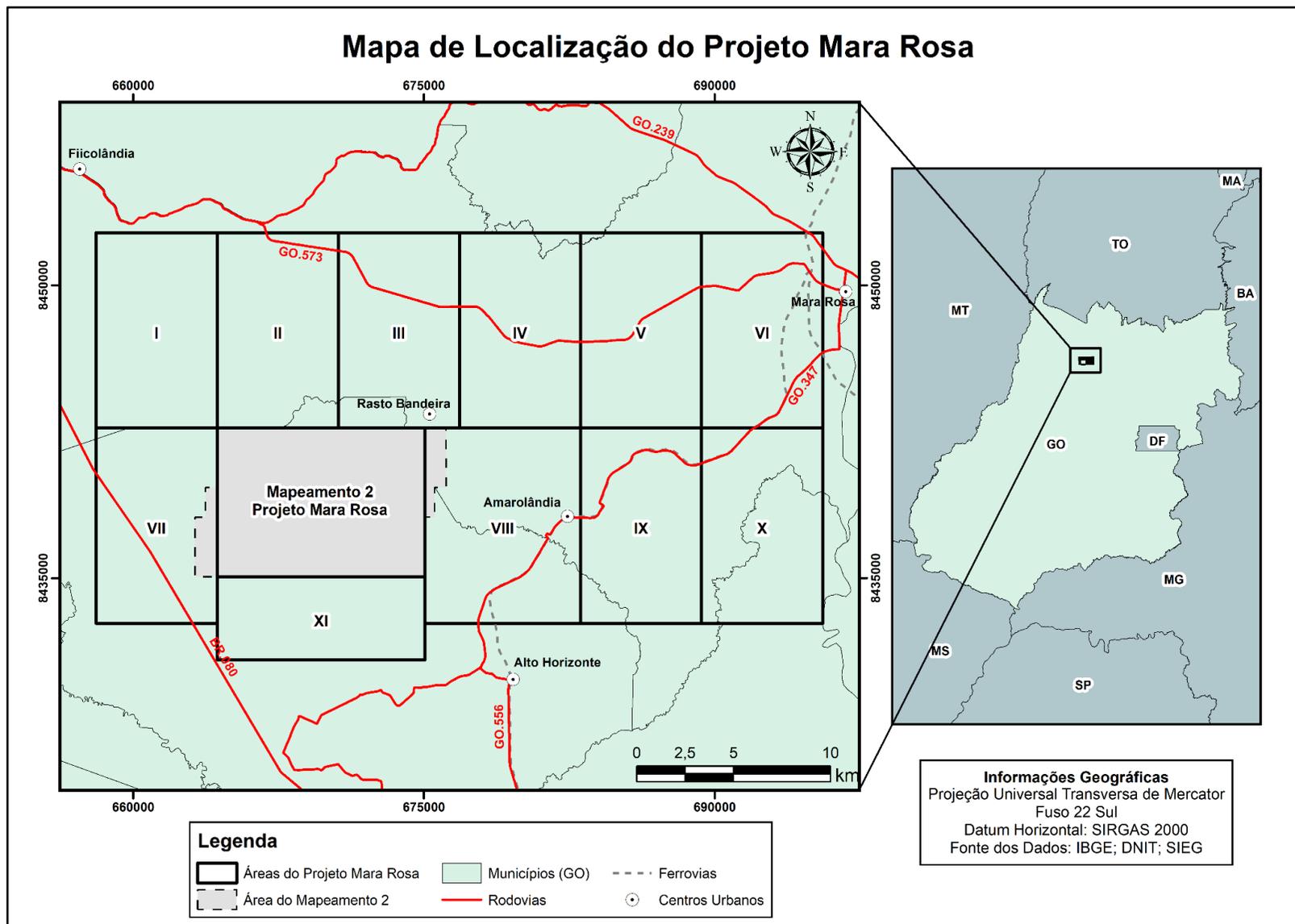
No âmbito do presente relatório, a compilação de trabalhos anteriores pode ser vista no Capítulo 2, tendo como foco a evolução e a geologia do Orógeno Brasília, especialmente do Arco Magmático de Goiás e seu Segmento Mara Rosa. Já as etapas de processamento e aplicação dos dados geofísicos e de sensoriamento remoto se

encontram no Capítulo 3, incluindo seu uso como elementos complementares ao mapeamento geológico e como base para as etapas seguintes. A geofísica utilizada inclui dados aéreos de gamaespectrometria e magnetometria, enquanto o sensoriamento remoto abrange imagens orbitais multiespectrais e dados de radar.

Essa etapa de trabalho foi finalizada com a interpretação geológica preliminar da área de estudo, feita com base em todas as informações descritas. Além disso, foi elaborado também todo o planejamento logístico necessário para a execução da etapa de campo subsequente.

**Tabela 1.1:** Cronograma de atividades do Projeto Mara Rosa.

Etapa	Atividade	Período									
		2022								2023	
		jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	
<b>Pré-Campo</b>	Ciclo de Palestras	X	X	X	X						
	Revisão Bibliográfica	X	X	X	X	X	X	X	X		
	Sensoriamento Remoto	X	X								
	Geofísica	X	X								
	Mapas Base		X	X							
	Mapa Geológico-Geofísico Preliminar				X						
<b>Campo</b>					X	X					
<b>Pós-Campo</b>	Revisão do Relatório Parcial					X	X				
	Mapas Geológicos					X	X	X	X		
	Petrografia						X	X			
	Geologia Estrutural						X	X	X		
	Geologia Econômica							X	X		
	Evolução Tectônica								X		
	Relatório Final e Defesa do Projeto										X



**Figura 1.1:** Mapa de Localização da área do Projeto Mara Rosa, mostrando suas principais vias de acesso e divisão em 11 áreas.

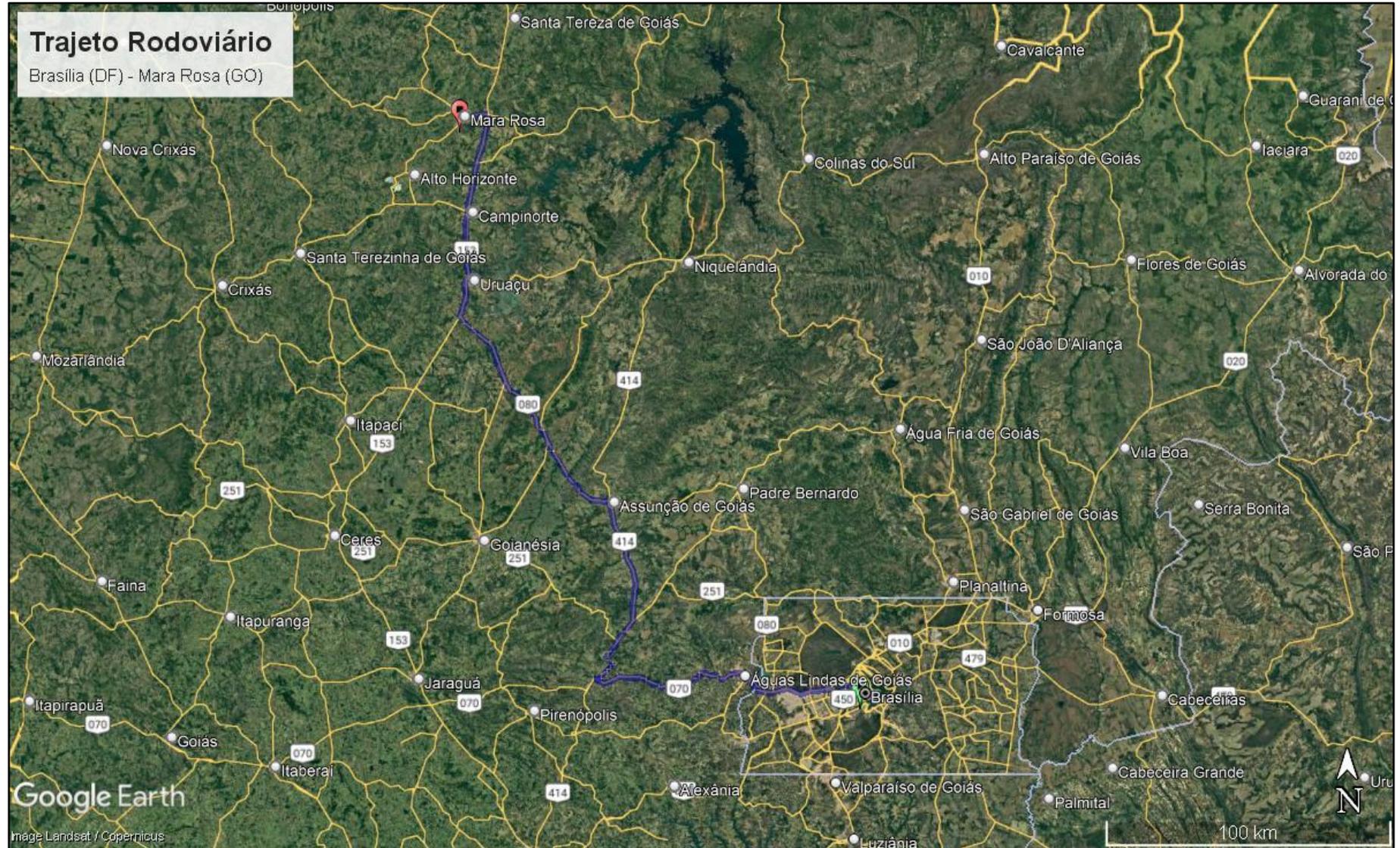


Figura 1.2: Trajeto rodoviário de Brasília (DF) até Mara Rosa (GO). Fonte: Google Earth Pro.

### 1.3.2. Etapa Campo

Durante a etapa de campo, foram adquiridos dados *in situ* na região de estudo, entre os dias 16 de setembro e 01 de outubro, visando validar interpretações feitas na etapa pré-campo e adquirir informações diretas acerca da geologia da área para a confecção do mapa geológico em escala 1:25.000.

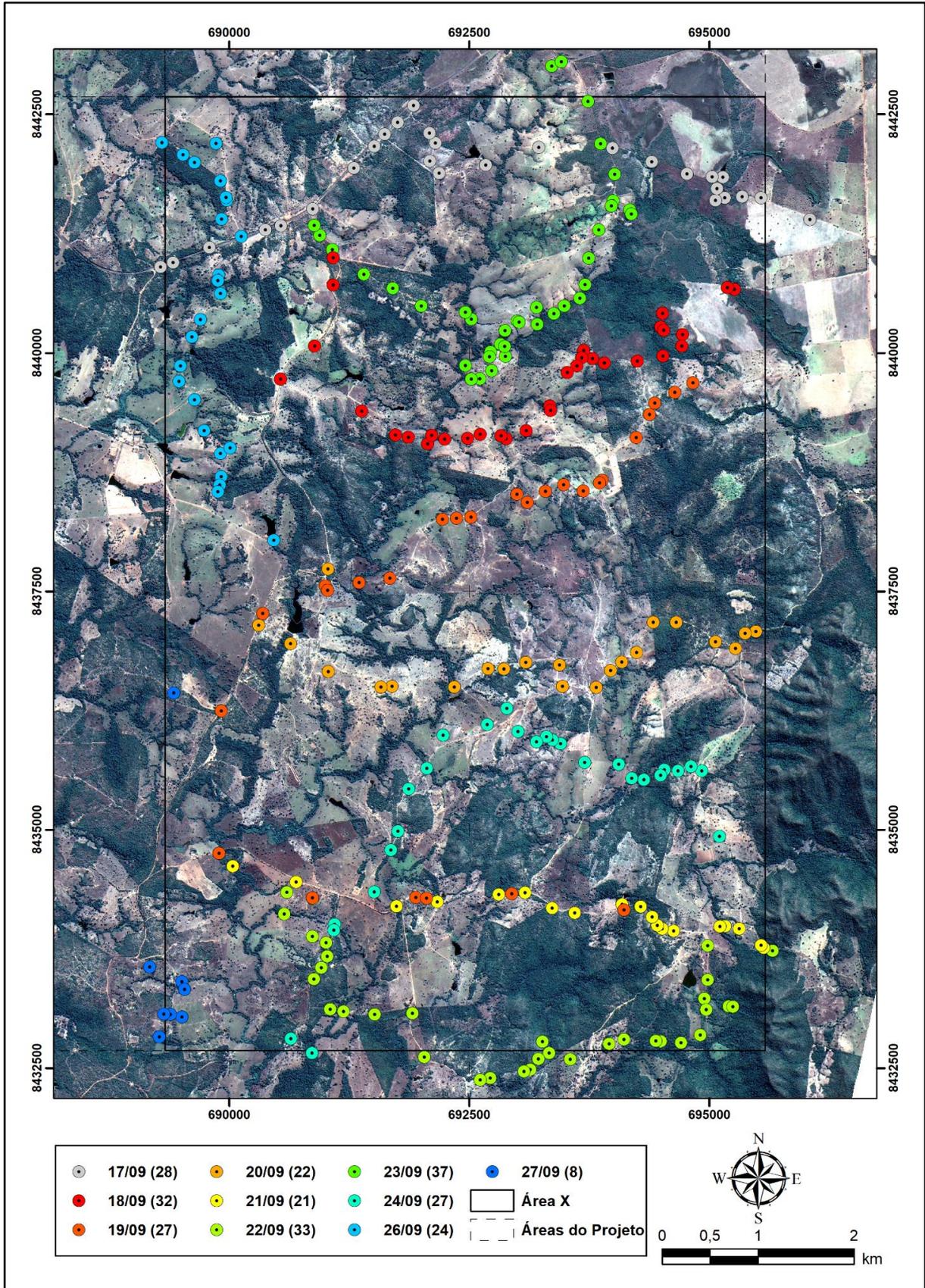
A campanha de campo foi dividida em perfis de caminhamento ao longo dos dias, visando maximizar a cobertura da área de estudo. Para isso, os produtos e interpretações resultantes da etapa pré-campo foram utilizados como guias para o planejamento dos perfis, buscando também a priorização de direções perpendiculares às principais feições estruturais da região.

Para execução do trabalho de campo, os grupos contaram com apoio logístico da Universidade de Brasília, tendo sido disponibilizado auxílio financeiro para os estudantes e professores, além de veículos oficiais com motoristas. Desta forma, foi possível viabilizar o transporte para o local e estadia, além do deslocamento entre a base e as áreas durante os dias de campo.

Os dados levantados em campo foram adquiridos de maneira sistemática, incluindo descrições litológicas, medidas de feições estruturais, coordenadas dos afloramentos, desenhos esquemáticos, registros fotográficos e coleta de amostras de rocha representativas das unidades observadas. Além da elaboração de descrições geológicas padrão para os afloramentos, dados complementares ao entendimento geológico do local foram levantados, como características pedológicas, geomorfológicas e geobotânicas.

Para execução do levantamento de campo e coleta adequada dos dados, foram utilizados mapas físicos e digitais, previamente elaborados, e equipamentos técnicos variados: bússola geológica do tipo Brunton, com declinação magnética de 21,1°W; receptor GNSS de navegação; caderneta de campo; marreta e martelo geológico; rádio de comunicação; aplicativos “Avenza” e “Clino” para *smartphone*; lupa, imã e riscador. Para as medições de atitudes realizadas neste trabalho, foi utilizada a notação “*dip direction*”.

Por fim, ao final de cada dia de trabalho, foram realizadas compilações e discussões acerca dos elementos observados ao longo do dia, além de reuniões gerais para discussão do progresso do projeto e organização dos dias de trabalho subsequentes. No total, a coleta de dados da Área X resultou na descrição de 259 pontos de campo (Figura 1.3 e Apêndice I) e coleta de 1456 medidas estruturais.



**Figura 1.3:** Mapa de pontos da Área X, evidenciando, em diferentes cores, as datas de coleta dos dados e quantidade de pontos descritos em cada um dos dias.

### **1.3.3. Etapa Pós-Campo**

A etapa pós-campo teve início no mês de outubro de 2022, após o fim da etapa anterior, e foi executada até o mês de fevereiro de 2023, finalizando com a apresentação e defesa do trabalho final. Nesse estágio foram compilados e integrados os dados obtidos até então, complementando-os com análises petrográficas das amostras de rocha coletadas em campo, visando aumentar o nível de detalhamento do mapa geológico e de interpretações derivadas.

As descrições petrográficas contidas no presente relatório referem-se a 15 amostras representativas da geologia da Área X, permitindo detalhar as principais variações litológicas e estruturais observadas em campo. As lâminas delgadas produzidas foram submetidas a um processo de polimento, permitindo sua análise nos microscópios de luz transmitida e refletida do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, de modo a caracterizar tanto seus minerais transparentes quanto opacos.

Assim, os resultados dessa etapa, juntamente com as anteriores, permitiram a elaboração das discussões presentes nos Capítulos 4 a 8 deste relatório. Esses capítulos detalham, respectivamente, a geologia geral do Projeto Mara Rosa, a geologia local da Área X (petrografia e geologia estrutural), os aspectos econômicos da região e sua evolução tectônica.

## **1.4. Aspectos Fisiográficos**

O trabalho de mapeamento geológico possui, entre suas etapas, abordagem descritiva dos aspectos físicos superficiais da região de estudo. Esses aspectos fisiográficos podem ser considerados como expressões diretas e/ou indiretas das características geológicas da região, sendo condicionados, entre outros fatores, pela combinação da geologia e do clima do local. A seguir, serão abordados os principais tópicos relativos à fisiografia das áreas do Projeto Mara Rosa, com foco na Área X, compreendendo seu clima, geomorfologia, pedologia, vegetação, hidrografia e uso e ocupação do solo.

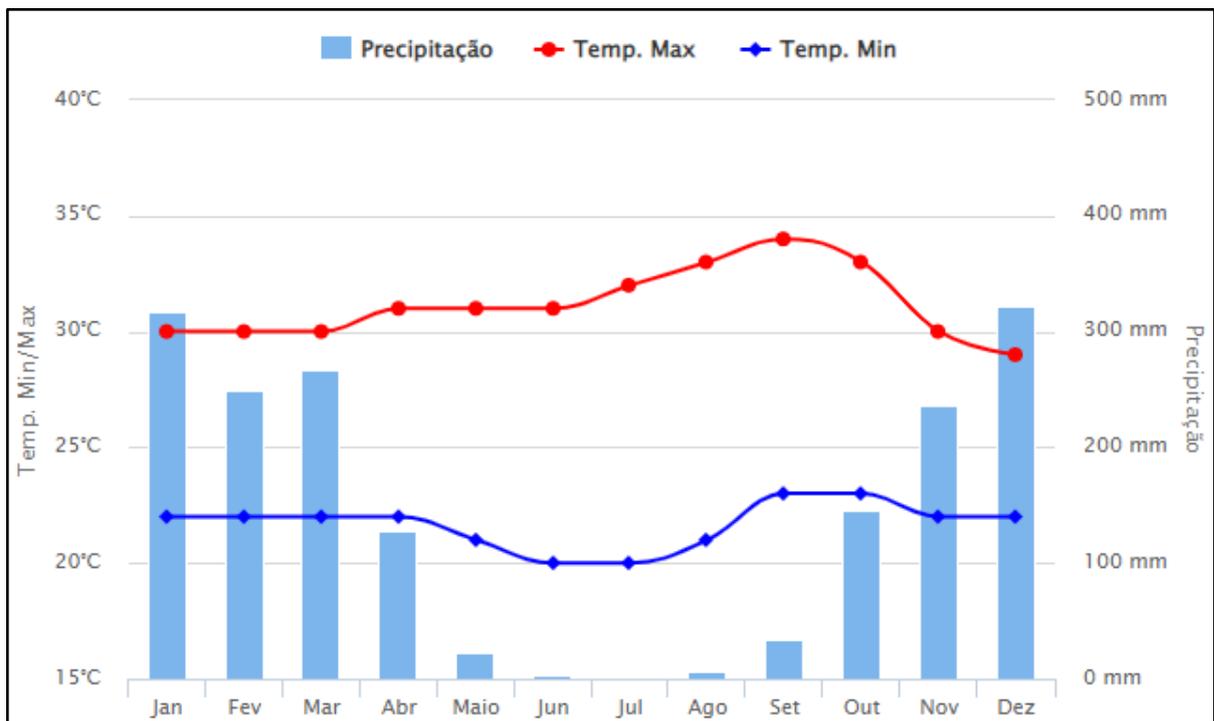
### **1.4.1. Clima**

O clima da região de estudo é definido, de acordo com a classificação de Köppen-Geiger (Cardoso, 2014), como tropical úmido com inverno seco (Aw). Desta maneira, estabelecem-se duas estações bem definidas, incluindo verão chuvoso e inverno seco (Figura 1.4). Levando em consideração que a maior parte das áreas de

estudo está inserida no município de Mara Rosa, os dados climatológicos deste município foram selecionados para representar o contexto geral do Projeto Mara Rosa.

A precipitação média anual da região é de aproximadamente 1400 mm, concentrando-se principalmente entre os meses de outubro e março. Já entre os meses de abril e setembro, verifica-se a redução da pluviosidade, chegando a ser quase nula nos meses de junho e julho.

Com relação às temperaturas, a região apresenta valor anual médio de 25°C. Durante a estação do verão, são vistos valores de temperatura com pouca amplitude de variação, mantendo as mínimas entre 22 e 23°C, e as máximas entre 30 e 34°C. Já no período seco do inverno, as temperaturas mínimas ficam entre 18 e 20°C, com máximas variando de 28 até 30°C, mostrando maior amplitude.



**Figura 1.4:** Dados climatológicos anuais do município de Mara Rosa (GO), referentes às médias dos últimos 30 anos. Fonte: Climatempo (2022).

#### 1.4.2. Geomorfologia

A região de estudo do Projeto Mara Rosa está inserida no contexto geomorfológico do Planalto Central Goiano, mais especificamente na Região de Superfícies Aplanadas (Lacerda Filho, 1999). Conforme mostra a Figura 1.5, a área do projeto é dominada por sistema erosivo (denudacional), representado pelas porções de Morros e Colinas e pelas Superfícies de Aplainamento. Apenas pequena

porção ao sudoeste da área se encontra em sistema deposicional (agradacional), configurando Planície Fluvial na Área VII.

É possível notar que a região se encontra em contexto geomorfológico aplainado, sendo a maior parte de sua extensão classificada entre as superfícies regionais de aplainamento. Cerca de 80% da área total do projeto está inserida no relevo do tipo SRAIVC1(fr), que é uma Superfície Regional de Aplainamento IVC, com cotas entre 250 e 400 m e dissecação fraca, desenvolvida sobre rochas pré-cambrianas. Na porção do extremo oeste, o relevo passa a ser do tipo SRAIVC1(m), diferindo da classe anterior apenas em seu grau de dissecação, o qual passa a ser médio. Já no extremo leste, encontra-se relevo SRAIIIA(fr), caracterizado por Superfície Regional de Aplainamento IIIA, com cotas entre 700 e 800 m e dissecação fraca, desenvolvida sobre rochas pré-cambrianas. Por fim, em pequena porção no extremo nordeste o relevo torna-se SRAIVA(fr), uma Superfície Regional de Aplainamento IVA, com cotas entre 400 e 550 m e dissecação fraca, desenvolvida principalmente sobre rochas pré-cambrianas.

Além das superfícies aplainadas, apenas outros dois tipos de relevo são vistos na área do projeto. O primeiro deles, já citado, é do tipo Planície Fluvial com Padrão Meandriforme (PMf), presente a sudoeste, na Área VII, enquanto o segundo caracteriza Relevo de Morros e Colinas (MC). Este último pode ser diretamente atrelado a importantes unidades geológicas da região, que mostram maior resistência à atuação dos processos intempéricos. Estas unidades incluem o Granito Faina e o Morro Redondo, a oeste; os cianititos e a Serra de Bom Jesus, da Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa, a nordeste; e o Grupo Serra da Mesa, representado pela Serra Amaro Leite, a sudeste.

Nesse cenário, o predomínio das superfícies aplainadas no relevo pode ser associado ao clima tropical e aos processos de pedogênese avançados atuantes na região. Assim, é comum que a maioria das unidades esteja recoberta por perfis de solo significativos, ou mesmo coberturas lateríticas, conferindo maior homogeneidade topográfica às feições de relevo.

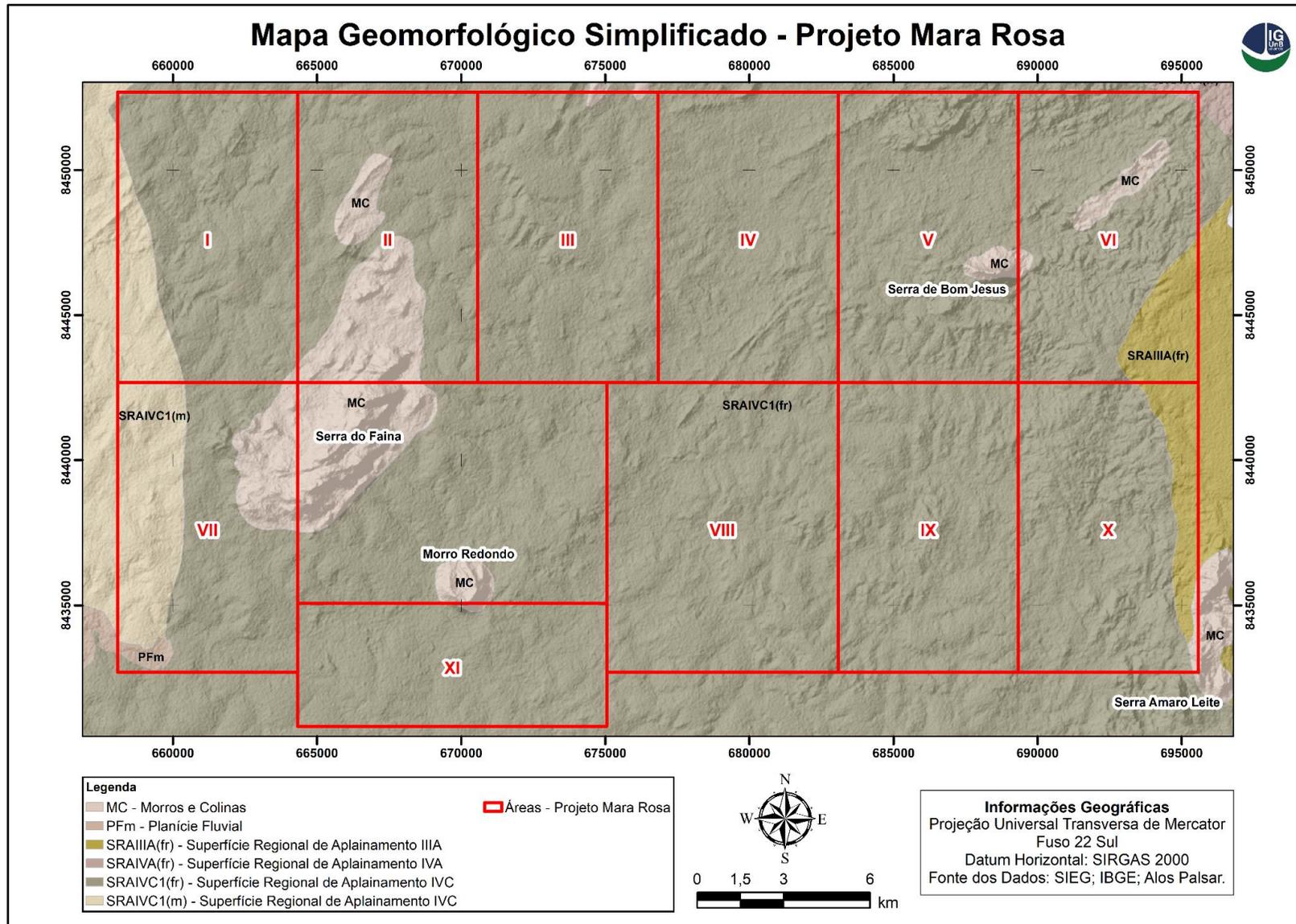


Figura 1.5: Unidades geomorfológicas do Projeto Mara Rosa. Fonte dos dados: portal SIEG (Sistema de Informações Geográficas do Estado de Goiás).

O contexto específico da Área X mostra, em conformidade com o padrão geral, predomínio das superfícies aplainadas SRAIVC1(fr) e SRAIIIA(fr), correspondentes às sequências metavulcanossedimentares Mara Rosa e Campinorte. Enquanto isso, no extremo sudeste, o relevo de Morros e Colinas da Serra Amaro Leite reflete as rochas metassedimentares do Grupo Serra da Mesa. A Figura 1.6 ilustra o forte contraste de relevo observado em campo entre os dois tipos de relevo característicos da Área X.



**Figura 1.6:** Vista panorâmica para leste da Área X. Nesta foto podem ser observadas as diferentes unidades de relevo presentes na Área X, onde a superfície de aplainamento representa as unidades metavulcanossedimentares, enquanto os morros e colinas correspondem ao Grupo Serra da Mesa.

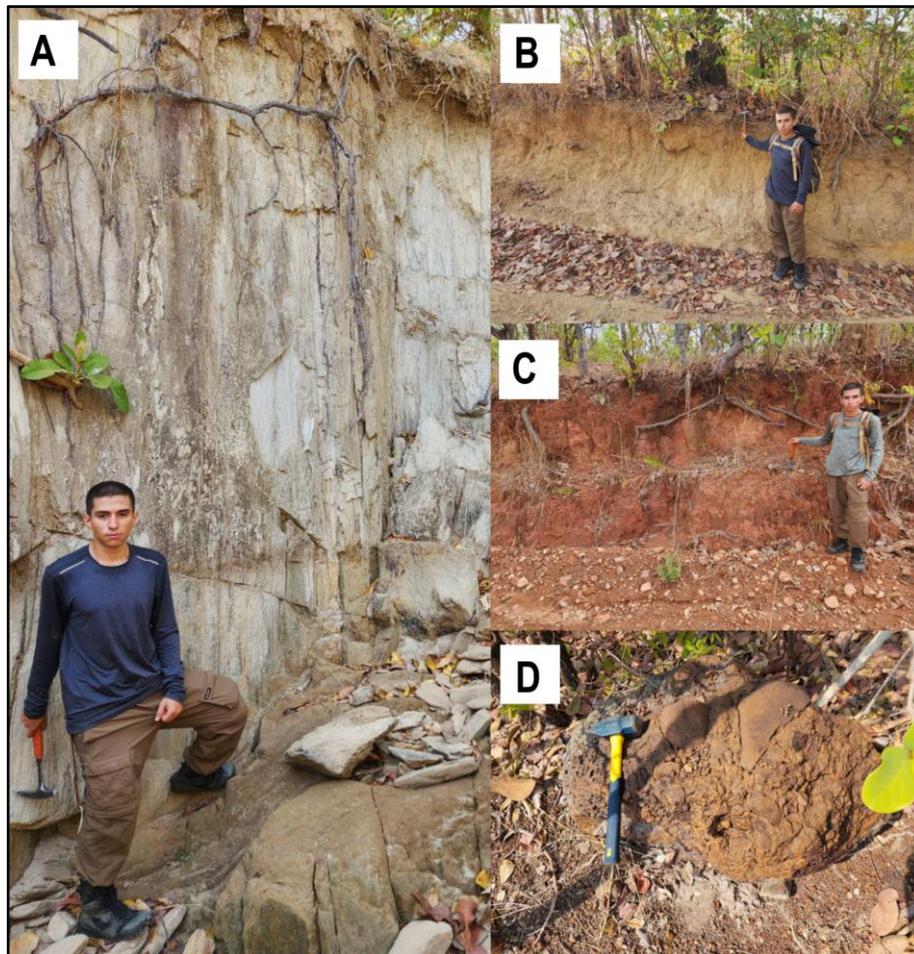
### 1.4.3. Pedologia

Seis diferentes tipos de solos, classificados em nível de grupo, representam a cobertura das áreas do projeto. Esses solos incluem: Plintossolo Pétrico concrecionário (FFc), Latossolo Vermelho distrófico (LVd), o Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd), Neossolo Litólico distrófico (RLd), Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (PVAd) e Cambissolo Háptico distrófico (CXbd). Com exceção do Latossolo Vermelho distrófico, todos os demais grupos podem ser encontrados no contexto específico da Área X. A Figura 1.7 ilustra os principais perfis de solos observados em campo na Área X, enquanto a Figura 1.8 mostra o mapa de distribuição dos tipos de solos presentes nas áreas do Projeto Mara Rosa.

A maior parte da área do Projeto Mara Rosa é composta por Plintossolos Pétricos concrecionários (FFc), representando cerca de 63% da área de estudo. Esses solos são de ocorrência comum, especialmente em áreas aplainadas, como as da

região, constituindo geralmente ambientes distróficos, pobres em nutrientes. É comum sua associação a coberturas lateríticas, chegando a formar horizontes litoplínticos, conforme observado, em campo, na porção nordeste da Área X (Figura 1.7d). Além disso, esses solos possuem coloração bastante variada, sendo ácidos e com baixa atividade de argila. Os Plintossolos Pétricos correspondem a cerca de 25,6% da extensão da Área X.

Os Cambissolos Háplicos distróficos (CXbd), por sua vez, correspondem a 23% da área do Projeto Mara Rosa. São solos pouco desenvolvidos, de baixa espessura, com horizonte B incipiente (Bi) sobreposto por horizonte menos espesso. Este tipo de solo pode ser associado com processos de pedogênese pouco avançada, mantendo ainda presença de seu material parental. Os Cambissolos Háplicos são expressivos na Área X, correspondendo a 52,2% de sua totalidade.



**Figura 1.7:** Solos observados, em campo, na Área X. (A) Neossolo Litólico. (B) Cambissolo Háplico. (C) Latossolo Vermelho-Amarelo. (D) Concreção laterítica.

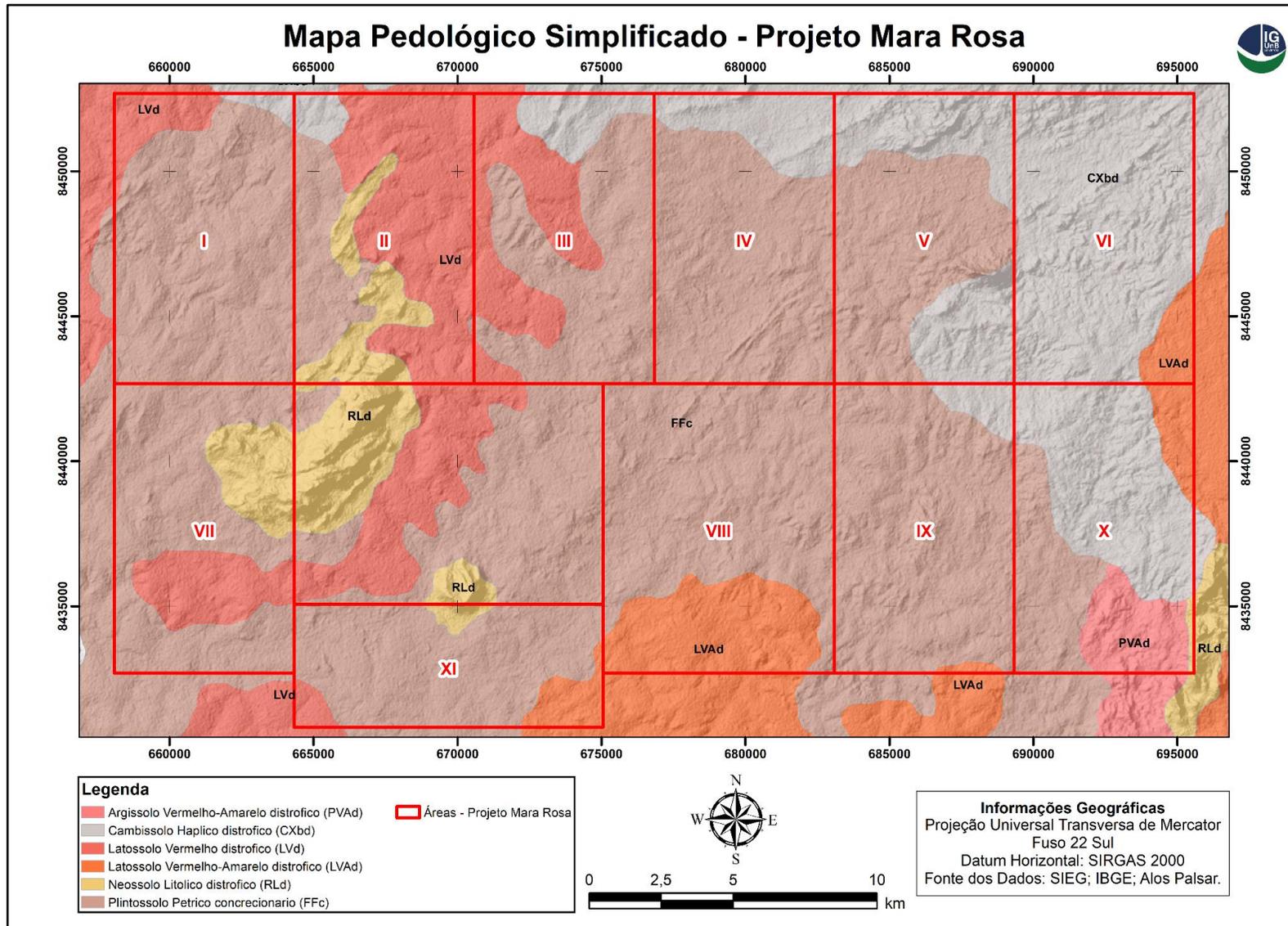


Figura 1.8: Cobertura de solos do Projeto Mara Rosa. Fonte dos dados: portal SIEG (Sistema de Informações Geográficas do Estado de Goiás).

Já os Argissolos Vermelho-Amarelos distróficos (PVAd) correspondem a, aproximadamente, 1,6% da área do Projeto Mara Rosa, e podem ser caracterizados como solos com horizonte subsuperficial B textural (Bt) e argila de baixa atividade (Tb) abaixo dos horizontes A ou E. Esses solos possuem coloração tipicamente vermelha-amarelada, sendo estruturados e levemente ácidos. São de profundidade variável, podendo, ou não, ser drenados, sendo marcados por seu aumento de argilosidade do topo para a base do perfil. Correspondem a 17,1% da Área X.

Os Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos (LVAd) abrangem apenas 1,5% da área do projeto, presentes somente nas Áreas VI e X. São solos significativamente evoluídos, caracterizados por perfil muito espesso, não hidromórfico, com horizonte subsuperficial B *weathering* (Bw) abaixo de um horizonte A. Esse horizonte é caracterizado por sua homogeneidade, ausência de fragmentos do material parental, alto teor de óxidos e hidróxidos de Fe e Al e baixo conteúdo de argilominerais. Este solo é, no geral, pouco estruturado, e corresponde a 8% da Área X.

Os Neossolos Litólicos distróficos (RLd) correspondem a 0,5% das áreas de estudo, sendo solos pouco espessos, constituídos por material fragmentado grosso (diâmetro acima de 2 mm), quase sem alterações com relação ao material de origem, mantendo cobertura incipiente sobre a rocha-mãe. Esses solos não apresentam qualquer tipo de horizonte B diagnóstico. Correspondem a cerca de 1,2% da cobertura na Área X.

Por fim, os Latossolos Vermelhos distróficos (LVd) abrangem cerca de 11% da área do Projeto Mara Rosa, ocorrendo apenas nas áreas a oeste. Assim como os Latossolos Vermelho-Amarelos, esses solos são caracterizados por seu horizonte Bw, sobreposto por um horizonte A. Apresentam estágio de pedogênese avançada, sendo comumente bem drenados, profundos, ácidos, com baixa saturação por bases e poucos nutrientes.

#### **1.4.4. Vegetação / Uso e Ocupação do Solo**

A cobertura vegetal na região do Projeto Mara Rosa é dominada por áreas de pastagem (Figura 1.9), ou seja, superfícies antropizadas, aplicadas para atividades agropecuárias. Este aspecto deve ser considerado para as atividades do mapeamento geológico, afinal, este tipo de cobertura, não natural, pode mascarar o reconhecimento de afloramentos e feições geológicas, tanto em campo quanto nas respostas de dados remotos. A grande expressão das pastagens no local se deve à importância

socioeconômica do agronegócio para a região. Além da criação de gado e da agricultura tradicional, a região atua na produção do famoso açafão de Mara Rosa, reconhecido como patrimônio cultural e imaterial goiano pela Lei Estadual nº 21.570, de 6 de setembro de 2022.



**Figura 1.9:** Vista panorâmica com direção para oeste das áreas de pastagem da Área X.

Além das áreas de pastagem, a região de estudo apresenta quatro outras fitofisionomias de vegetação (Figura 1.10). Dentre elas, a Savana Arborizada com Mata de Galeria está comumente associada às porções de relevo aplainado e baixos topográficos. Já a Savana Arborizada sem Mata de Galeria e a Savana Florestada, podem ser encontradas nos relevos de Morros e Colinas, e também em alguns altos topográficos menos expressivos, sendo vista em menor quantidade no local. Por fim, a Floresta Estacional Semidecidual Aluvial apresenta apenas uma ocorrência ao longo da área de estudo, ao longo das margens do Rio Formiga.

A região de estudo está inserida no bioma cerrado (IBGE, 2022), com vegetação nativa de savana, e características xeromórficas arbustivas-arbóreas, ou seja, adaptadas a climas estacionais áridos ou semi-áridos (Sano *et al.* 2007; Santos, 2000). Localmente, a Savana Florestada se apresentam na forma de vegetação herbácea, como gramíneas e arbustos, associada com solos profundos, como os latossolos presentes na região, enquanto a Floresta Estacional Semidecidual Aluvial se expressa ao redor de canais de drenagem, gerando vegetação mais densa e expressiva.

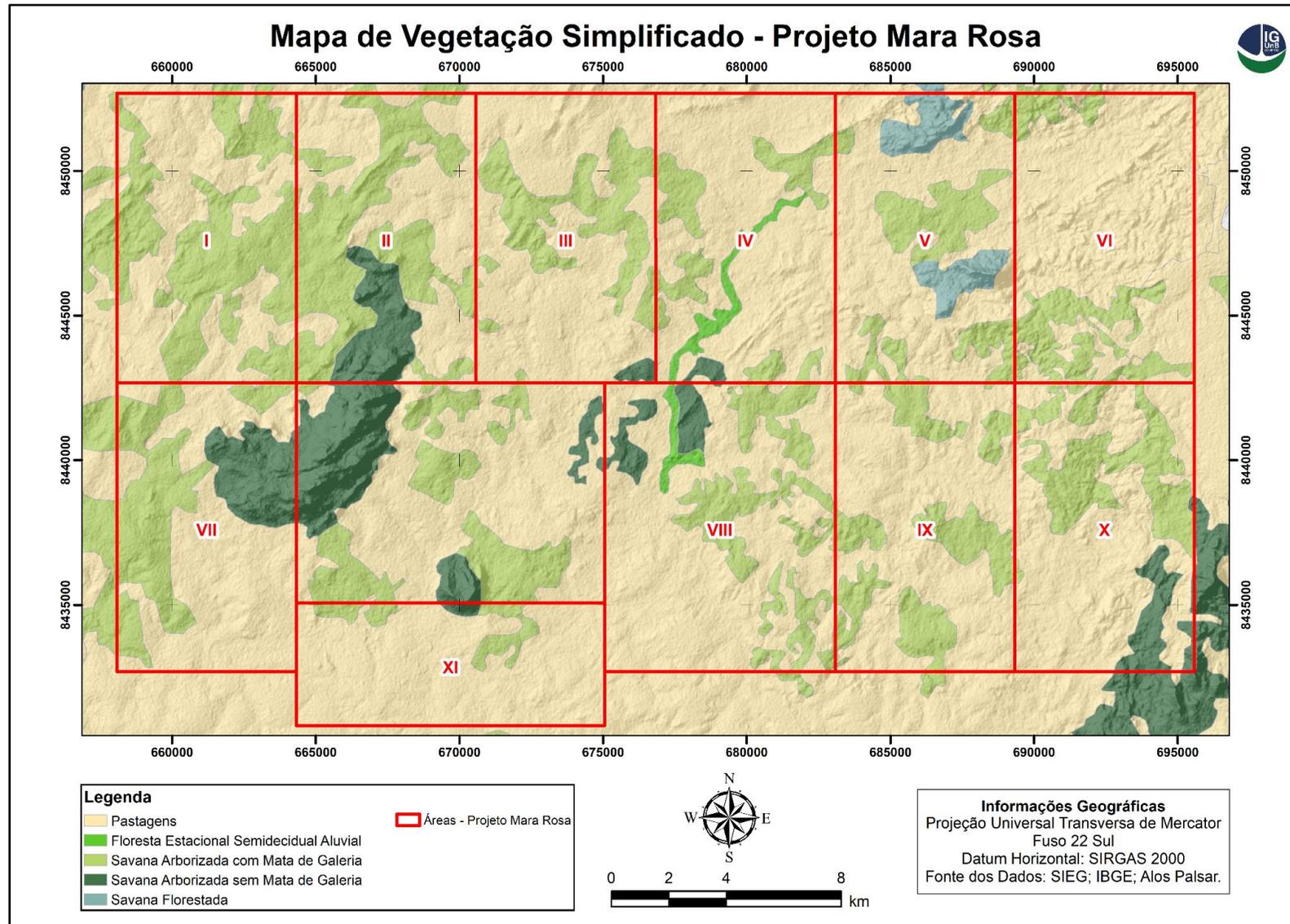


Figura 1.10: Cobertura vegetal do Projeto Mara Rosa. Fonte dos dados: portal SIEG (Sistema de Informações Geográficas do Estado de Goiás).

No contexto da Área X, observa-se predomínio de áreas de pastagem, assim como na região de forma geral. Em sua porção norte, são vistas manchas de vegetação nativa preservada, do tipo Savana Arborizada com Mata de Galeria. Já a Savana Arborizada sem Mata de Galeria ocorre a sudeste, associada com a topografia mais elevada proporcionada pelas rochas do Grupo Serra da Mesa.

#### 1.4.5. Hidrografia

No contexto regional, a hidrografia principal da área de estudo do Projeto Mara Rosa é formada por quatro rios principais, trinta córregos e cinco ribeiros, distribuídos em quatro bacias hidrográficas: Córrego Armador, Santa Maria, Rio Formiga e Rio do Ouro.

É possível observar que os grandes rios da região, como o Rio Formiga e o Rio dos Bois, estão alinhados de forma subparalela, com uma direção preferencial em torno de NE-SW. Isso indica atuação de forte controle estrutural na região, condicionando suas principais drenagens a se estabelecer de forma alinhada com a direção das grandes estruturas. Já os canais de drenagem secundários mostram padrão predominantemente dendrítico, com densidade baixa a média na porção oeste das áreas, tornando-se gradativamente mais densos conforme se aproximam do extremo leste, onde sua densidade pode ser classificada como alta.

A Área X, de modo particular, possui rede de drenagem densa, sendo o Rio dos Bois, afluente do Rio Paranaíba, seu principal curso d'água (Figura 1.11). Os demais canais de drenagem são predominantemente intermitentes, controlados pela sazonalidade do clima na região, e apresentam padrão dendrítico de densidade alta (Figura 1.12).



**Figura 1.11:** Hidrografia da Área X, observada em campo. (A) Drenagem intermitente, em fase de seca. (B) Rio dos Bois em fase de cheia, após fortes chuvas nos dias anteriores.

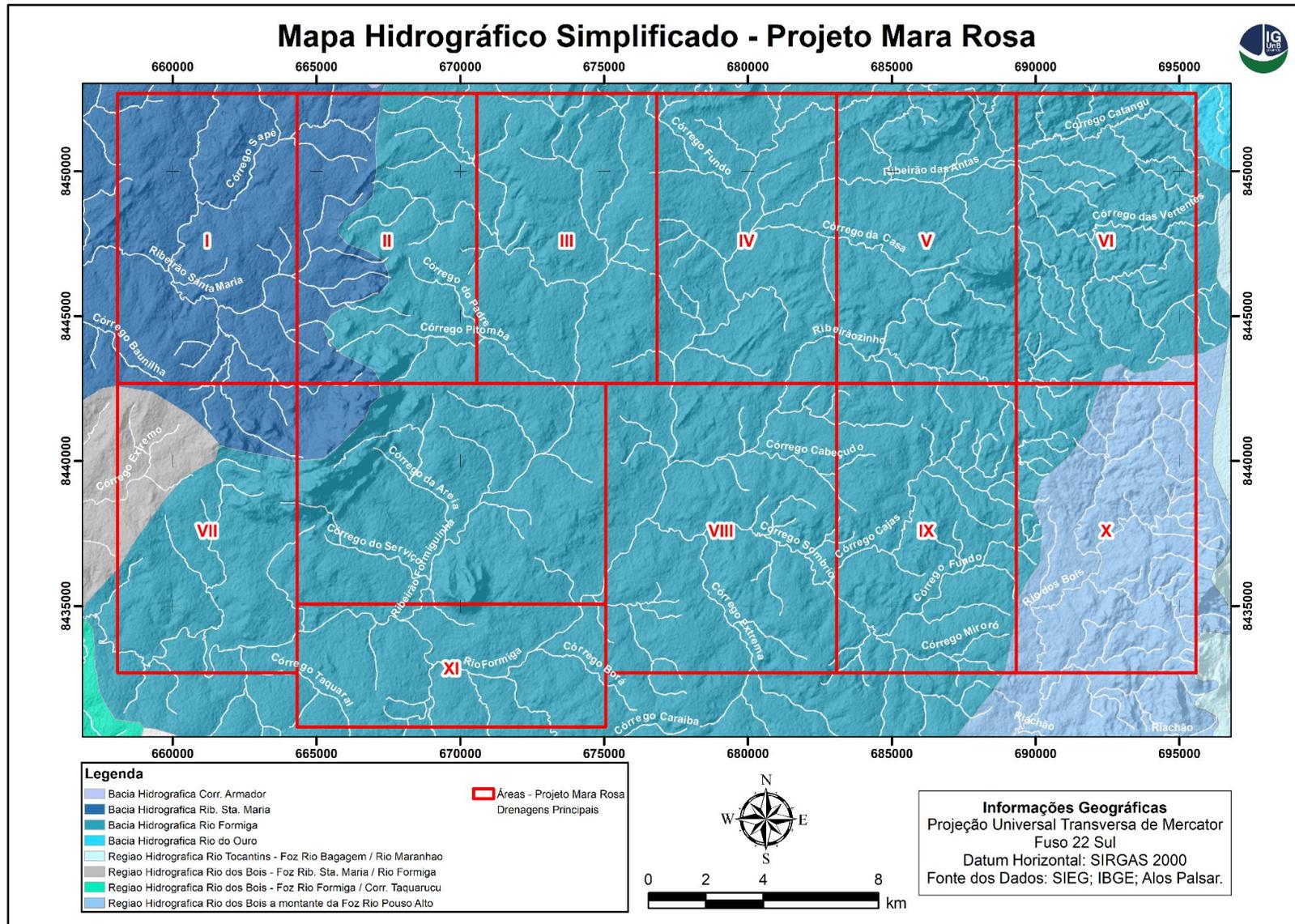
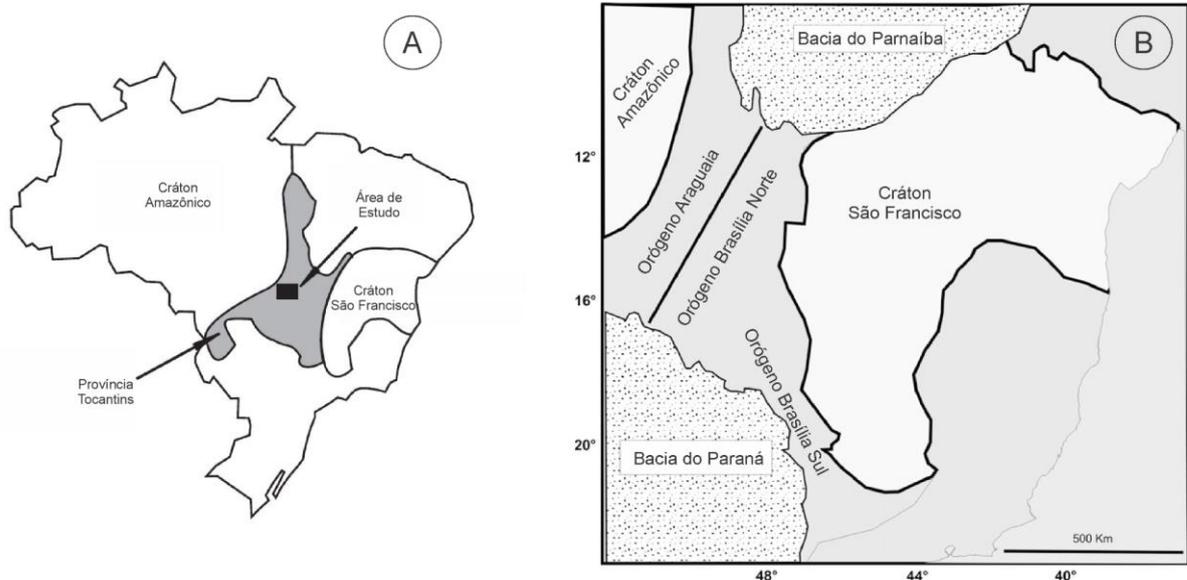


Figura 1.12: Hidrografia do Projeto Mara Rosa. Fonte dos dados: portal SIEG (Sistema de Informações Geográficas do Estado de Goiás).

## 2. GEOLOGIA REGIONAL

A amálgama de Gondwana Ocidental ocorreu a partir da série de eventos tectônicos colisionais que ocorreram no neoproterozoico, dentre eles o Orógeno Brasileiro (Brito Neves *et al.*, 1999; Meert 2003). Esses eventos envolveram o movimento convergente dos paleocontinentes São Francisco-Congo, Paranapanema e Amazônico que, ao colidirem, estabeleceram a trama de dobramentos nas unidades de bacias sedimentares meso a neoproterozoicas, na região intercratônica. A esse sistema orogênico, foi dado o nome de Província Tocantins (Almeida *et al.*, 1981), a qual é composta pelos orógenos Araguaia, Paraguai e Brasília (Figura 2.1), sendo que os dois primeiros se desenvolveram nas bordas leste e sul/sudeste do Cráton Amazônico, respectivamente, enquanto o último se dispôs na borda oeste do Cráton do São Francisco (Pimentel *et.al*, 2000; Dardenne *et.al*, 2000; Valeriano *et al.* 2008).



**Figura 2.1:** Mapa mostrando a Localização da Província Tocantins no contexto geotectônico do Brasil (A) Destaque para a área de estudo, em preto; (B) Destaque para o Orógeno Brasília. (Adaptado de Fuck *et.al*, 2017).

### 2.1. O Orógeno Brasília

O Orógeno Brasília compreende um cinturão de dobras e cavalgamentos de idade neoproterozoica, que ocorre na borda ocidental do Cráton do São Francisco, cobrindo partes dos estados de Tocantins, Goiás e Minas Gerais. Apresenta evolução complexa, e possivelmente diacrônica, sendo dividido em dois segmentos, dos quais a porção meridional foi formada pelo resultado da interação entre os crátons São

Francisco e Paranapanema e a porção setentrional se estabelece na interação entre os crátons do São Francisco e Amazônico (Figura 2.1).

Este orógeno é associado ao evento Brasileiro, estando entre os mais bem preservados e completos da América do Sul, com extensão de 1000 km e direção N-S (Fuck *et al.*, 2014). Dessa forma, diversos modelos de compartimentação foram propostos para o Orógeno Brasília a fim de integrar zonas com semelhanças tectono-estruturais. Uhlein *et al.* (2013) subdividem o orógeno em Faixa Brasília setentrional (FBS) e Faixa Brasília meridional (FBM). A Faixa Brasília setentrional apresenta, predominantemente, estruturação NNE, enquanto na Faixa meridional predomina a estruturação NNW.

Fuck *et al.* (2014), por sua vez, dividem o orógeno em três ramificações, a saber, uma porção mais ao norte, com direção predominante NNE-SSW, uma porção centro-sul, a qual possui direção preferencial WNW-ESE, e uma porção sul, com direção preferencial E-W (Valeriano *et al.*, 2004, 2008; Campos Neto *et al.*, 2008). A separação entre os segmentos norte e sul é estabelecida pela Sintaxe dos Pirineus (Araújo Filho, 2000, Pimentel *et al.*, 2000), que consiste em estrutura côncava para leste que reflete a acomodação diacrônica dos terrenos acrescionários ao redor da margem oeste do Cráton do São Francisco.

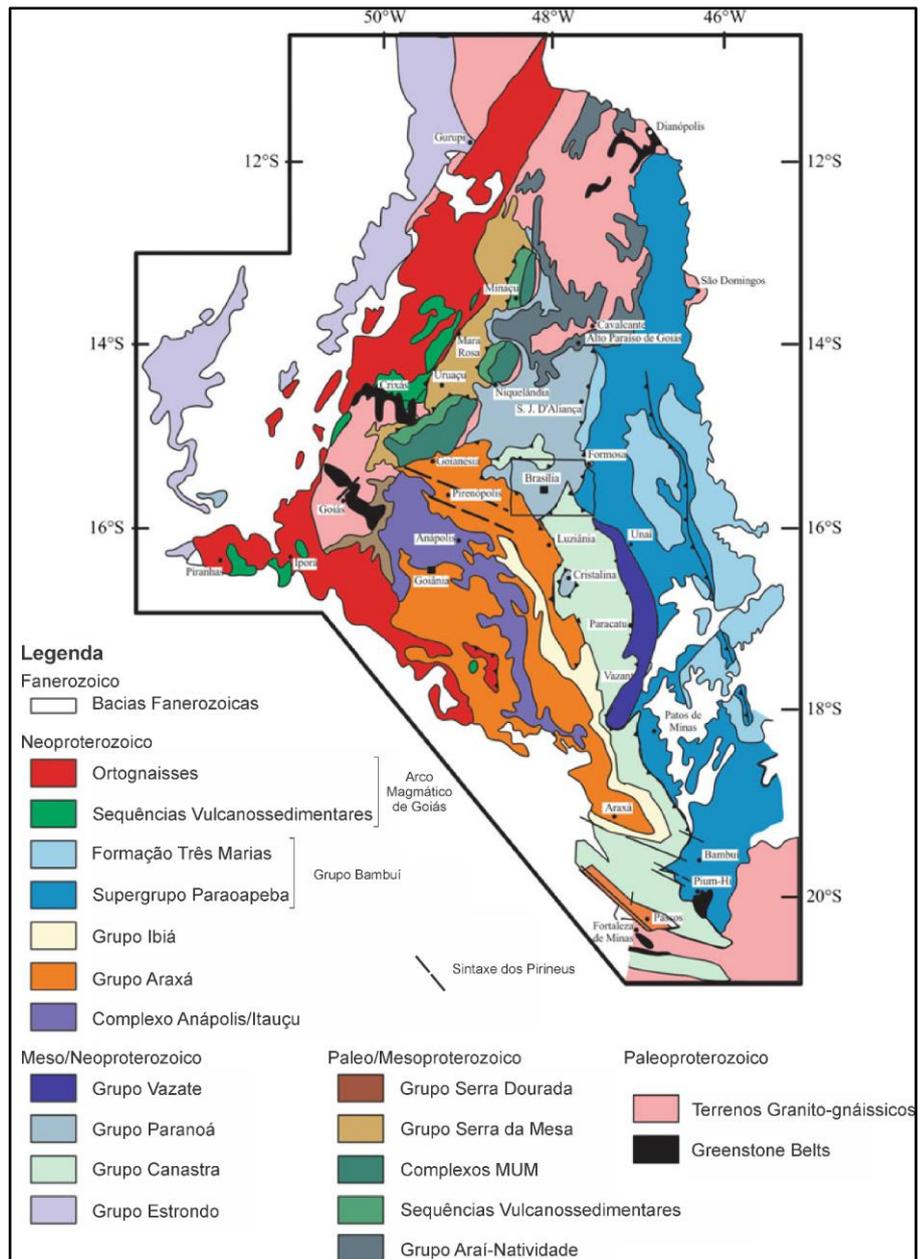
Conforme descrito por Fuck *et al.* (1994), Pimentel *et al.* (2004) Uhlein *et al.* (2012) e Cordeiro & Oliveira (2017), as principais unidades geotectônicas que constituem o Orógeno Brasília são, de leste para oeste, unidade cratônica, unidade externa, unidade interna, Maciço de Goiás e Arco Magmático de Goiás. A seguir, serão descritas as principais características das unidades estruturais, sendo suas unidades geológicas apresentadas na Figura 2.2.

### **Unidade Estrutural Cratônica**

Constituída pelos grupos Bambuí e Vazante (Dardenne, 1981, 2000), esta unidade é composta por sedimentos argilo-carbonáticos e extensas coberturas fanerozoicas. Além disso, o cráton pode ser descrito como um domínio autóctone, ou seja, sem deformação no embasamento. Esta unidade é limitada pela Faixa Brasília externa, sendo o limite indicado por falhas de empurrão de baixo a médio ângulo, que expõem as unidades mesoproterozoicas do Grupo Paranoá e Grupo Canastra (Uhlein *et al.*, 2013).

### Unidade Estrutural Externa da Faixa Brasília

É composta predominantemente por unidades metassedimentares do Mesoproterozoico (Grupos Natividade, Paranoá e Canastra) e Paleoproterozoico (Grupo Araí), assim como por porções do embasamento arqueano -paleoproterozoico (Uhlein *et al.*, 2013). No setor meridional da unidade, no estado de Minas Gerais, existe uma megaestrutura de cinturão de dobras e cavalgamentos, com extensas falhas de empurrão longitudinais, que invertem a estratigrafia dos grupos Vazante, Canastra e Ibiá (Campos Neto 1979, Freitas-Silva 1991, Pereira 1992).



**Figura 2.2:** Mapa geológico com disposição e idade das principais unidades geológicas do Orógeno Brasília. (Adaptada de Fuck *et al.*, 2017).

### **Unidade Estrutural Interna da Faixa Brasília**

Inclui unidades dos grupos Araxá, Serra da Mesa, Complexo Anápolis-Itauçu, assim como porções do embasamento. Conforme descrito por Pimentel *et al.* (2000), todas estas unidades foram afetadas pela tectônica brasileira. Em comparação com a porção externa, esta unidade apresenta grau metamórfico mais alto, chegando à fácies granulito (Ferreira Filho *et al.*, 1992). A zona interna da Faixa Brasília configura-se na forma de um sistema de nappes, sobrepondo o cinturão de dobras e cavalgamentos da zona externa (Valeriano *et al.*, 2008).

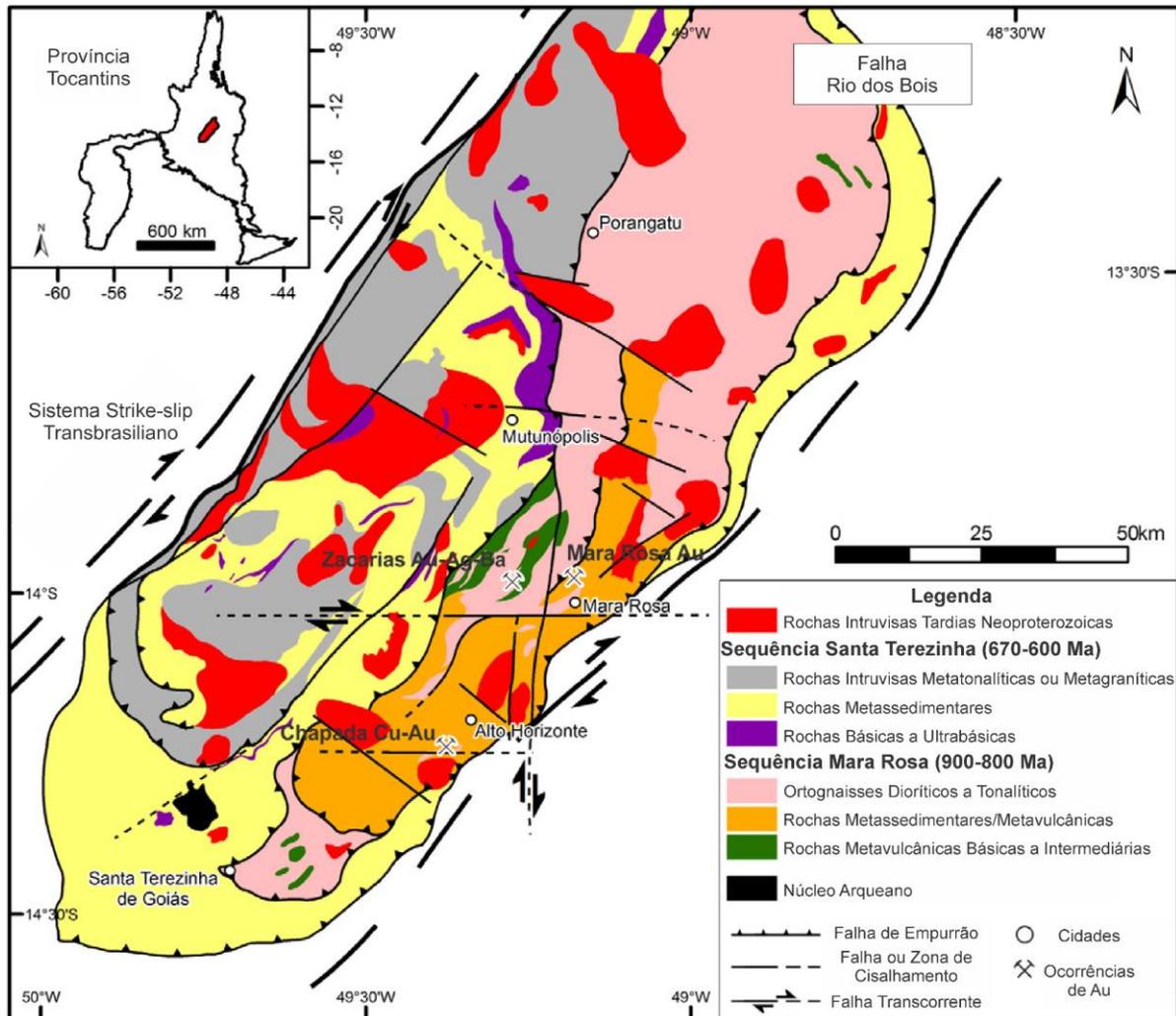
### **Maciço de Goiás**

O termo “Maciço de Goiás”, inicialmente utilizado para descrever todas as rochas do Brasil Central (Marini *et al.*, 1984), foi interpretado por Fuck (1994) como um microcontinente acrescido durante a Orogenia Brasileira, sendo que diversos estudos tectônicos adotam essa interpretação (Pimentel *et al.*, 2000, 2003; Valeriano *et al.*, 2008). Contudo, D’El-Rey Silva *et al.*, 2008, Cordeiro *et al.*, 2014, Cordeiro & Oliveira, 2017, sugerem correlacionar o Maciço de Goiás com porções do Cráton do São Francisco. A interpretação mais recente é dada por Cordeiro & Oliveira (2017), que apresentam evidências geológicas, geocronológicas e geofísicas de amálgama entre o Maciço de Goiás e o Cráton do São Francisco no Paleoproterozoico (2.19 a 2.04 Ga). O Maciço de Goiás é composto por quatro domínios principais, a saber, Domínio Crixás-Goiás, Domínio Campinorte, Domínio Cavalcante-Araias e Domínio Almas-Tocantins. Assim, na concepção de Cordeiro & Oliveira (2017), o Maciço de Goiás representaria a extensão pericratônica da margem oeste do Cráton do São Francisco, devido às similares idades de formação e metamorfismo, e outras evidências geofísicas.

### **Arco Magmático Goiás**

Esta unidade é composta por sequências metavulcanossedimentares típicas de ambientes de arco, as quais estão associadas a ortognaisses tonalíticos a graníticos e rochas intrusivas sin a pós-tectônicas. Estas últimas apresentam idades de cristalização entre 890 e 480 Ma (Pimentel & Fuck, 1992; Pimentel, 2000; Laux *et al.*, 2004; Oliveira *et al.*, 2004). O Arco Magmático de Goiás aflora ao longo de área extensa na porção oeste do Orógeno Brasília, com direção preferencial N-NE, sendo subdividido em dois segmentos principais, descontínuos geograficamente, a saber, Segmento Mara Rosa, no norte do orógeno, Segmento Arenópolis, no sul (Oliveira *et*

*et al.*, 2016). O Arco Magmático Arenópolis é limitado a oeste pelo Lineamento Transbrasiliano e a leste pelos granulitos do Complexo Anápolis-Itauçu (Marques, 2017). Já o arco Mara Rosa é limitado a leste pela Falha Rio dos Bois, que o coloca em contato com a Sequência Campinorte, e a oeste pelas zonas de cisalhamento relacionadas ao Lineamento Transbrasiliano (Figura 2.3).

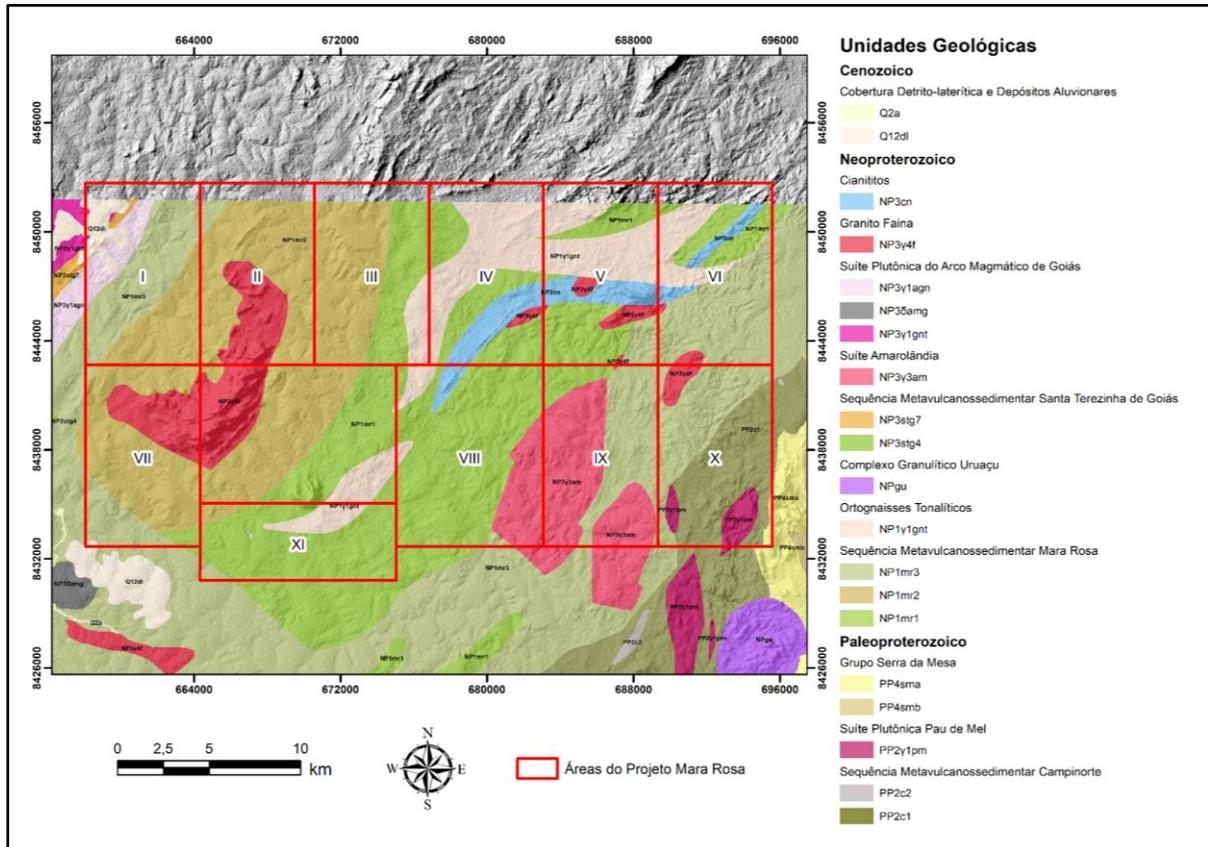


**Figura 2.3:** Mapa Geológico do Arco Magmático de Mara Rosa, evidenciando as sequências metavulcanossedimentares Mara Rosa (900-800 Ma) e Santa Terezinha (670-600 Ma). Fonte: Adaptado de Oliveira *et al.* (2016).

## 2.2. Contexto Geológico do Projeto Mara Rosa

A área de estudo contemplada pelo Projeto Mara Rosa é constituída, principalmente, por rochas relacionadas à evolução do Arco Magmático de Goiás, segmento Mara Rosa, além do embasamento paleoproterozoico, representado pelo Arco Magmático Campinorte (Kuyumjian *et al.*, 2004; Oliveira *et al.*, 2006; Cordeiro & Oliveira, 2017), e unidades metassedimentares meso-neoproterozoicas do Grupo Serra da Mesa (Barbosa, 1955; Marine *et al.*, 1977; Cordeiro *et al.*, 2014). A Figura

2.4 apresenta as unidades geológicas descritas na Folha Campinorte para a área de estudo (CPRM, Oliveira *et al.*, 2006), sendo estas as principais unidades litoestratigráficas esperadas para o trabalho de mapeamento.



**Figura 2.4:** Unidades litoestratigráficas presentes na área do Projeto Mara Rosa, segundo dados da CPRM (Folhas Campinorte e Santa Terezinha, 2006). Trabalhos recentes (Oliveira, 2016 e Mapeamento Geológico 2 - Projeto Mara Rosa, 2022) promoveram melhor caracterização dos contatos litológicos, sendo as informações referentes à Folha Campinorte utilizadas de maneira majoritariamente qualitativa, indicando, previamente ao trabalho de campo, as unidades encontradas na região.

### 2.2.1. Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte

A Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte corresponde ao embasamento paleoproterozoico do Segmento Mara Rosa (AMG), formado anteriormente ao evento tectônico brasileiro e está inserida no contexto geológico do Maciço de Goiás. O Maciço de Goiás é subdividido, de sudoeste a nordeste, nos domínios Crixás-Goiás, Campinorte, Cavalcante-Araias e Almas-Tocantins. Seu limite a oeste se dá pela Falha Rio dos Bois, que o coloca em contato com o Arco Magmático de Goiás. Grande parte destes domínios é recoberta por unidades supracrustais do Orógeno Brasília a sul, e pelos sedimentos paleozoicos da Bacia do Parnaíba a norte (Cordeiro & Oliveira, 2017).

O Domínio Campinorte representa a evolução do Arco Magmático Campinorte, com idades U-Pb de 2.19 a 2.08 Ga (Cordeiro *et al.*, 2014), sendo composto pelas unidades metavulcanossedimentares da Sequência Campinorte e pelos metatonalitos, metagranodioritos e metamonzogranitos da Suíte Pau de Mel. Ambos são amplamente recobertos pelas rochas metassedimentares do Grupo Serra da Mesa, de idade meso a neoproterozoica.

A Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte inclui metapsamitos (quartzito, muscovita quartzito e quartzo-mica xisto), metapelitos (muscovita xisto, clorita-muscovita xisto com ou sem granada, clorita-biotita xisto, muscovita-quartzo xisto e, subordinadamente, xistos carbonosos) e rochas metassedimentares químicas (gondito e metachert). Além disso, essa sequência apresenta rochas metavulcânicas ácidas a intermediárias as quais ocorrem quase sempre em camadas lenticulares de dimensões variáveis, intercaladas nas rochas metassedimentares (Giustina *et al.* 2009). Rochas piroclásticas ácidas, riolitos e riodacitos porfíricos, são as rochas mais representativas dos componentes vulcânicos dessa sequência. Intercalações de rochas metaultramáficas (talco-clorita xisto, anfibólio xisto, actinolitos), anfibolito fino e epidoto anfibolito ocorrem de forma subordinada (Oliveira *et al.*, 2006).

Giustina *et al.* (2009), por intermédio de análises U-Pb em zircão detrítico, determinaram idade máxima de ~2.2 Ga para a deposição da Sequência Campinorte. Portanto, as rochas metassedimentares desta unidade teriam sido formadas pela erosão do arco paleoproterozoico periférico, com contribuição limitada, ou nenhuma contribuição, da crosta arqueana como potencial área fonte.

### **2.2.2. Suíte Plutônica Pau de Mel**

A Suíte Plutônica Pau de Mel engloba ampla variação de rochas plutônicas intermediárias a ácidas cálcio-alcálicas (tonalito, granodiorito e granito), deformadas e metamorfizadas sob condições das fácies xisto verde a anfibolito. Tais rochas apresentam assinatura geoquímica de arco magmático e constituem equivalentes plutônicos das rochas vulcânicas ácidas da Sequência Campinorte (Oliveira *et al.*, 2006). Os principais corpos graníticos representantes desta suíte são as intrusões Mundinho e Viúva, que hospedam depósitos do tipo ouro orogênico, relacionados a zonas de cisalhamento transcorrentes neoproterozoicas (Oliveira *et al.*, 2004). O Granito Milonítico Mundinho constitui um metagranito com geometria alongada e foliação milonítica subvertical, resultante de intensa deformação controlada por zona

de cisalhamento transcorrente norte-sul. O corpo intrude um pacote de quartzitos e xistos da sequência metavulcanossedimentar Campinorte. Os corpos intrusivos da Suíte Pau de Mel apresentam idades de cristalização em zircão de 2.17 a 2.07 Ga (Cordeiro *et al.*, 2014).

### **2.2.3. Grupo Serra da Mesa**

O Grupo Serra da Mesa compõe-se predominantemente de sequência marinha plataformar monótona de rochas metassedimentares psamo-pelíticas constituída de quartzitos finos a médios, quartzo xistos e mármores (Marques, 2009). As paragêneses metamórficas nestas rochas indicam metamorfismo em fácies xisto verde, na transição entre as zonas da clorita e da biotita/granada (Kuyumjian *et al.*, 2004).

O posicionamento cronoestratigráfico desta unidade é controverso, e, a partir de sua distribuição e associação faciológica, é correlacionada ao Grupo Araí (Marques, 2009; Pimentel *et al.*, 2011), tendo idade máxima de deposição de 1.55 a 1.77 Ga (Marques, 2009), porém ainda não foram apresentados dados consistentes que comprovem essa hipótese (Martins-Ferreira *et al.*, 2018). Entretanto, Cordeiro *et al.* (2014) enquadram esta unidade como de idade meso-neoproterozoica. No contexto da área de estudo, o Grupo Serra da Mesa encontra-se depositado sobre a Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte.

### **2.2.4. Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa**

Descrita inicialmente por Arantes *et al.* (1991), esta sequência é constituída por três faixas estreitas e anastomosadas (oeste, central e leste) com disposição NNE e mergulhando para W. As três faixas são formadas por metabasaltos, metatufos intermediários a ácidos, rochas metaultramáficas, metagrauvas finas a médias, metacherts, formações ferríferas e gonditos, assim como ampla variedade de rochas metassedimentares psamo-pelíticas e rochas características de hidrotermalismo, sendo que todas essas rochas apresentam evidências de metamorfismo em condições de fácies xisto verde a anfibólito (Arantes *et al.*, 1991). As faixas leste e oeste são predominantemente formadas por rochas metassedimentares, enquanto a faixa central, hospedeira dos principais depósitos de Au e Cu-Au da região, é caracterizada por maior abundância de rochas metavulcânicas básicas (Oliveira *et al.*, 2006).

Ainda segundo Oliveira *et al.* (2006), as faixas leste e central constituem a Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa (Figura 2.3), de maneira que propõem compartimentação litoestratigráfica da sequência em subunidades, baseadas na contemporaneidade e proximidade espacial das associações de rochas com características magmáticas ou sedimentares semelhantes. As subunidades incluem: subunidade metavulcânica básica, subunidade metassedimentar e subunidade metavulcanossedimentar.

### **Subunidade Metavulcânicas Básicas**

Corresponde à associação de rochas metavulcânicas e metaplutônicas básicas (anfíbolito, quartzo anfíbolito e quartzo-biotita-granada anfíbolito), além de metassedimentares químicas e pelíticas subordinadas. Os metabasaltos são representados por anfíbolitos finos constituídos essencialmente de hornblenda e plagioclásio. Pequenos corpos de metatonalitos, metadioritos e hornblenditos, pouco deformados, são comumente associados.

### **Subunidade Metassedimentar**

Compreende associação de rochas metassedimentares psamo-pelíticas, encaixantes do Granito Faina, com intercalações de metassedimentares químicas, representadas por gonditos e metacherts.

### **Subunidade Metavulcanossedimentar**

Compreende uma ampla variação de rochas metavulcânicas básicas (anfíbolitos com granada, biotita e epidoto) a ácidas (gnaisses com biotita, muscovita, plagioclásio e feldspato potássico), e metassedimentares psamo-pelíticas e químicas, além de produtos hidrotermais associados às mineralizações de Cu-Au (Chapada) e Au (Mundinho, Viúva, Sururuca), dentre os quais se destacam xistos e gnaisses com mineralogia variada (Lacerda, 1986; Oliveira *et al.*, 2016). As rochas metavulcânicas básicas são representadas, sobretudo, por anfíbolitos finos bandados, sendo comum encontrar variações de granada anfíbolito, biotita anfíbolito, antofilita anfíbolito e epidoto anfíbolito. Dois eventos distintos para o Arco Magmático Mara Rosa foram descritos por Pimentel e Fuck (1992), Pimentel *et al.* (1997) e Junges *et al.* (2002), a saber, um primeiro evento em 900 Ma, relacionado à formação do arco de ilhas, e um segundo, em 630 Ma, relacionado à Orogênese Brasileira.

### **2.2.5. Ortognaisses Tonalíticos**

Esta unidade é composta por ortognaisses tonalíticos (biotita gnaisses) de granulação média, com dioritos subordinados. Nos corredores de alta deformação, caracterizados por zonas de cisalhamento transcorrente NE, esses corpos adquirem geometria sigmóide fortemente alongada (Figura 2.4), aos quais se associa intensa segregação de veios quartzo-feldspáticos (Oliveira *et al.*, 2006). Arantes *et al.* (1991) descrevem enclaves de rochas supracrustais nestes metatonalitos, característica indicativa da natureza intrusiva do protólito plutônico. Viana *et al.* (1995) descrevem que os gnaisses dioríticos a tonalíticos situados entre as faixas supracrustais são homogêneos, sendo que eles apresentam granulação média a grossa, com texturas e estruturas ígneas reliquias. Além disso, associados aos gnaisses, há presença de pequenos corpos de metagabros e metahornblenditos de granulação grossa (Viana *et al.* 1995). Datações U-Pb em zircão, obtidos a partir de gnaisses tonalíticos do depósito Zacarias, mostram idade de  $845 \pm 5$  Ma (Melo, 2006). Essa idade registra um importante evento gerador das rochas do arco magmático.

### **2.2.6. Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha**

A Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha de Goiás compreende rochas metassedimentares, formadas a partir da erosão de depósitos vulcânicos do arco magmático adjacente, bem como rochas metamórficas, como quartzitos, anfibolitos e xistos com clorita, muscovita, anfibólio e feldspato (Souza, 1984; Fuck *et al.*, 2006). Também inclui produtos metamórficos derivados de rochas vulcânicas (Figura 2.3). Esta unidade é subdividida em associações de rochas metavulcanossedimentares e rochas metassedimentares (Oliveira *et al.*, 2006, 2016). Destaca-se, nessa sequência, a predominância de paragêneses indicativas de fácies xisto verde, superimpostas a associações de fácies anfibolito (Oliveira *et al.*, 2016).

#### ***Subunidade Metavulcanossedimentar***

Composta por anfibolitos finos e epidoto anfibolitos, intercalados com diversos xistos, compostos por biotita, muscovita, hornblenda, granada e epidoto (Oliveira *et al.*, 2016).

### **Subunidade Metassedimentar**

Composta por grande variedade de xistos, compostos por plagioclásio, granada, carbonatos, óxidos, biotita, muscovita, granada, quartzo, epidoto e clorita (Oliveira *et al.*, 2016).

#### **2.2.7. Suíte Amarolândia**

Constitui-se de conjunto de corpos intrusivos com tamanhos variados, desde pequenos corpos até intrusões batolíticas de composição diorítica a tonalítica, pouco ou não deformados, sendo que neles ocorrem enclaves surmicáceos de biotita. As rochas mais representativas dessa suíte possuem granulação média. Há, também, ocorrências de epidoto e clorita, as quais indicam metamorfismo em fácies xisto verde (Oliveira *et al.*, 2006). Análises U-Pb em zircão de tonalito do depósito Chapada indicaram que esta suíte possui idade de  $635 \pm 2,4$  Ma. Essa idade foi interpretada como a idade de cristalização magmática e tida como representativa da suíte tonalítica Amarolândia (Melo, 2006).

#### **2.2.8. Granito Faina**

Suíte de rochas plutônicas intermediárias a ácidas, comumente representada por corpos pequenos, pouco ou não deformados, de natureza sin a pós-tectônica. As intrusões graníticas incluem, principalmente, biotita granito e leucogranitos a duas micas, que exibem granulação média a grossa. O Granito Faina, por sua vez, constitui batólito alongado, disposto segundo NE-SW e exibindo granulação média a grossa, composto por microclínio, plagioclásio, quartzo, biotita, muscovita e granada. O contato desse corpo com as rochas metassedimentares encaixantes é marcado por faixa larga de rochas metassedimentares psamo-pelíticas proto a ultramilonitizadas (Oliveira *et al.*, 2006). O Granito Faina foi datado em  $576 \pm 6$  Ma (Junges *et al.* 2002a, 2003), enquanto as idades modelo Sm-Nd ( $T_{DM}$ ) de 1,1 a 1,5 Ga indicam idades mesoproterozoicas (Viana *et al.*, 1995; Junges *et al.*, 2002b).

#### **2.2.9. Cianititos**

Unidade com rochas metassedimentares ricas em cianita com variações entre xistos ricos em cianita, cianita quartzitos e cianititos, sendo que nela encontram-se intercalações subordinadas de rochas metavulcânicas básicas a intermediárias. Ocorrem, principalmente, ao longo da zona de cisalhamento Serra de Bom Jesus e nas rochas encaixantes do depósito de Cu-Au de Chapada. Os cianititos exibem

granulação média a grossa e ocorrem em blocos métricos nas encostas íngremes (Oliveira *et al.*, 2006). De acordo com Palermo (1996), o crescimento da cianita pode estar relacionado à alteração hidrotermal, seguido por metamorfismo de fácies anfibolito de produtos hidrotermais aluminosos, em estágio avançado de alteração, durante pico do metamorfismo de fácies anfibolito, em cerca de 760 Ma (Junges *et al.* 2002). Datações U-Pb em rutilo apresentaram idade de  $569 \pm 9$  Ma, sendo associada ao resfriamento posterior ao evento metamórfico em fácies anfibolito, iniciado em 630 Ma (Oliveira *et al.*, 2006).

### 3. SENSORIAMENTO REMOTO E GEOFÍSICA

Neste capítulo serão apresentadas as ferramentas e técnicas de geoprocessamento e geofísica utilizadas no Projeto Mara Rosa, bem como os produtos decorrentes de sua aplicação. Atualmente, é imprescindível a inclusão destes tipos de dados na metodologia de mapeamento geológico, afinal são recursos modernos, que acarretam em melhora significativa na qualidade e precisão dos resultados finais do trabalho.

Para o presente Projeto, foram utilizadas imagens orbitais multiespectrais, dados de radar e dados aerogeofísicos potenciais. Os materiais citados auxiliam em diversas etapas do mapeamento geológico, incluindo os estudos preliminares da área, o apoio durante o trabalho de campo, e também a confecção e interpretação dos mapas geológicos finais.

Durante a etapa de pré-campo, as imagens orbitais foram utilizadas para a identificação e demarcação de feições de interesse na região de estudo, como vias de acesso, elementos hidrográficos, ocupação humana e morfologia do relevo. Isso foi feito de forma a auxiliar a logística do trabalho de campo, facilitando a localização e locomoção na região. Além disso, esses elementos são de suma importância para a identificação de contatos e estruturas geológicas, bem como dos demais elementos cartográficos e geológicos associados.

Já os dados geofísicos foram empregados, juntamente com as imagens orbitais, para caracterização prévia das rochas que compõem a área de estudo, bem como do material que os recobre, seja ele natural ou antrópico. Durante a coleta de dados *in situ*, essas informações serviram como guia para a busca por variações litológicas na área, além de auxiliar em sua posterior interpretação e na geração do mapa geológico-geofísico final.

#### 3.1. Sensoriamento Remoto

Segundo o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2022), sensoriamento remoto pode ser definido como conjunto de técnicas utilizadas para obtenção de informações sobre alvos de forma indireta, ou seja, sem contato físico direto com o objeto. Mais especificamente, no ramo das geociências, o alvo corresponde à superfície da Terra, enquanto os dados são obtidos por meio de sensores que captam a radiação eletromagnética, após sua interação com o alvo e retorno para o sensor.

Tendo como objetivo diversificar os tipos de dados aplicados e, logo, a natureza das informações obtidas, foram utilizadas, para o Projeto Mara Rosa, imagens orbitais provenientes de sensores passivos e ativos. Os dados passivos incluem as imagens multiespectrais dos satélites CBERS 04A e Landsat 8, enquanto os dados ativos correspondem aos dados de radar do sensor Alos Palsar.

### 3.1.1. Imagens Multiespectrais

As imagens óticas multiespectrais usadas provêm dos sensores CBERS 04A WPM e Landsat 8 OLI e TIRS, disponibilizadas gratuitamente na internet, nos portais de seus respectivos provedores. As imagens passam por pré processamento antes de serem disponibilizadas, em que são realizadas as correções geométricas e radiométricas necessárias para melhor qualidade do dado.

Os satélites CBERS (*China-Brazil Earth Resources Satellite* ou Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres) são geridos pelo INPE no Brasil desde o início da missão em 1999, sendo o CBERS 04A seu sexto modelo de satélites, e também o mais recente. Segundo INPE (2020), foi colocado em órbita em 20 de dezembro de 2019, operando e coletando dados até os dias atuais. Dentre os três tipos de sensores a bordo, as imagens adquiridas são do tipo WPM (Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura), a qual é a principal câmera do satélite. A Tabela 3.1 mostra as principais características desse sensor, bem como da cena escolhida para este trabalho.

**Tabela 3.1:** Especificações da câmera WPM do satélite CBERS 04A, e metadados da cena utilizada no Projeto Mara Rosa.

Câmera WPM - CBERS 04A		Cena Utilizada	
<b>Resolução Espectral (Bandas)</b>	0,45-0,52 $\mu\text{m}$ (B) 0,52-0,59 $\mu\text{m}$ (G) 0,63-0,69 $\mu\text{m}$ (R) 0,77-0,89 $\mu\text{m}$ (NIR) 0,45-0,90 $\mu\text{m}$ (PAN)	<b>Identificação</b>	CBERS4A_WPM209130 20220612
<b>Resolução Espacial</b>	2 m (Pancromática) 8 m (Multiespectral)	<b>Nível de Processamento</b>	Nível 4 (L4) - Ortorretificada
<b>Resolução Temporal (Revisita)</b>	31 dias	<b>Tipo de Dado</b>	Número Digital
<b>Resolução Radiométrica</b>	10 bits	<b>Aquisição</b>	12/06/2022 - 13:59:02
<b>Largura da Faixa Imageada</b>	92 km	<b>Cobertura de Nuvens</b>	0%

Já os satélites Landsat (*Land Remote Sensing Satellite*), geridos pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e pela USGS (*United States Geological Survey*), estão em funcionamento desde a década de 60, com o programa

sendo um dos pioneiros na aquisição de imagens orbitais em larga escala. Landsat 8 foi lançado em 2013, estando ainda em operação, mesmo após a chegada do Landsat 9. Seus sensores incluem OLI (*Operational Land Imager*) e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) e suas características se encontram detalhadas na Tabela 3.2, juntamente com os dados da cena utilizada.

**Tabela 3.2:** Especificações dos sensores OLI e TIRS do satélite Landsat 8 e metadados da cena utilizada no Projeto Mara Rosa.

Landsat 8	Sensor OLI	Sensor TIRS
<b>Resolução Espectral (Bandas)</b>	0,433-0,453 $\mu\text{m}$ (Bc) 0,450-0,515 $\mu\text{m}$ (B) 0,525-0,600 $\mu\text{m}$ (G) 0,630-0,680 $\mu\text{m}$ (R) 0,845-0,885 $\mu\text{m}$ (NIR) 1,560-1,660 $\mu\text{m}$ (SWIR1) 2,100-2,300 $\mu\text{m}$ (SWIR2) 0,500-0,680 $\mu\text{m}$ (PAN) 1,360-1,390 $\mu\text{m}$ (CIRRUS)	10,30-11,30 $\mu\text{m}$ (LWIR1) 10,50-12,50 $\mu\text{m}$ (LWIR2)
<b>Resolução Espacial</b>	15 m (Pancromática) 30 m (Multiespectral)	100 m - reamostrada para 30 m
<b>Resolução Temporal (Revisita)</b>	16 dias	16 dias
<b>Resolução Radiométrica</b>	12 bits	12 bits
<b>Largura da Faixa Imageada</b>	185 km	185 km
Cena Utilizada		
<b>Identificação</b>	LC08_L2SP_222070_20210726_20210804_02_T1	
<b>Nível de Processamento</b>	L2SP	
<b>Tipo de Dado</b>	Reflectância de Superfície (OLI) Temperatura de Superfície (TIRS)	
<b>Aquisição</b>	26/07/2021 - 13:20:31	
<b>Cobertura de Nuvens</b>	1%	

### 3.1.2. Modelo Digital de Elevação (MDE)

O satélite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) foi lançado em 2006 pela JAXA (*Japan Aerospace Exploration Agency*), e teve sua operação finalizada em 2011. Dentre os sensores a bordo, o PALSAR (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*), que funciona a base da captação de microondas, é capaz de adquirir dados de radar por meio do princípio da interferometria (EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2022), utilizando a faixa da banda L (1270 MHz). Estas imagens são disponibilizadas na forma de MDE (Modelo Digital de Elevação) no portal da ASF (*Alaska Satellite Facility*), de forma gratuita, contendo pré-processamento inerente ao dado, em que são realizadas correções geométricas e radiométricas antes de sua disponibilização.

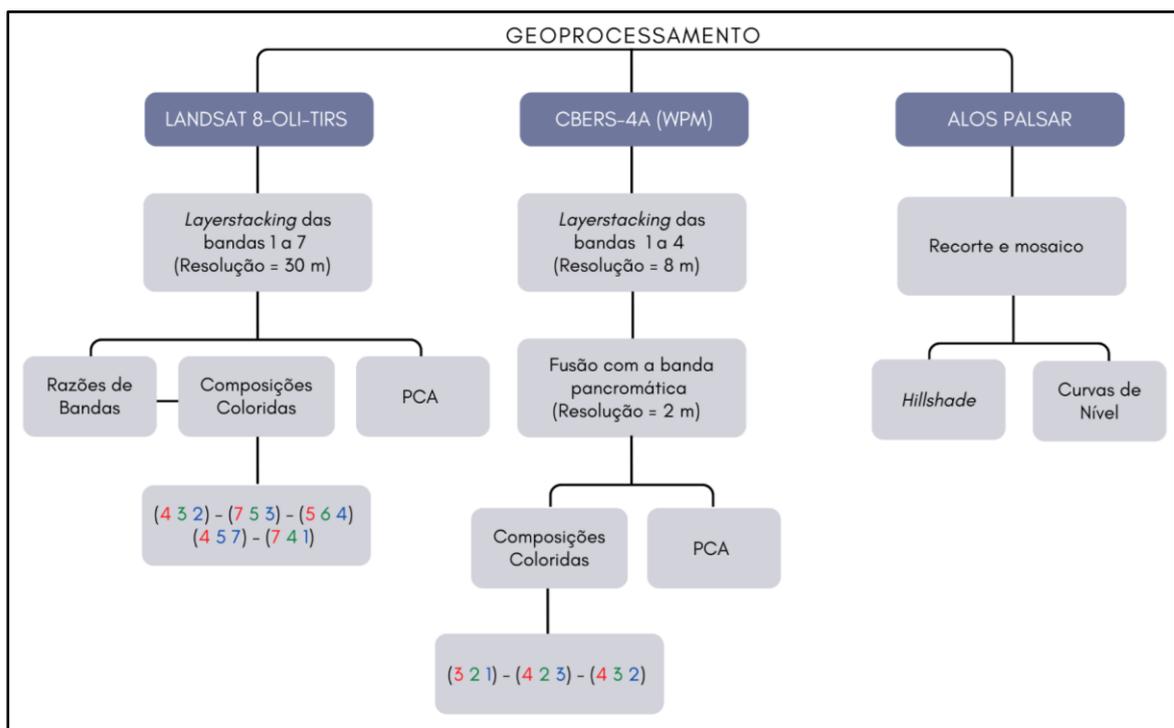
A Tabela 3.3 a seguir destaca as principais características de Modelo Digital de Elevação produzido pelo sensor ALOS PALSAR, bem como as informações relativas à cena utilizada neste projeto.

**Tabela 3.3:** Especificações do Modelo Digital de Elevação produzido pelo sensor ALOS PALSAR e metadados da cena utilizada no Projeto Mara Rosa.

MDE - ALOS PALSAR		Cena Utilizada	
<b>Frequência</b>	1270 MHz (Banda L)	<b>Identificação</b>	ALPSRP269276900
<b>Resolução Espacial</b>	12,5 m	<b>Polarização (Beam Mode)</b>	Singel Polarization (FBS)
<b>Resolução Radiométrica</b>	5 bits	<b>Nível de Processamento</b>	RT1 (High Resolution Terrain Corrected)
<b>Ângulo de Visada off nadir</b>	34,3°	<b>Tipo de Dado</b>	Elevação (m)
<b>Largura da Faixa Imageada</b>	70 km	<b>Aquisição</b>	13/02/2011 - 02:11:05

### 3.1.3. Etapas de Processamento

De posse dos dados primários, foram aplicados procedimentos de geoprocessamento, visando extrair as informações de interesse. Conforme mostrado no fluxograma da Figura 3.1, as imagens CBERS 04A, Landsat 8 e ALOS PALSAR foram processadas de forma independente, com seus resultados sendo posteriormente integrados para a geração dos produtos interpretados.



**Figura 3.1:** Etapas de processamento dos dados de sensoriamento remoto do Projeto Mara Rosa.

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 isso, 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 Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (IG/UnB).

Inicialmente, as imagens CBERS 04A passaram por empilhamento das bandas 1 a 4 (*layerstacking*), de forma a uni-las em um único arquivo raster e possibilitar suas combinações em composições coloridas. Em seguida, foi feita a fusão da imagem empilhada com a banda 0 (pancromática), por meio da ferramenta *pansharpening*, em que os pixels das bandas 1 a 4, inicialmente com resolução espacial de 8 metros, foram reamostrados com base nos pixels da banda 0, de 2 metros de resolução espacial. Isto resultou na imagem multiespectral com 4 bandas (B, G, R e NIR), todas com pixels de 2x2 metros.

Dessa forma, a imagem reamostrada foi utilizada para a confecção das composições coloridas 321, 432 e 423, mostradas na Figura 3.3, bem como para a extração e análise de componentes principais (PCA - Principal Component Analysis).

Com relação ao processamento das imagens Landsat, foi feito 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 (Figura 3.4), fazendo uso também de razões espectrais e extração de componentes principais (Figura 3.5).

Por fim, ao MDE Alos Palsar 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. Esse processo resultou na geração de dado matricial de relevo simulado e dado vetorial de elevação do terreno (Figura 3.2). Para as curvas de nível, foi aplicado também algoritmo de suavização. O espaçamento de 50 metros pode ser considerado representativo, entretanto, conforme as necessidades de detalhe de cada etapa do projeto, os procedimentos e parâmetros foram reaplicados para geração de curvas de nível com espaçamentos variados.

**Tabela 3.4:** Parâmetros de entrada para os algoritmos de geração do *hillshade* e das curvas de nível.

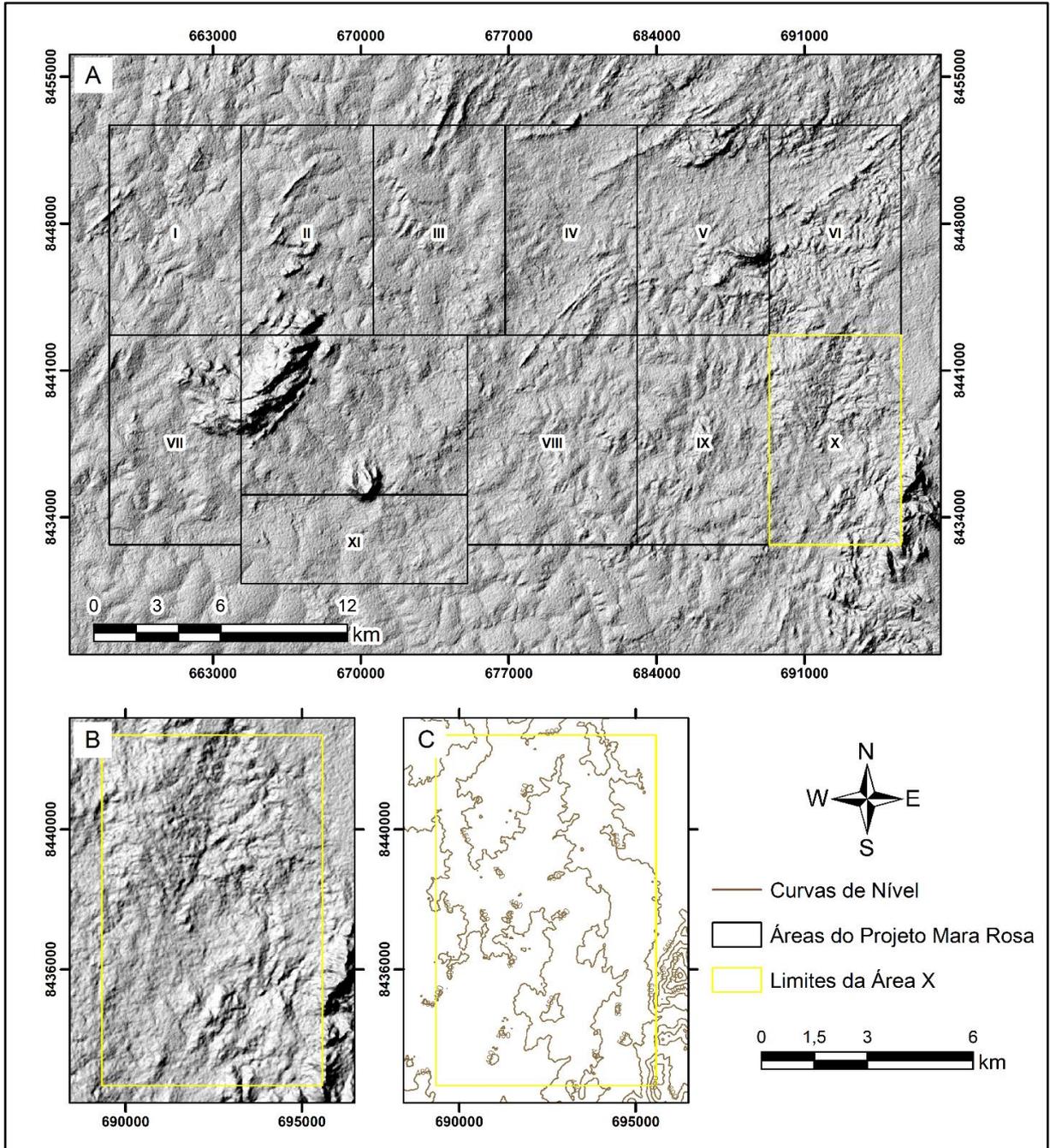
<i>Hillshade</i>		Curvas de Nível e Suavização	
Fator z	2,5	Espaçamento	50 m
Azimute	300°	Iterações	3
Ângulo Vertical	40°	Deslocamento	0,25
Escala de Cores	Branco a Cinza 50%	Ângulo máximo de nó para suavizar	180°

### 3.1.4. Produtos e Interpretações

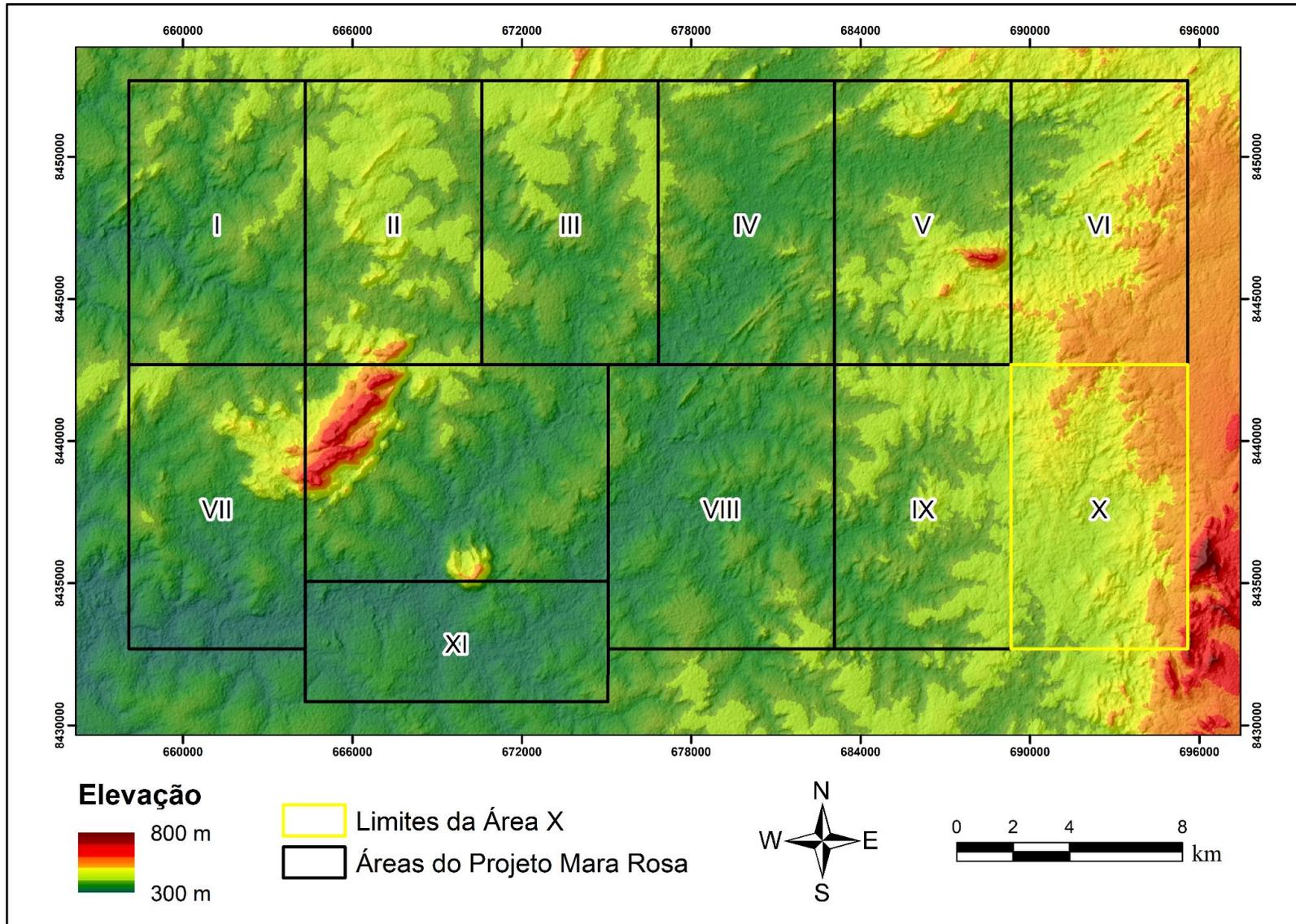
Com base nos dados processados, mostrados nas Figuras 3.2 a 3.7, é possível observar, em detalhe, as principais características morfológicas da área de estudo, incluindo sua topografia, relevo e recobrimento. De forma geral, as áreas do Projeto Mara Rosa se encontram em superfície abatida, relativamente aplainada, com cotas altimétricas entre 300 m e 400 m de altitude, conforme visto no relevo sombreado e na hipsometria (Figuras 3.2 e 3.3). Excepcionalmente, maiores elevações podem ser encontradas em morros isolados na porção oeste da região, e também nas Áreas VI e X no extremo leste, mais próximas à zona urbana de Mara Rosa.

Neste cenário é visto na Área X relevo majoritariamente aplainado em suas porções central e oeste, semelhante ao contexto geral das demais áreas, enquanto a leste o relevo se torna mais acidentado, com altitudes estabelecendo patamar em cerca de 600 m de elevação, e picos mais altos chegando perto da cota de 800 metros.

Já os resultados alcançados pelo processamento das imagens multiespectrais podem ser vistos nas Figuras 3.4 a 3.7. Tendo em vista a alta resolução espacial das imagens CBERS 04A (2 metros quando reamostradas com a banda pancromática), seu uso pode ser melhor explorado para caracterizações morfológicas de relevo, quando comparadas às imagens Landsat 8. Do ponto de vista espectral, as aplicações das imagens CBERS 04A se mostram limitadas devido à restrição a apenas 4 bandas (B, G, R e NIR), enquanto as imagens Landsat 8 apresentam maior variedade espectral, contendo 11 bandas ao todo, se contabilizados os sensores OLI e TIRS. Essa variedade permite maior abrangência do espectro eletromagnético, em que suas composições coloridas podem ser melhor exploradas para observação de padrões em escala regional, além de variações composicionais em solos, vegetação e rochas, embora sua resolução espacial de 30 metros seja fator limitante. Assim, a integração das interpretações feitas a partir das imagens de alta resolução espacial e das imagens de alta resolução espectral se mostra elemento essencial para caracterização mais assertiva da área de estudo.



**Figura 3.2:** Relevo sombreado e curvas de nível geradas a partir do MDE ALOS PALSAR utilizado no Projeto Mara Rosa. (A) Relevo sombreado das áreas do Projeto. (B) Relevo sombreado da Área X. (C) Curvas de nível da Área X com espaçamento de 50 metros.



**Figura 3.3:** Hipsometria da região de estudo do Projeto Mara Rosa, destacando as regiões mais elevadas do terreno em cores quentes, enquanto as regiões de menor altitude aparecem em cores frias.

Por meio da análise das composições coloridas 432 e 423 da imagem CBERS 04A (Figura 3.4), é possível notar que há maior presença de vegetação nativa na porção leste, aparecendo nas cores vermelho e laranja, respectivamente. Nota-se a maior presença de domínios com vegetação fotossinteticamente ativa nessa região, onde a topografia é mais acidentada, enquanto nas porções a oeste/noroeste, a vegetação nativa se encontra mais restrita às matas ciliares e de galeria ao longo dos canais de drenagem. No restante da área verifica-se predomínio de fitofisionomias de vegetação rasteira, especialmente nas porções central e noroeste, aparecendo em tons mais claros que a vegetação de grande porte, enquanto nos extremos nordeste e sudeste a atividade antrópica se mostra mais presente, com cultivos agrícolas substituindo a vegetação nativa, aparecendo em tons de verde em ambas as composições de falsa cor.

Ainda na composição 423, aliada à cor verdadeira 321, nota-se pouca presença de solo exposto, marcado em tons esbranquiçados na falsa cor e marrom-avermelhados na cor verdadeira. Sua ocorrência associa-se com maior significância às estradas de terra ao longo da área, além de pequenos domínios isolados. Isso significa que a maior parte da área se encontra recoberta por vegetação e áreas agrícolas, de forma que se espera a ocorrência de afloramentos de rochas expostas em maior quantidade ao longo das estradas de terra, dentro dos canais de drenagem, e também no morros mais elevados da porção sudeste, onde a composição 423 ressalta tons mais esverdeados em meio à vegetação ativa, de cores alaranjadas.

Ambas as composições das imagens CBERS 04A evidenciam pequenos corpos d'água isolados ao longo da área de estudo, possivelmente com grande parte sendo associados à atividade antrópica. Esses corpos são vistos na cor preta, devido a baixas reflectâncias em todas as quatro faixas espectrais utilizadas. Levando em conta a realização do trabalho de campo em período de maior estiagem no local, os níveis d'água estão mais baixos, podendo alguns destes reservatórios estarem completamente secos.

Já a análise de componentes principais da imagem CBERS 04A mostra que as bandas 1 e 3 (azul e vermelho) destacam bem as ocorrências de solo exposto. Levando em conta o extenso recobrimento vegetal da área, a maioria dos solos expostos ocorre em estradas de terra, sendo estes produtos úteis para sua demarcação. A PCA1 mostra também boa representação das características morfológicas do relevo. Já a banda do verde destaca as porções da vegetação

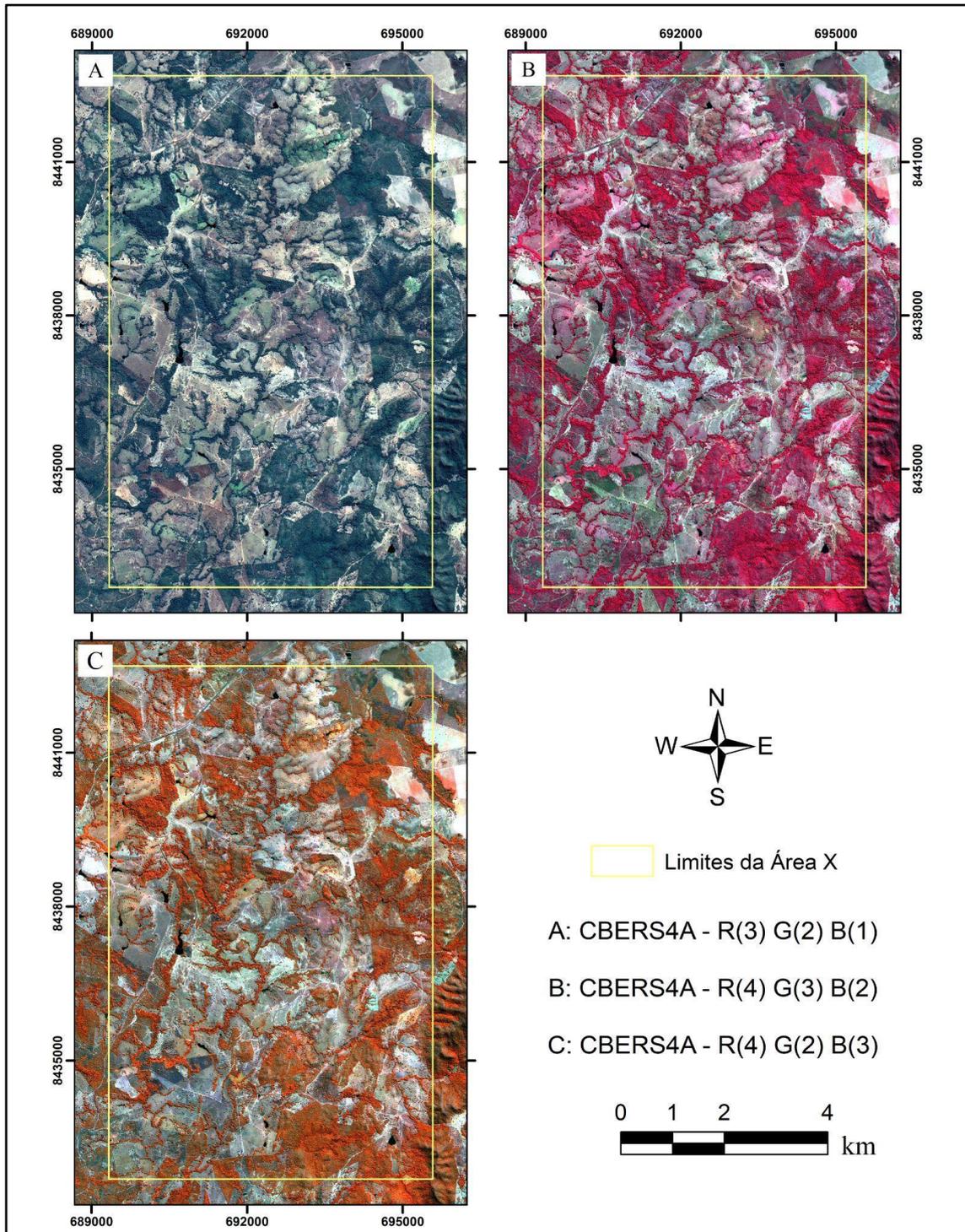
dominadas por mata de maior porte, além de ser útil para identificação das matas ciliares e de galeria que acompanham os canais de drenagem. A banda do infravermelho próximo apresenta baixo contraste, resultando em aspecto geral de interferência, porém ainda assim é útil para identificar os domínios de vegetação com baixa atividade fotossintética, os quais correspondem às prováveis áreas de pastagem, associadas à atividade antrópica.

A análise dos produtos Landsat 8, além de confirmar as interpretações realizadas por meio do CBERS 04A, permite a identificação de variações composicionais ao longo da área. Ao analisar os domínios de solo exposto e vegetação rasteira na área de estudo, verifica-se a presença de dois tipos diferentes de material parental que embasam a região. As composições 753, 564 e 457 (Figura 3.6) mostram tonalidades homogêneas na porção sudeste, em tons claros de rosa, verde e roxo, respectivamente, enquanto na parte norte-nordeste o material do solo mostra tons mais variados, chegando a colorações mais escuras. Dessa forma, é possível inferir a presença de, no mínimo, dois grandes domínios geológicos no contexto da Área X.

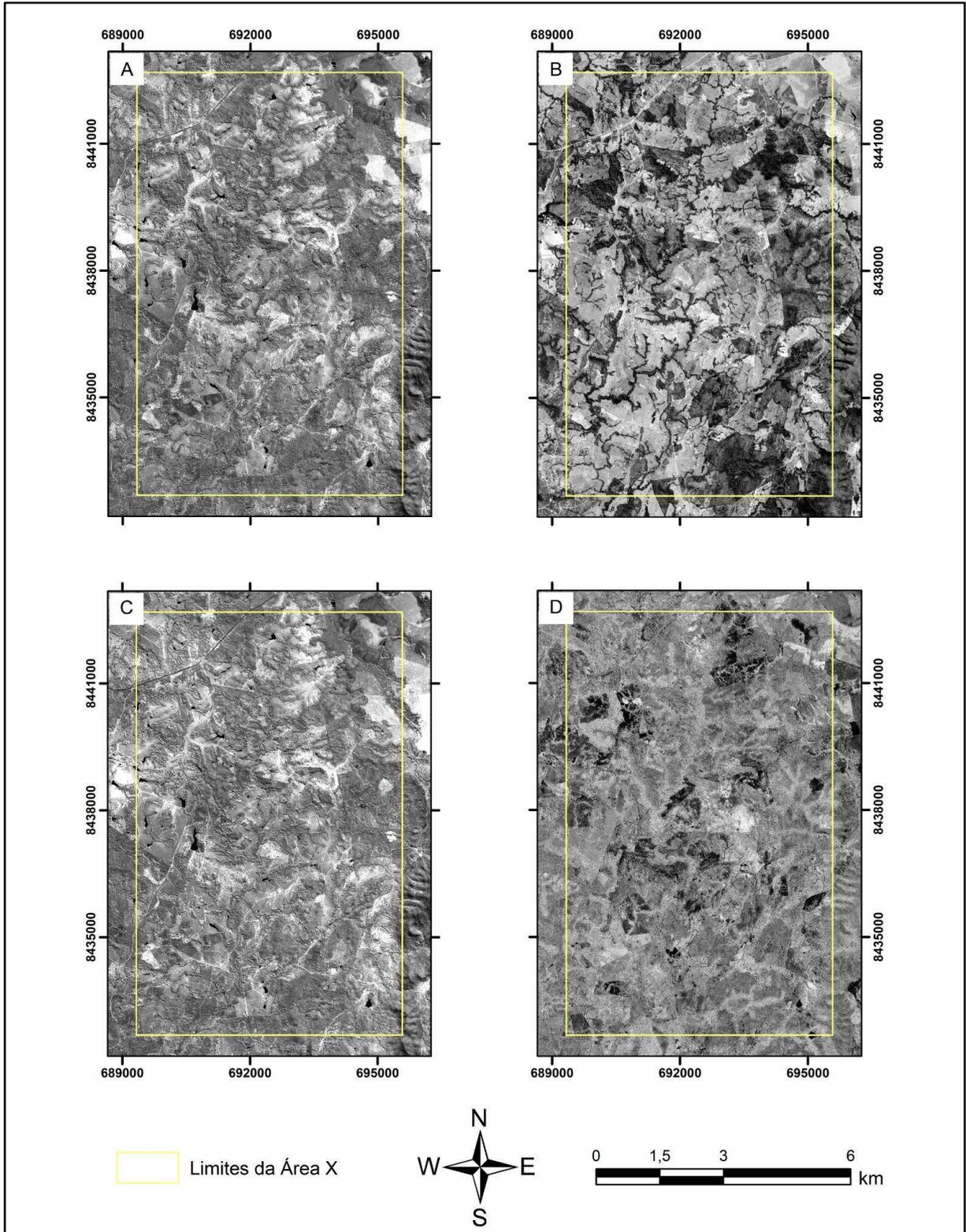
Por fim, a análise de componentes principais das bandas 2 a 7 da imagem Landsat 8 (Figura 3.7) mostra que a banda 2 (azul) representa bem as variações morfológicas do relevo, mesmo com as altas interferências atmosféricas atuantes nessa faixa do espectro. Já a banda 3 (verde) realça levemente os canais de drenagem, com respostas mais altas, porém com baixo contraste com o restante da área, devido à grande quantidade de vegetação presente, resultando em alta reflectância geral nesta banda. Já a banda 4 (vermelho) realça bem a rodovia pavimentada a noroeste, além de culturas agrícolas a nordeste, tendo o restante da área baixas reflectâncias no geral. As bandas 5 (infravermelho próximo) e 7 (SWIR 2) mostram altos níveis de interferência, porém sendo ainda destacados alguns domínios com altas respostas, no caso no NIR, e baixas para o SWIR 2. O SWIR 1 (banda 6) apresenta um contraste de intensidade média para os canais de drenagem, além de domínios com alta reflectância.

Os produtos e interpretações provenientes dos produtos remotos foram utilizados para a extração de feições vetoriais de interesse da área de estudo, incluindo lineações de relevo, lineações de drenagem, canais de drenagem, vias de acesso e edificações. A Figura 3.8 mostra os lineamentos extraídos para as áreas do projeto, em que as lineações de relevo mostram orientação preferencial NE-SW,

enquanto as lineações de drenagem possuem duas direções principais, aproximadamente ortogonais, sendo elas NE-SW e NW-SE. Por fim, o mapa base simplificado pode ser visto na Figura 3.9 e no Apêndice II, tendo como principal objetivo fornecer referencial logístico para as atividades desenvolvidas durante o trabalho de campo.



**Figura 3.4:** Composições coloridas da imagem CBERS 04A utilizada no Projeto Mara Rosa.



**Figura 3.5:** Análise de componentes principais da imagem CBERS 04A utilizada no Projeto Mara Rosa. (A) Banda 1. (B) Banda 2. (C) Banda 3. (D) Banda 4.

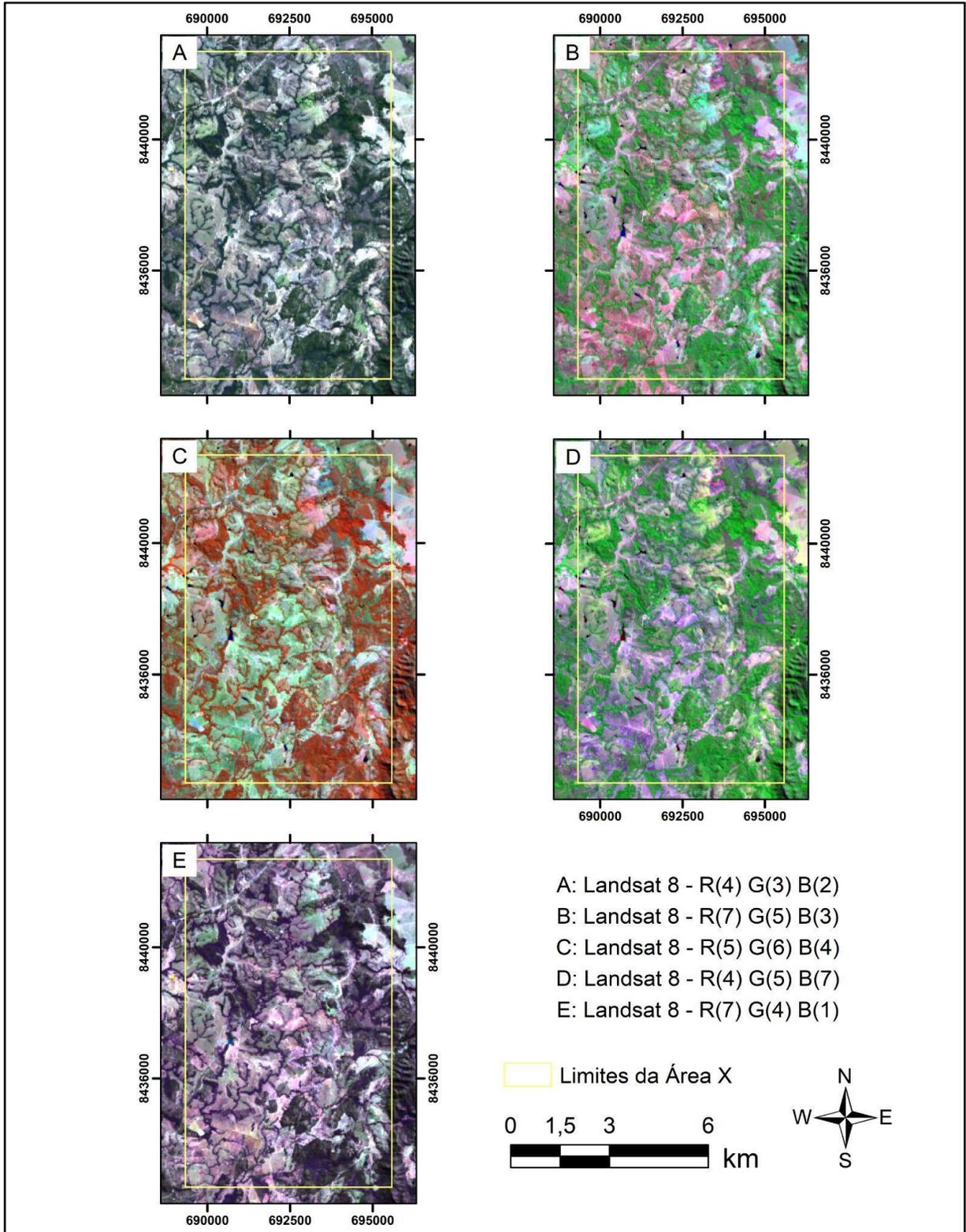
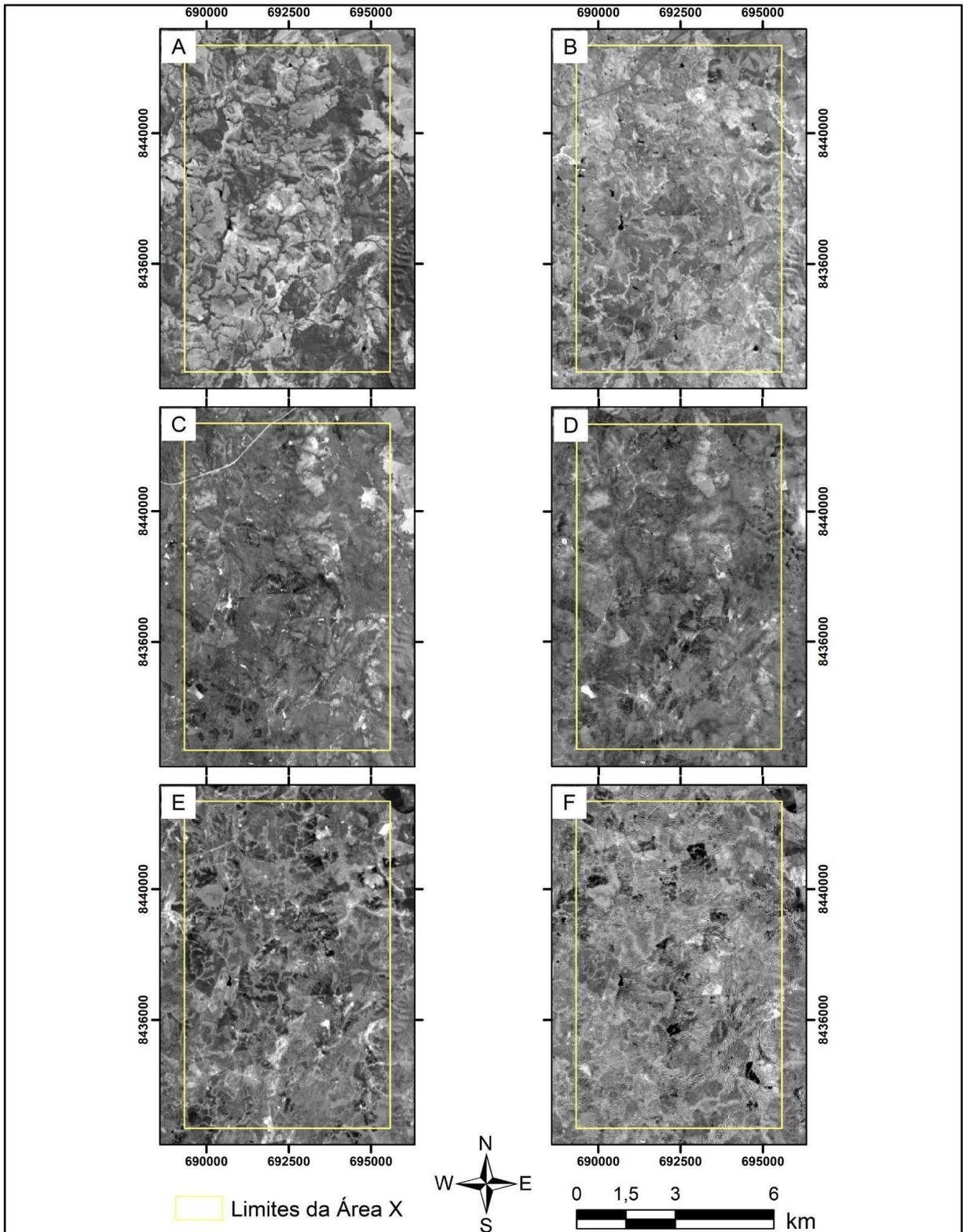
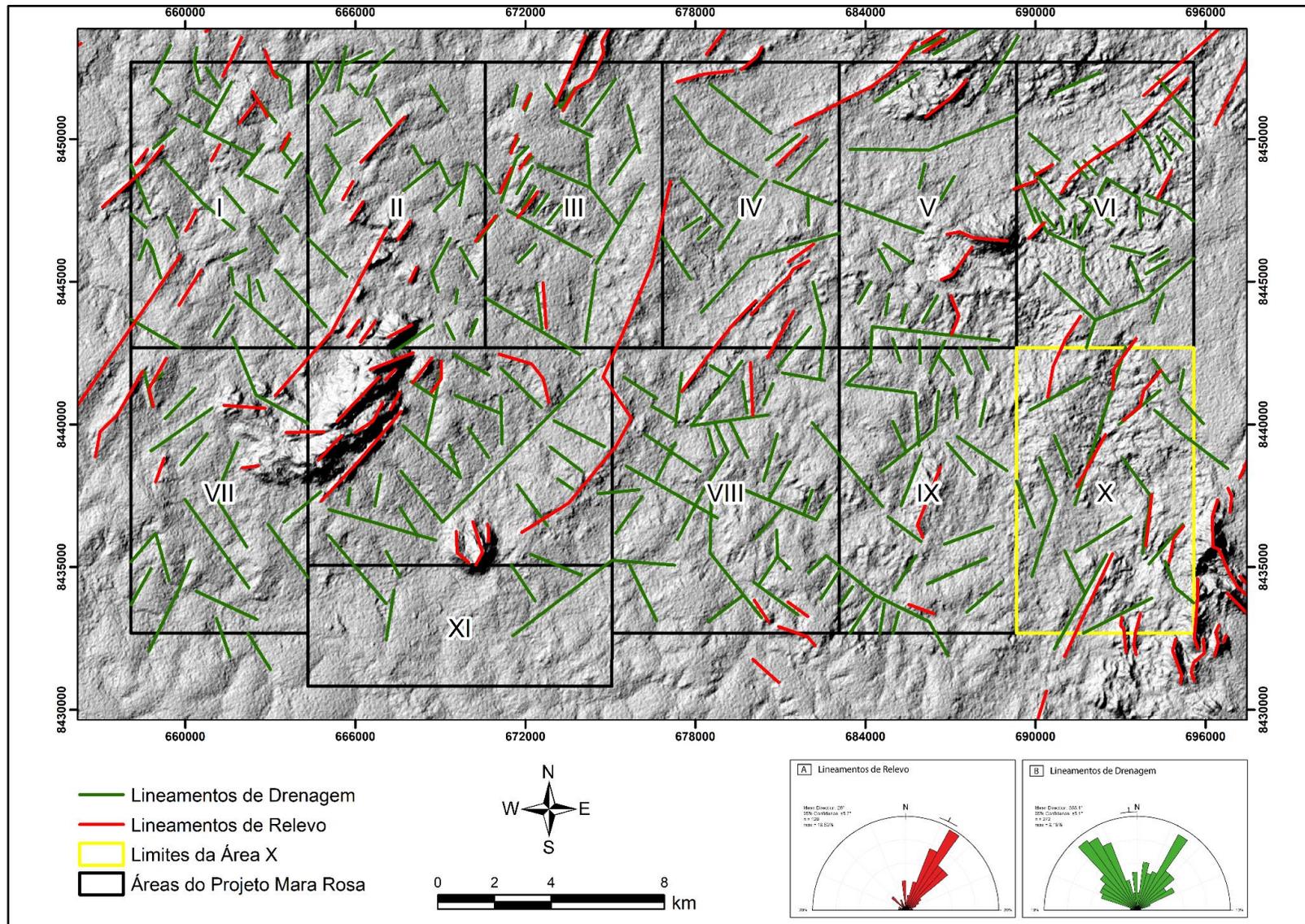


Figura 3.6: Composições coloridas da imagem Landsat 8 utilizada no Projeto Mara Rosa.



**Figura 3.7:** Análise de componentes principais da imagem Landsat 8 utilizada no Projeto Mara Rosa. (A) Banda 2. (B) Banda 3. (C) Banda 4. (D) Banda 5. (E) Banda 6. (F) Banda 7.



**Figura 3.8:** Lineamentos de drenagem e lineamentos de relevo das áreas do Projeto Mara Rosa, com suas orientações preferenciais destacadas em diagramas de roseta.

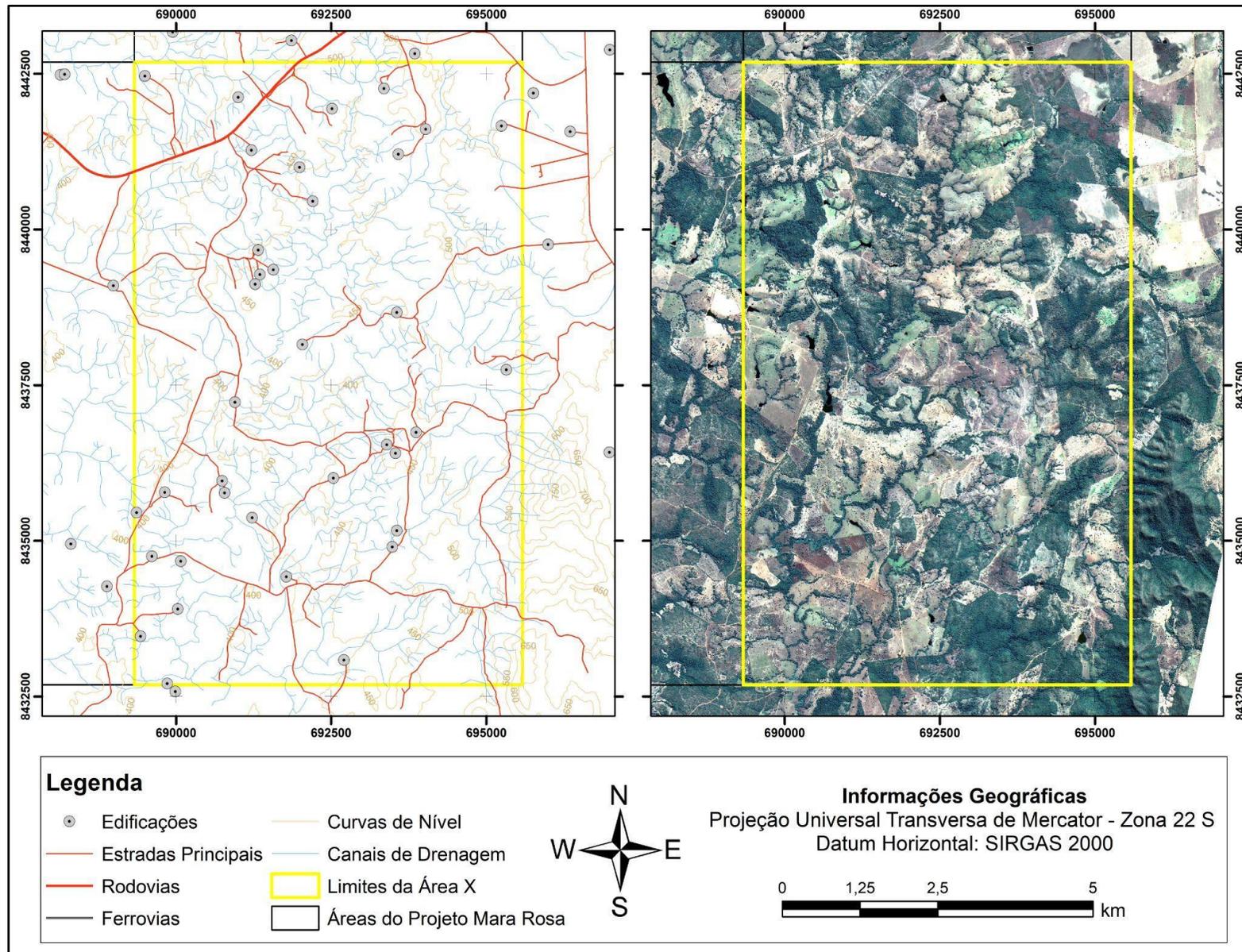
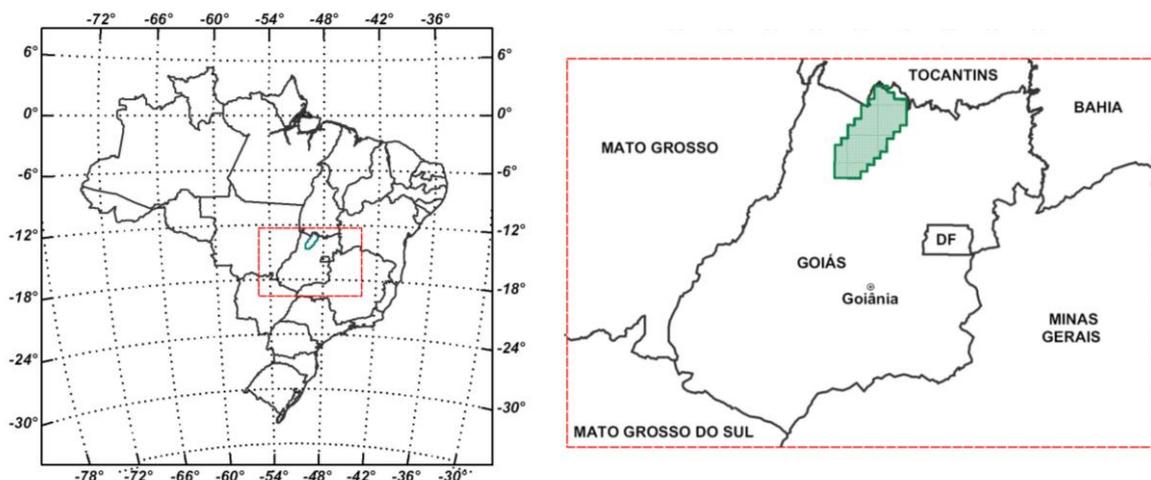


Figura 3.9: Mapa Base simplificado referente à Área X do Projeto Mara Rosa.

### 3.2. Geofísica

A utilização de dados geofísicos é recurso indispensável ao mapeamento geológico, especialmente em regiões tropicais, onde os processos intempéricos intensos e as espessas camadas de solo atuam como obstáculos para a ocorrência de afloramentos de rochas inalteradas, conforme descrito por Jaques *et al.* (1997). Em especial, os métodos potenciais aerotransportados se destacam por seu baixo custo relativo, alta resolução espacial e baixo impacto ambiental, gerando dados de qualidade para extensa área de estudo. Além do mapeamento geológico, esses dados podem ser aplicados em diversas áreas das geociências, incluindo prospecção mineral, hidrogeologia, geotecnia e outras.

Para o Projeto Mara Rosa, foram utilizados dados aerogeofísicos potenciais e radiométricos, adquiridos pelo Levantamento Aerogeofísico do Estado de Goiás - 1ª Etapa: Arco Magmático de Mara Rosa (2004). Esse levantamento foi executado pela LASA Engenharia e Prospecções, na região norte de Goiás (Figura 3.10), e consistiu na aquisição de dados gamaespectrométricos e magnetométricos para geração de produtos em escala 1:100.000 e 1:500.000. A Tabela 3.5 sintetiza as principais especificações do levantamento aerogeofísico realizado.



**Figura 3.10:** Localização do Levantamento Aerogeofísico do Estado de Goiás - 1ª Etapa: Arco Magmático de Mara Rosa, destacando a área recoberta. Fonte: adaptado de LASA (2004).

**Tabela 3.5:** Especificações do Levantamento Aerogeofísico do Estado de Goiás - 1ª Etapa: Arco Magmático de Mara Rosa. Informações obtidas em LASA (2004).

Levantamento Aerogeofísico do Estado de Goiás	
Área do levantamento	15.890 km <sup>2</sup>
Espaçamento das linhas de voo	0,5 km
Espaçamento das linhas de controle	5,0 km
Orientação das linhas de voo	N-S
Orientação das linhas de controle	E-W
Altura de voo	100 m
Velocidade de voo (Aeronave PR-FAS)	260 km/h
Velocidade de voo (Aeronave PT-WQT)	302 km/h
Intervalo entre as medições (magnetômetro)	0,1 s
Intervalo entre as medições (espectrômetro)	1,0 s

Os dados obtidos foram então processados por meio do software Oasis Montaj 2021.2.1, visando refinar os dados brutos e gerar produtos interpolados de alta qualidade, utilizados para as interpretações geológicas-geofísicas acerca da região de estudo. Tal processamento foi realizado no ambiente de informática do IG/UnB, com uso da licença institucional disponibilizada.

Para a interpolação dos dados, tanto gamaespectrométricos quanto magnetométricos, foram utilizadas células em malha quadrada de 125 m x 125 m, tendo espaçamento correspondente a  $\frac{1}{4}$  do espaçamento das linhas de voo do levantamento aerogeofísico. Para o método gamaespectrométrico, foi empregada interpolação do tipo curvatura mínima (*Rangrid*), enquanto para a magnetometria utilizou-se a interpolação *spline* bidirecional (*Bigrid*). As principais características de cada método utilizado neste estudo, juntamente com os produtos deles decorrentes, serão descritas a seguir:

### 3.2.1. Gamaespectrometria

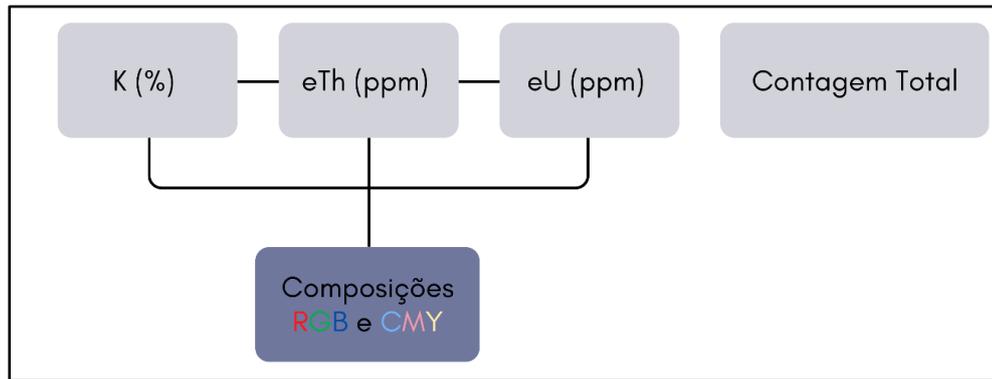
A gamaespectrometria é baseada na detecção de radiação gama, advinda do decaimento natural de elementos radioativos. Dentre os diversos isótopos radioativos encontrados na natureza, a maioria é pouco abundante ou apresenta emissão de radiação gama muito fraca. Dessa forma, as medições gamaespectrométricas são concentradas nos elementos <sup>40</sup>K, <sup>232</sup>Th e <sup>238</sup>U, os quais podem ser encontrados, mesmo que em pequenas quantidades, na grande maioria das rochas.

Segundo Ferreira *et al.* (2016), o potássio (K) é um elemento abundante na crosta terrestre, representando cerca de 2,32% de sua composição. Suas maiores

concentrações se associam a rochas ígneas félsicas, rochas sedimentares pelíticas, rochas metapelíticas e quartzo-feldspáticas, especialmente nas estruturas de minerais micáceos, feldspatos alcalinos e argilominerais. Além disso, o K possui mobilidade, sendo facilmente lixiviado da estrutura dos minerais primários e adsorvido por argilominerais de alteração. Desta forma, torna-se um bom indicador para identificação de canais de drenagem e para entendimento das condições intempéricas e hidrotermais da região de estudo. Já os elementos urânio (U) e tório (Th) compõem a estrutura de minerais como monazita, alanita, apatita, zircão, xenotima, uraninita, torianita e torita, sendo associados a quase todos os tipos de rochas, embora em pequenas quantidades, representando cerca de 10,5 ppm (Th) e 2,7 ppm (U) da crosta terrestre.

Devido à ocorrência em grandes quantidades, K é tratado geoquimicamente como elemento maior, sendo suas representações feitas convencionalmente na forma de porcentagem (%), ao contrário de U e Th, que são representados em partes por milhão (ppm). A maior parte da radiação emitida por estes elementos é proveniente dos primeiros 30 a 40 centímetros de profundidade da superfície terrestre, de forma que as análises gamaespectrométricas são apenas superficiais. Isso as torna aplicáveis para análises composicionais de rochas expostas em locais onde os processos pedogenéticos são pouco intensos, enquanto em regiões tropicais, o método se torna útil para o estudo das camadas de solo e, de forma indireta, das rochas que os originaram. Com base nessas características, a gamaespectrometria pode ser utilizada para identificação e caracterização da área de estudo em diversos aspectos, como rochas, química, hidrografia, alterações hidrotermais e processos erosivos.

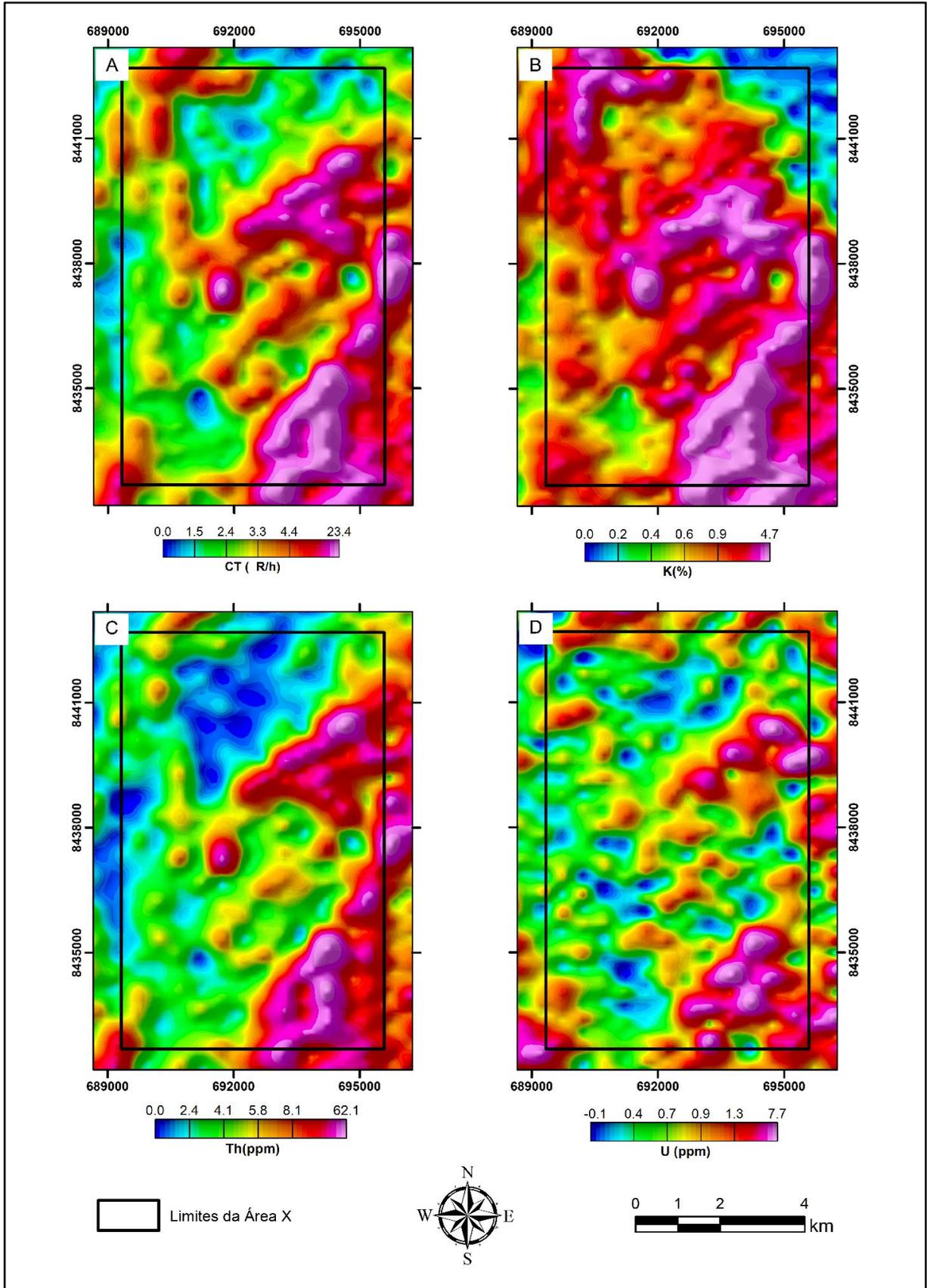
O fluxograma de geração dos produtos gamaespectrométricos se encontra detalhado na Figura 3.11. Inicialmente, produziu-se o mapa de contagem total, juntamente com os canais individuais de K, eTh e eU. Com base nos canais individuais, foram geradas as composições ternárias em escalas de cores RGB e CMY.



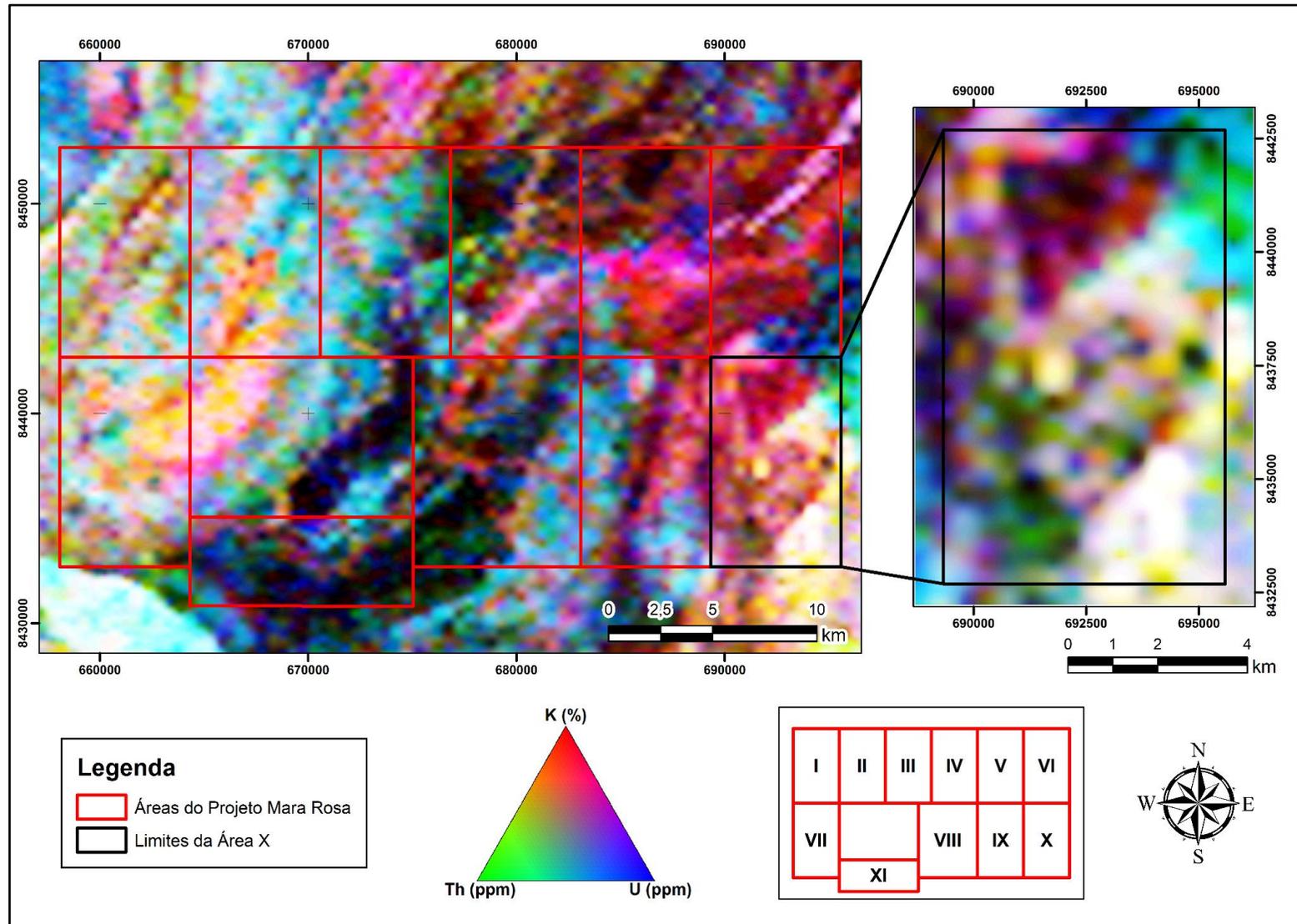
**Figura 3.11:** Fluxograma relacionando os produtos gamaespectrométricos utilizados no Projeto Mara Rosa.

A contagem total indica a resposta total de radiação gama emitida pelos três elementos, enquanto os canais individuais discretizam, por meio dos diferentes comprimentos de onda, as emissões advindas de cada um dos radioelementos, resultando em produtos de emissão de K(%), eTh(%) e eU(%). Esses produtos podem ser aplicados para caracterização composicional e litológica da área de estudo, bem como correlacionar as informações com os elementos topográficos e hidrográficos.

Já as composições ternárias são elaboradas por meio da junção dos canais individuais, com atribuição de cores para cada radioelemento. No caso da composição RGB, o vermelho representa o elemento K, enquanto o verde corresponde ao eTh e azul ao eU. Para a composição CMY, o ciano representa K, magenta eTh e amarelo eU. Essas composições tornam mais visuais as variações composicionais e contatos entre diferentes unidades, sendo ideais para a delimitação de zonas homólogas. As Figuras 3.12 e 3.13 a seguir mostram os principais produtos resultantes do processamento dos dados gamaespectrométricos para as áreas de estudo do Projeto Mara Rosa, especialmente para a Área X.



**Figura 3.12:** Produtos gamaespectrométricos primários, referentes à Área X do Projeto Mara Rosa. (A) Contagem Total. (B) Potássio. (C) Equivalente de Tório. (D) Equivalente de Urânio.



**Figura 3.13:** Composição colorida dos canais de K, eTh e eU, referente às áreas do Projeto Mara Rosa. À direita, destaque para a Área X, com maior realce da escala de cores.

### 3.2.2. Magnetometria

A magnetometria se baseia na identificação de variações de intensidade do campo magnético da Terra, resultantes das variações de susceptibilidade magnética existentes entre os diferentes tipos de solos e rochas presentes em subsuperfície. Com base nesse princípio, torna-se possível aplicar a magnetização induzida ao terreno e, em seguida, medir as variações resultantes e relacioná-las com os materiais que as causam (Kearey *et al.*, 2009).

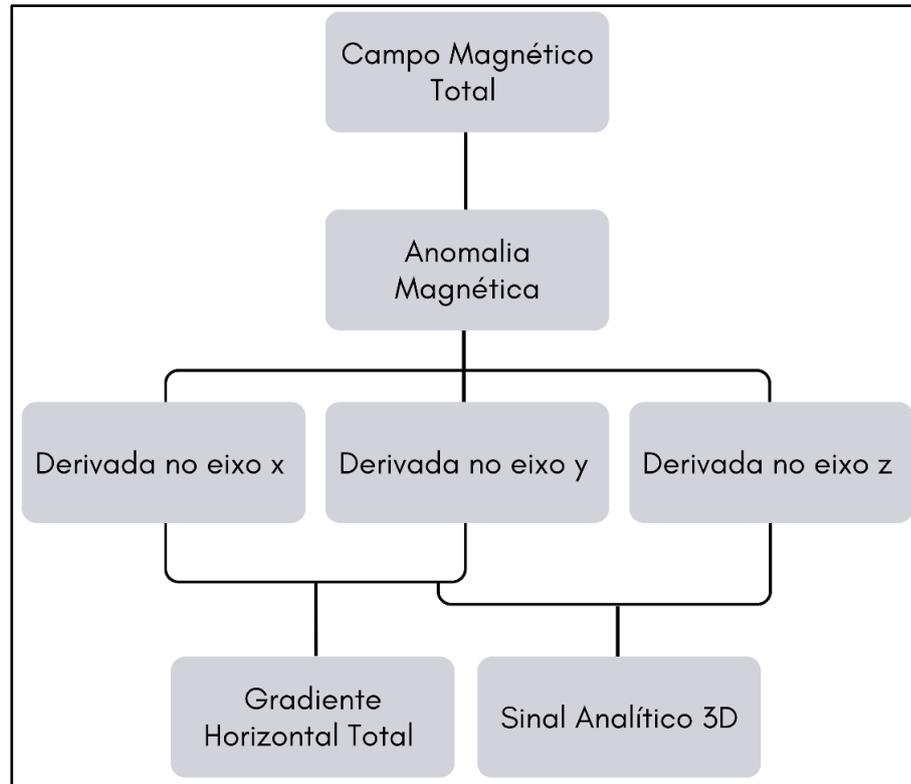
Em especial, essas variações estão associadas com a presença e concentração de minerais ferromagnéticos em solos e rochas, como magnetita, pirrotita e ilmenita (Rosa *et al.*, 2009). O estudo das anomalias magnéticas causadas por estes e outros minerais pode ser aplicado ao mapeamento geológico, especialmente na identificação de feições estruturais, já que os minerais magnéticos tendem a se concentrar em superfícies rúpteis (Gunn *et al.*, 1997). Demais aplicações incluem a prospecção mineral e caracterização de depósitos metálicos, em que as concentrações de minerais magnéticos chegam a níveis extremamente elevados, entre outras áreas das geociências.

A Figura 3.14 relaciona os produtos magnetométricos utilizados no Projeto Mara Rosa. Partindo do campo magnético total, foi gerado o modelo do campo magnético anômalo, também chamado de anomalia magnética. A partir deste, são extraídas as derivadas em três dimensões (eixos X, Y e Z), podendo ser combinadas para a geração do gradiente horizontal total, usando as derivadas X e Y, além do sinal analítico 3D, usando as três dimensões.

A anomalia magnética representa as variações totais, tanto positivas quanto negativas, causadas ao campo magnético terrestre por conta da presença de minerais magnéticos. Para maior realce dos dados, é usual a discretização dessas anomalias nas três dimensões de forma individualizada, gerando as derivadas nos eixos X, Y e Z. Isso possibilita a visualização de estruturas menores e/ou mais rasas de forma mais nítida.

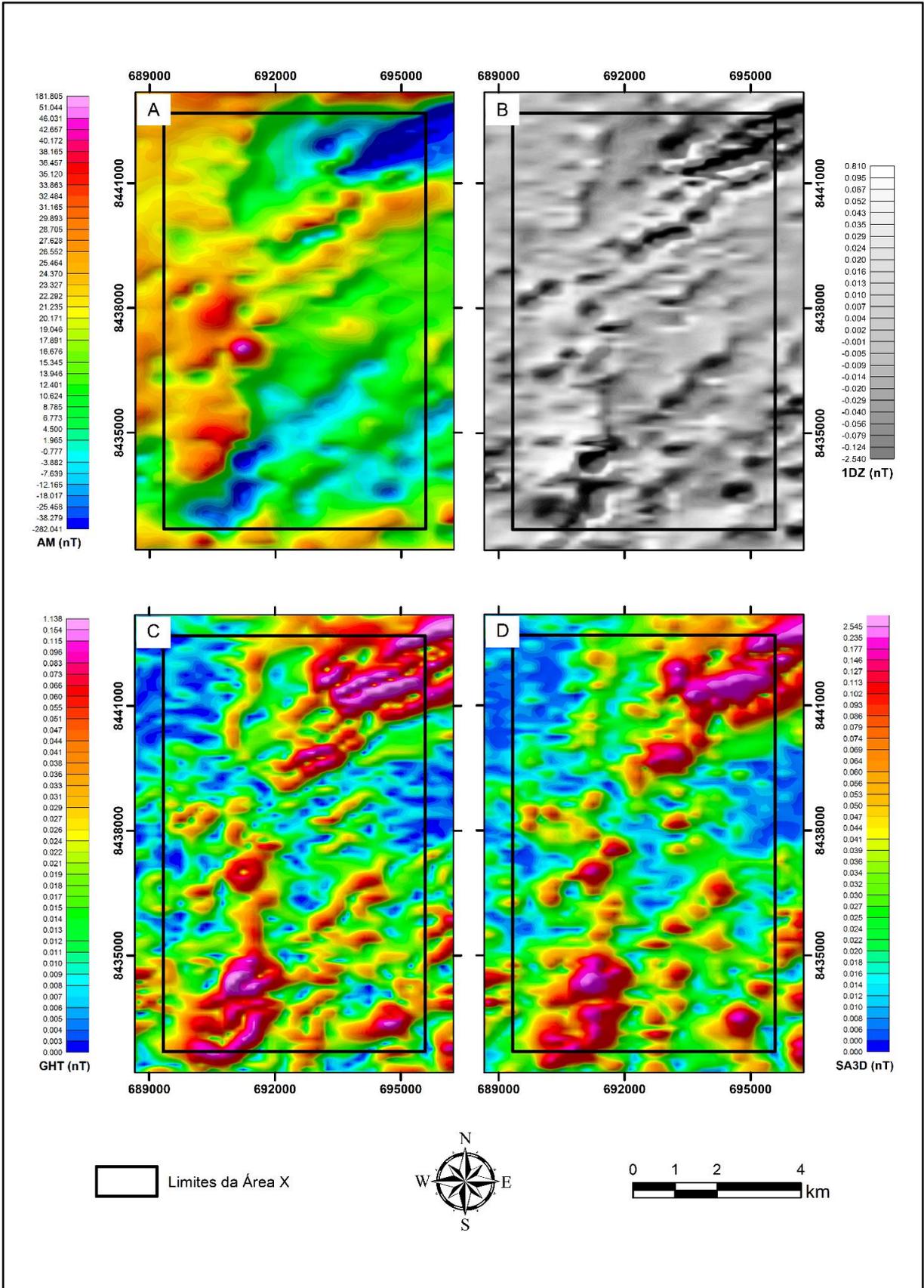
As derivadas horizontais, correspondentes ao eixos X e Y, são produtos fundamentados nas variações do campo magnético anômalo, conforme o sensor se desloca em relação à fonte da anomalia, permitindo estabelecer relações da resposta medida com variações laterais no meio, sendo úteis para delimitação de contatos entre as diferentes unidades geológicas. Já a derivada vertical (eixo Z) representa a variação do campo magnético anômalo em relação à distância entre a fonte e o

sensor, de forma ortogonal. Assim, é possível eliminar os efeitos de interferência causados por anomalias vizinhas próximas, sendo este produto importante para a demarcação de estruturas e lineamentos na região de estudo.



**Figura 3.14:** Fluxograma relacionando os produtos magnetométricos utilizados no Projeto Mara Rosa.

Com relação ao gradiente horizontal total, gerado a partir da integração das derivadas nos eixos X e Y, obtém-se um produto que indica as variações lateral no campo magnético em sua totalidade, permitindo identificar com maior precisão as bordas e geometria das diferentes fontes magnéticas na região. Por fim, o sinal analítico 3D é gerado por intermédio da soma vetorial entre as derivadas em três dimensões (X, Y e Z), sendo um dos principais guias para a identificação de contatos entre corpos rasos. A Figura 3.15 apresenta os principais produtos resultantes do processamento dos dados magnetométricos para as áreas de estudo do Projeto Mara Rosa.



**Figura 3.15:** Produtos magnetométricos aplicados, referentes à Área X do Projeto Mara Rosa. (A) Anomalia Magnética. (B) Primeira Derivada Vertical. (C) Gradiente Horizontal Total. (D) Sinal Analítico 3D.

### 3.2.3. Produtos e Interpretações

Por meio da análise e integração dos produtos geofísicos apresentados, foi possível gerar mapas interpretados da região de estudo, com os quais foram realizadas correlações geológicas-geofísicas e associações com o contexto regional do Arco Magmático Mara Rosa.

Com base nos dados gamaespectrométricos, especialmente a composição colorida RGB, foram delimitados os domínios com concentrações semelhantes de K, eTh e eU, ou seja, foram demarcadas as regiões com as mesmas assinaturas radioativas, conforme mostrado na Figura 3.16. A Tabela 3.6 detalha as principais características dos domínios gamaespectrométricos, incluindo sua descrição, interpretação litológica e associação geotectônica, além da qualificação de abundância dos elementos, feito por meio de análise histogrâmica e divisão em classes de forma quantitativa.

A análise desses produtos permite inferir a presença da Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha nas porções a oeste, sendo representada pelas cores mais claras. Localmente, o domínio correspondente ao Granito Faina pode ser visto dentro dessa sequência. Na porção central a Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa aparece em tonalidades escuras. A variação entre as Sequências Metavulcanossedimentares Santa Terezinha e Mara Rosa marca também a transição do contexto de arco continental para arco de ilhas. Na porção leste, onde está inserida a Área X, predomina embasamento paleoproterozoico, representado pela Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte, além do Grupo Serra da Mesa, evidenciado em cores claras. Domínios com orientação E-W vistos entre as unidades descritas, especialmente na porção centro-leste, marcados por tons claros avermelhados, representam a Zona de Cisalhamento Serra de Bom Jesus.

Desta forma, nota-se que o contexto geológico da Área X é dominado pelas rochas metamórficas/hidrotermais dos domínios 19, 20 e 21, juntamente com o embasamento paleoproterozoico dos domínios 22 e 23, a leste. Uma pequena porção do domínio 24 se destaca ao norte, sendo associado a uma provável ocorrência de rocha ígnea intrusiva.

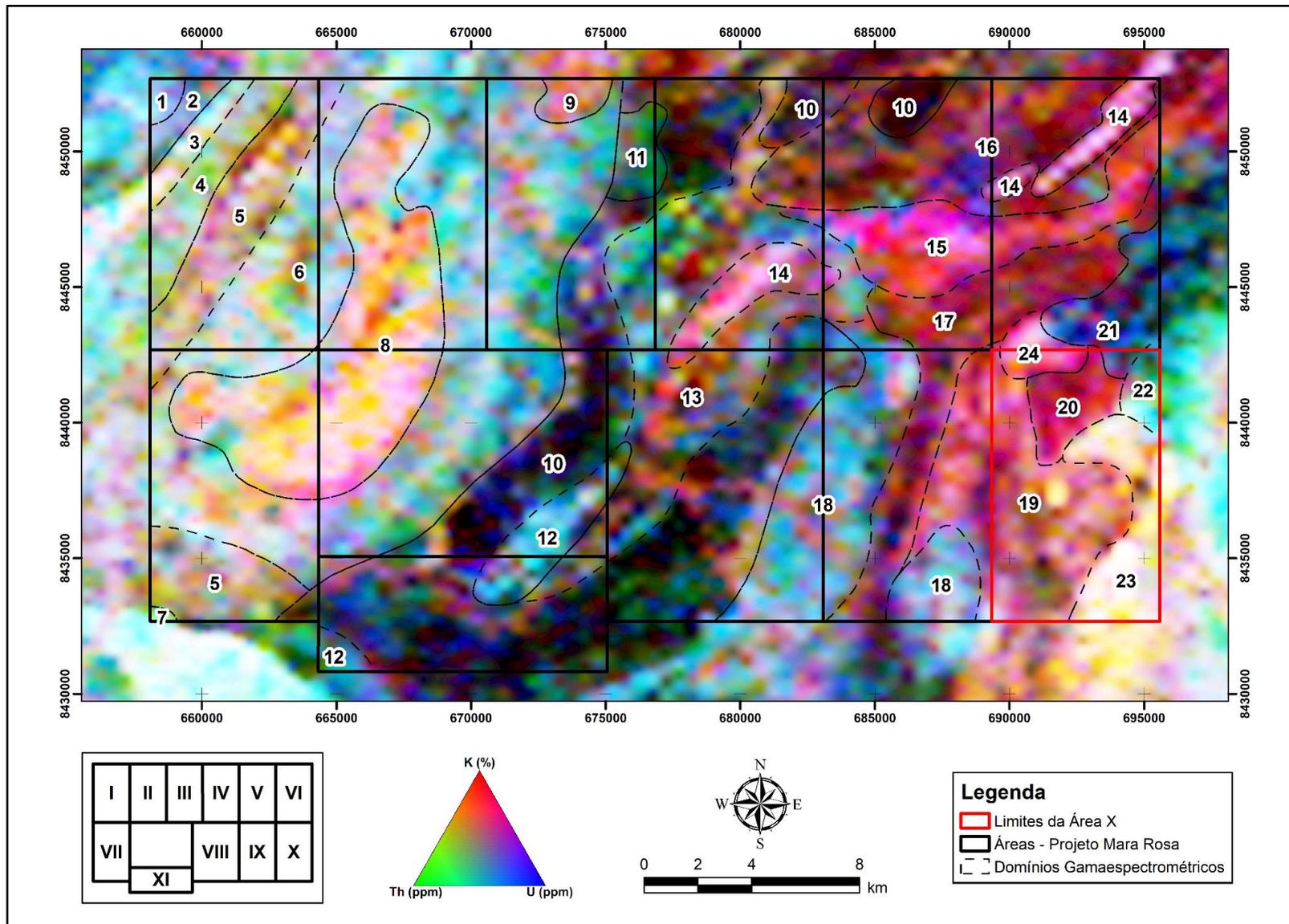


Figura 3.16: Mapa de domínios gamaespectrométricos referente às áreas do Projeto Mara Rosa.

**Tabela 3.6:** Descrição dos domínios gamaespectrométricos do Projeto Mara Rosa. Detalhe dos afloramentos conhecidos disponível em: geosgb.cprm.gov.br.

Domínio	K	eTh	eU	Descrição (cor e tonalidade - RGB, geometria, homogeneidade)	Litologias/Afloramentos (CPRM)
1	Médio	Alto	Alto	Ciano claro azulado, alongado, homogêneo.	Cobertura detrito-laterítica.
2	Médio	Médio/Alto	Alto	Azul claro, alongado (NE-SW), homogêneo.	Cobertura detrito-laterítica.
3	Alto	Alto	Alto	Branco, alongado (NE-SW), heterogêneo.	Muscovita-quartzo xisto.
4	Médio/Alto	Alto	Médio/Alto	Verde azulado, alongado (NE-SW), heterogêneo.	Biotita-muscovita augengnaisse.
5	Alto	Médio/Alto	Médio/Alto	Rosa amarelado, alongado (NE-SW), homogêneo.	Clorita xisto quartzo xisto e rochas ultramáficas.
6	Médio/Alto	Alto	Alto/Médio	Ciano claro, alongado (NE-SW), heterogênea.	Xistos aluminosos, metagrauvaca e metatufo.
7	Médio	Alto	Médio	Verde azulado, alongado, homogêneo.	Cobertura detrito-laterítica.
8	Alto	Alto/Médio	Baixo/Alto	Rosa amarelado, irregular/arredondado, heterogêneo.	Granitoides, xistos e quartzitos.
9	Alto	Médio	Baixo/Alto	Rosa alaranjado, arredondado, homogêneo.	Granada-biotita-quartzo xisto.
10	Baixo	Baixo	Baixo	Azul escuro, anastomosado/alongado (NE-SW), homogêneo.	Rochas calcissilicáticas, metamáficas, hornblenditos e gonditos.
11	Baixo/Médio	Médio	Médio	Verde escuro/azulado, irregular, homogêneo.	Anfibolitos.
12	Baixo/Médio	Alto	Alto	Ciano, irregular/alongado (NE-SW), homogêneo.	Ortognaisses
13	Baixo/Alto	Médio/Alto	Baixo/Alto	Ciano esverdeado/amarelado, irregular/alongado (NE-SW), heterogêneo.	Ortognaisses, anfibolitos, xistos, quartzito e turmalinito.
14	Alto	Médio/Alto	Alto	Branco rosado, seções alongadas (NE-SW), homogêneo.	Cianititos.
15	Alto	Médio	Médio/Alto	Vermelho rosado, irregular/alongado (E-W), heterogêneo	Granito milonítico, cianitito, anfibolito.
16	Médio	Baixo	Baixo	Magenta escuro, irregular-arredondado, heterogêneo.	Gnaisses, anfibolito, xistos.
17	Médio	Baixo	Baixo	Vermelho escuro/violeta, irregular/alongado (ENE-WSW), homogêneo.	Gnaisses, anfibolito, xistos.
18	Médio	Médio/Alto	Alto	Ciano claro, arredondado/alongado (NE-SW), homogêneo.	Ortognaisses
19	Médio/Alto	Médio	Médio	Rosa amarelado, irregular, heterogêneo.	Rochas metassedimentares.
20	Médio/Alto	Baixo	Baixo/Médio	Vermelho rosado, irregular, homogêneo.	Rochas metassedimentares.
21	Baixo	Baixo/Médio	Médio/Alto	Azul escuro, irregular, heterogêneo.	Rochas metassedimentares.
22	Baixo/Médio	Médio/Alto	Médio	Ciano esverdeado; arredondado; heterogêneo.	Rochas metassedimentares/metabásicas.
23	Alto	Alto	Alto/Médio	Branco amarelado, irregular, heterogêneo.	Quartzito.
24	Alto	Médio	Alto	Rosa claro, arredondado, homogêneo.	Granitoide.

Já os dados magnetométricos foram aplicados com enfoque na identificação e demarcação de feições estruturais na região. A Figura 3.17 mostra os lineamentos magnéticos da região de estudo, extraídos a partir da primeira derivada vertical (DZ). Com base na análise dos lineamentos magnéticos demarcados, juntamente com os demais produtos magnetométricos gerados (Figura 3.15), foi possível descrever as principais características magnéticas da Área X.

A principal feição presente na Área X é uma grande estrutura de direção variada, a qual apresenta curvatura de N-S para NE-SW, conforme se aproxima da porção norte da área. Essa estrutura é marcada por seu alto gradiente magnético e maior densidade de lineamentos, que tendem a ser concordantes com sua orientação. Possivelmente, trata-se da Falha Rio dos Bois, marcando o contato tectônico entre as sequências metavulcanossedimentares Mara Rosa e Campinorte. Ainda dentro das feições marcantes da área, verifica-se a presença de extenso lineamento N-S, cortando a extensa zona de cisalhamento descrita. Já as porções leste e noroeste da área apresentam baixo gradiente magnético nos produtos de forma geral, tendo baixa densidade de lineamentos, ambos com direção preferencial NE-SW. Por fim, a parte sul da área de estudo é marcada por gradiente magnético intermediário e lineamento em duas direções (N-S e NE-SW).

Em suma, os produtos mostram grande presença de lineamentos NE-SW ao longo de toda a região, refletindo a forte influência do Lineamento Transbrasiliano. É possível notar a inflexão regional que separa a porção do arco continental, a oeste, do arco de ilhas, a leste, marcada pela grande zona de cisalhamento, e evidenciada pelos lineamentos E-W, presentes especialmente nas porções centrais das áreas. Outros lineamentos, de menor magnitude e direções mais variadas, disseminados ao longo das áreas, associam-se, provavelmente, às zonas de cisalhamento presentes na região. Com base nas discussões levantadas nesta seção, foi possível relacionar as interpretações geofísicas com as unidades geológicas já mapeadas na região, no âmbito de estudos anteriores. A Figura 3.18 ilustra essa relação na forma de mapa geológico-geofísico preliminar para as áreas do Projeto Mara Rosa.

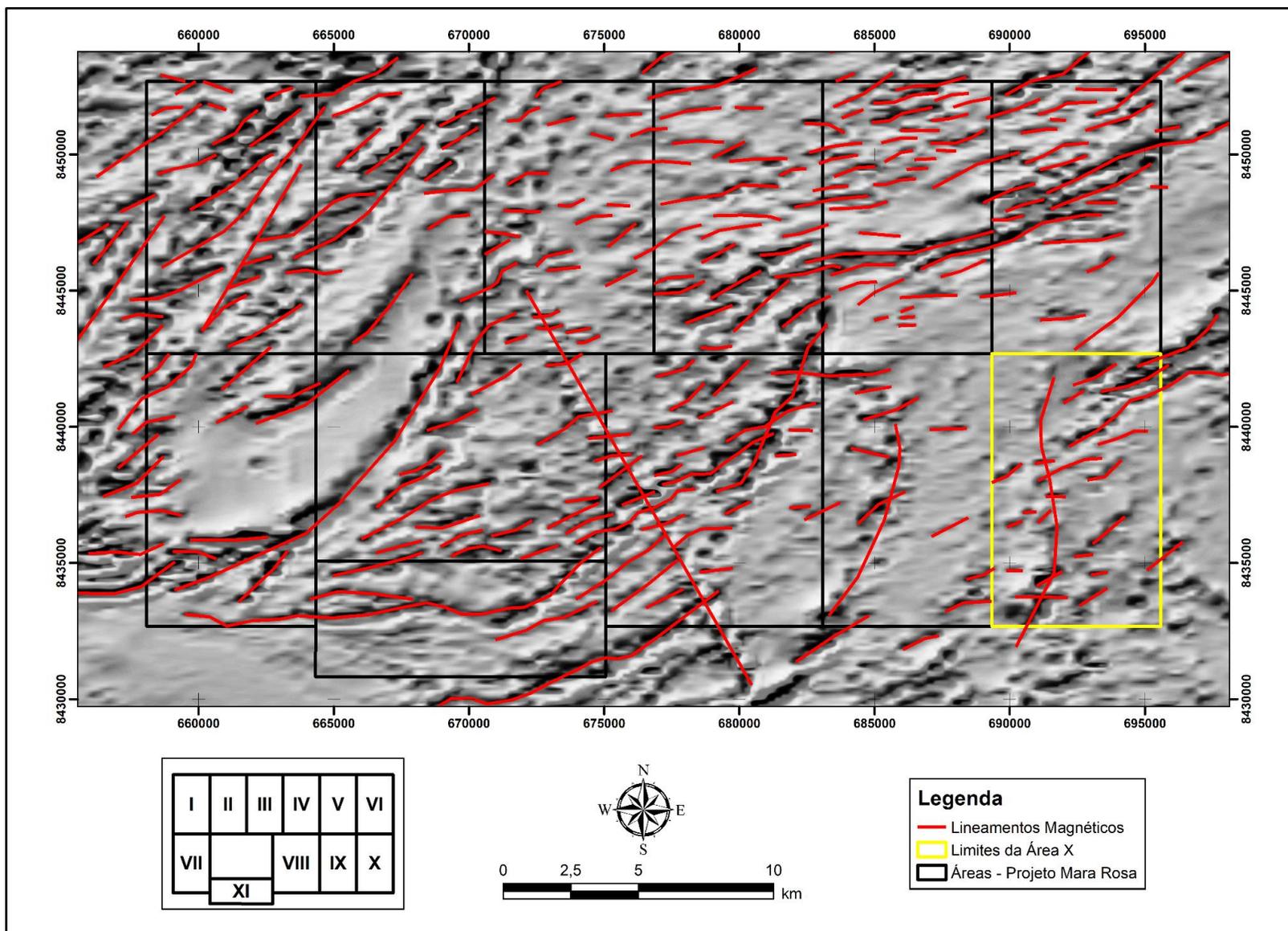


Figura 3.17: Mapa de lineamentos magnéticos referente às áreas do Projeto Mara Rosa.

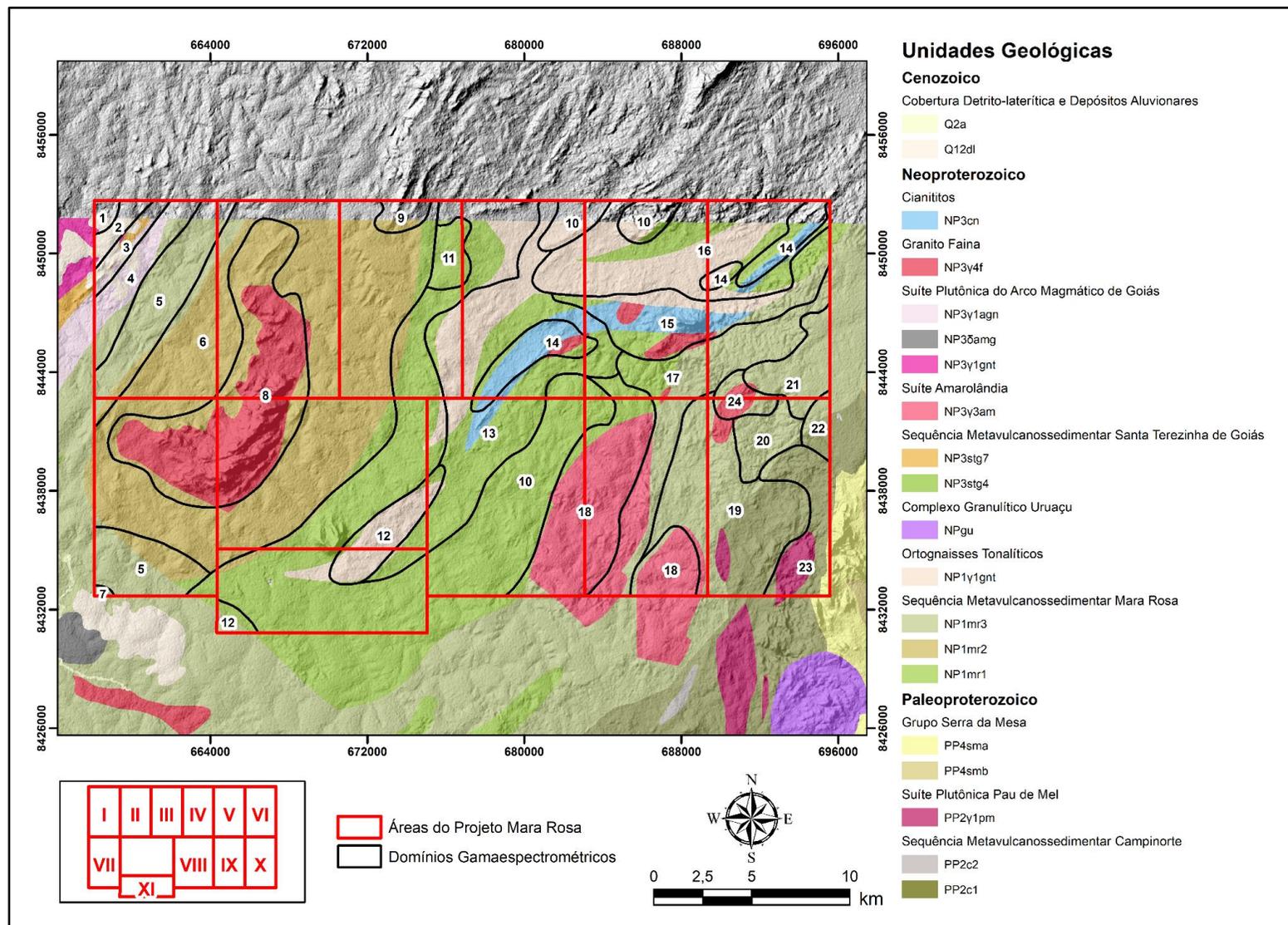


Figura 3.18: Mapa geológico-geofísico preliminar do Projeto Mara Rosa, relacionando as interpretações gamaespectrométricas com o mapeamento geológico em escala 1:100.000 apresentado pela CPRM (2007).

#### 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). Na área mapeada, composta por 11 subáreas, afloram unidades litoestratigráficas pertencentes ao Arco Magmático Campinorte, representativo do embasamento paleoproterozoico (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, com altos em eTh e K ao longo de sua extensão, e locais com alto em todos os radioelementos, associados às rochas intrusivas pré-tectônicas, além de um domínio a leste com baixa resposta dos elementos, 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.

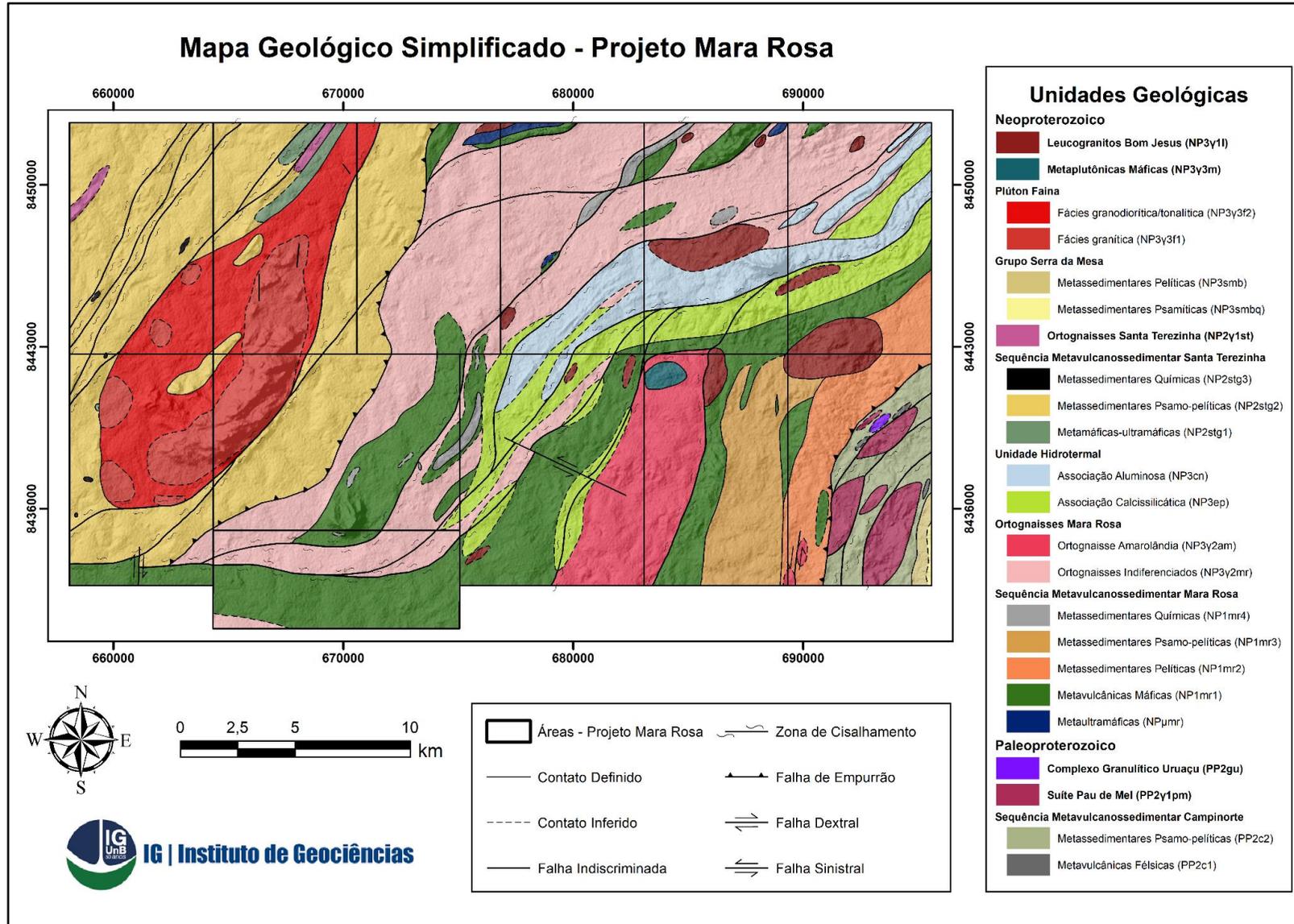


Figura 4.1: Mapa Geológico Integrado do Projeto Mara Rosa (versão simplificada). A versão completa encontra-se no Apêndice III.

## 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 $\mu$ mr), metavulcânica máfica (NP1mr1), metassedimentar pelítica e psamo-pelítica (NP1mr2 e NP1mr3) e metassedimentar química (NP1mr4), as quais são contornadas por um conjunto volumoso de ortognaisses dioríticos a tonalíticos indiferenciados (NP3 $\gamma$ 2mr) e do ortognaisse diorítico Amarolândia (NP3 $\gamma$ 2am) (Melo, 2006). Nesse contexto são descritos também produtos de alteração hidrotermal das rochas do Arco Magmático Mara Rosa, 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 $\gamma$ 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 contornada 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 respostas moderadas de eTh e eU, com locais de baixa resposta em todos os elementos. Localmente, apresenta altas respostas de eU e K, especialmente ao norte, onde a alteração hidrotermal é mais intensa, indicando a grande variedade litológica dessa unidade.

A sequência apresenta rochas metavulcânicas e metassedimentares psamo-pelíticas, representadas por anfibolitos, paragnaisses e xistos. Subordinadamente, ocorrem rochas metassedimentares químicas, como gonditos, metacherts e formações ferríferas. Essas rochas encontram-se metamorizados 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, metamorizada em fácies xisto verde a anfibolito. Essas 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. A unidade é limitada, no Projeto Mara Rosa, pela zona de falha transpressional Amaralina a leste, de orientação NNE-SSW, estendendo-se 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.

A 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 desse domínio apresenta tonalidade predominantemente azulada na composição RGB (K, eTh e eU), indicando alto eU, onde afloram as rochas metassedimentares, com 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, alto em todos os radioelementos, e roxo, com eU alto e K subordinado.

Abrange rochas máfico-ultramáficas e rochas metassedimentares, incluindo xisto aluminosos e paragneisses, com lentes de goudites 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, sendo interpretada como um *roof pendant*, resultante da ascensão e erosão do corpo intrusivo.

#### 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 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 dessa unidade ocorrem em áreas planas, tipicamente de superfície regional de aplainamento. Sua assinatura gamaespectrométrica apresenta tonalidades predominantemente rosadas (K e eU) para os Ortognaisses Indiferenciados, enquanto Amarolândia possui resposta em tonalidade azul bem definida (eU). 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. Essas 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. Essas 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. Nesses corredores deformacionais ocorre grande diversidade de rochas intensamente deformadas e alteradas hidrotermalmente, em que 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 a 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 para a associação aluminosa, com alto em ambos os elementos, e tonalidades levemente rosadas (K e eU) na porção central dos corpos, caracterizando a associação de rochas calcissilicáticas.

Essa 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 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. Esses altos topográficos associam-se especialmente aos quartzitos, contrastantes com a superfície de aplainamento adjacente. Já sua assinatura gamaespectrométrica apresenta altos de eU e, localmente, K e eTh. A 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 parte das 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, enclave de mesma natureza de suas rochas encaixantes, interpretado como *roof pendant*. Possui geometria sigmoidal, alongada em NE-SW. Seu relevo está associado principalmente a morros e colinas, em meio à superfície regional de aplainamento, enquanto sua assinatura gamaespectrométrica mostra altas respostas para K, eTh e eU, assim como os Leucogranitos Bom Jesus.

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 nessa classificação. O Plúton Faina foi compartimentado em fácies granítica e fácies granodiorítica/tonalítica, com foliação milonítica desenvolvida ao longo de suas bordas. Já os Leucogranitos Bom Jesus se caracterizam por sua deformação mais desenvolvida e grau metamórfico chegando a fácies xisto verde, além de possuir assembleia exclusivamente granítica, enquanto as rochas Metaplutônicas Máficas são constituídas por metagabros e metahornblenditos, pouco deformados.

## 5. LITOESTRATIGRAFIA E PETROGRAFIA DA ÁREA X

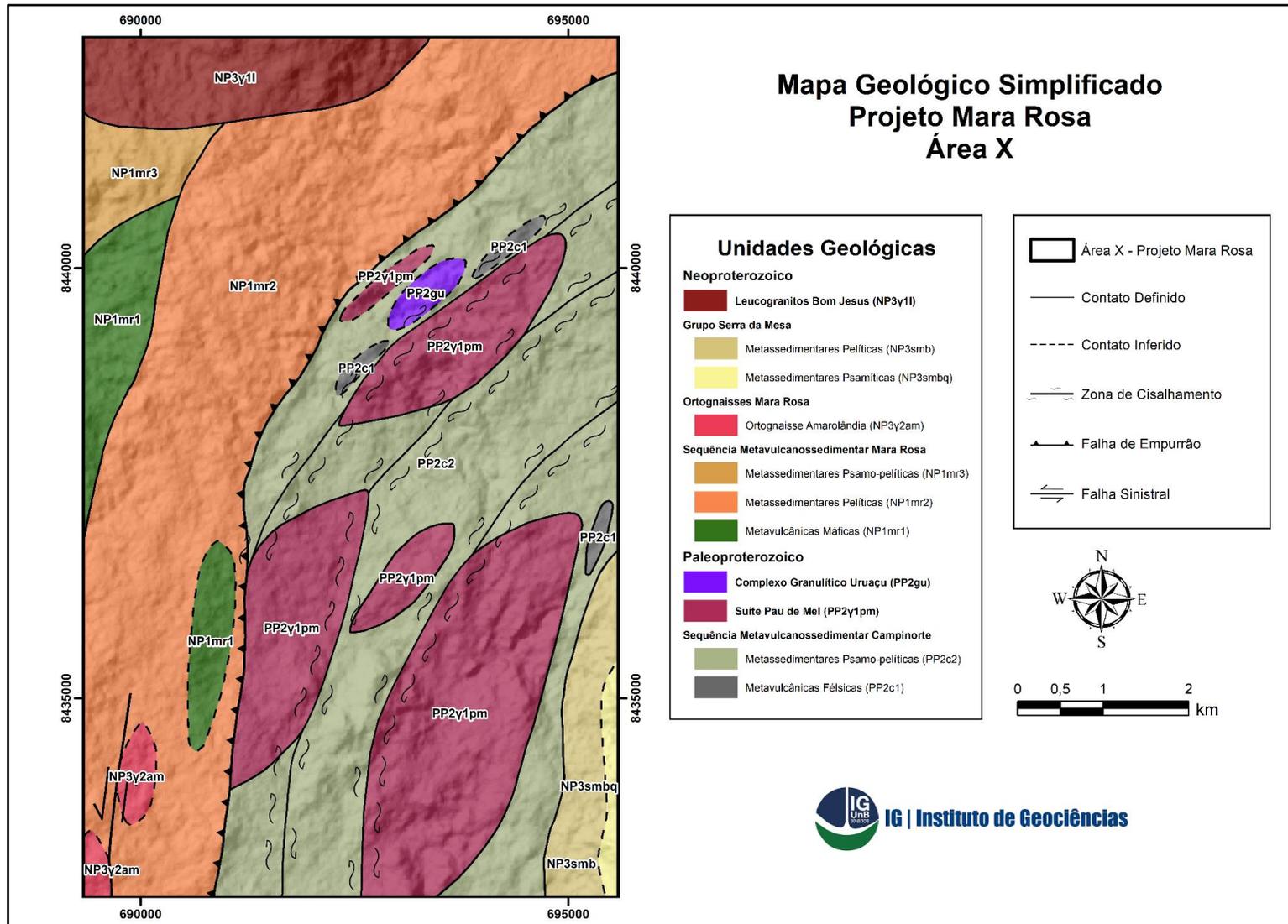
Com base nos dados de campo e petrografia (Apêndice IV), aliados aos aspectos geofísicos, fisiográficos e de sensoriamento remoto, o presente capítulo aborda as principais características das unidades mapeadas no âmbito da Área X. De forma geral, as unidades descritas nesta área incluem Arco Magmático Campinorte, Arco Mara Rosa (Unidade Metavulcanossedimentar e os Ortognaisses Mara Rosa), Grupo Serra da Mesa e Leucogranitos Bom Jesus.

As análises petrográficas incluíram a descrição em detalhe de 15 seções delgadas, confeccionadas a partir de amostras representativas do contexto geológico da área. As fichas descritivas completas podem ser encontradas no Anexo V, enquanto o mapa geológico da Área X é visto, em versão simplificada, na Figura 5.1, e em sua versão completa no Apêndice V.

### 5.1. Arco Magmático Campinorte

No contexto do Projeto Mara Rosa o Arco Magmático Campinorte aflora exclusivamente na Área X e representa o embasamento paleoproterozoico da região. Suas subunidades incluem a Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte (PP2c), a Suíte Pau de Mel (PP2γ1pm) e o Complexo Granulítico Uruaçu (PP2gu).

De forma geral, a fisiografia da unidade se caracteriza por superfície aplainada a suave ondulada na maior parte de sua extensão, tendo maior expressão no relevo em sua porção leste, onde é recoberta por platô laterítico a partir das cotas altimétricas de 400 a 450 metros, aproximadamente. A unidade é recoberta predominantemente por cambissolos e latossolos, com ocorrência subordinada de plintossolos, especialmente associados à região de ocorrência do platô laterítico. Trata-se de região intensamente modificada pela atividade antrópica, com a maior parte de sua extensão sendo utilizada para atividade agropecuária, resultando em expressão dominante de áreas de pastagem e/ou plantio em sua vegetação. Localmente, manchas de cerrado nativo podem ser encontradas em meio às pastagens, atreladas principalmente às ondulações do relevo, além de matas ciliares e de galeria ao longo dos canais de drenagem.



**Figura 5.1:** Mapa Geológico simplificado da Área X do Projeto Mara Rosa (versão simplificada). Mapeamento realizado em escala 1:25000. A versão completa encontra-se no Apêndice V.

As assinaturas geofísicas observadas para a unidade auxiliaram na caracterização de seus limites. Os produtos magnetométricos exibem respostas elevadas na região da zona de falha Rio dos Bois, permitindo demarcar o contato entre as rochas dos arcos magmáticos Campinorte e Mara Rosa. Por outro lado, a cobertura do Grupo Serra da Mesa pode ser facilmente delimitada pela primeira derivada vertical, aliada com a quebra de relevo positiva exibida na topografia. Já a gamaespectrometria, em sua composição ternária RGB (K, eTh e eU), quando em escala de cores ajustada para a Área X, exibe um domínio principal em tons de verde escuro a preto na porção centro-sudoeste, associado às unidades vulcanossedimentares intemperizadas. Eventuais domínios, em tons de branco e amarelo, podem ser associados às rochas intrusivas, com um domínio em tons de azul e verde, a leste, relacionado à região onde afloram amplas superfícies de concreções lateríticas.

Considerando o avançado estágio deformacional da unidade, bem como a intercalação métrica a decamétrica entre os tipos de rocha e a resolução espacial dos dados gamaespectrométricos utilizados, observa-se que os contatos litológicos estabelecidos em campo não se ajustam com precisão aos domínios gamaespectrométricos pré-estabelecidos. Ainda assim, é possível observar a correlação em escala regional entre as variações de pacotes litológicos e as respostas gamaespectrométricas decorrentes, evidenciando, por vezes, a natureza das rochas predominantes e/ou do material que os recobre. Neste cenário a caracterização geofísica das unidades do Arco Mágmató Campinorte se manteve em escala regional. Seus contatos locais, incluindo a delimitação da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte e Suíte Pau de Mel, foram conferidos por critérios de campo, assim como o Complexo Uruaçu.

#### **5.1.1. Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte (PP2c)**

A Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte é a principal unidade aflorante no contexto da Área X, representando 30% de sua extensão e abrangendo a maior parte de suas porções sul e leste. Ocorre deformada, com orientação variando de N-S, na porção sul da área, a NE-SW, na porção nordeste. Esta unidade é limitada, a noroeste, pela zona de falha de empurrão Rio dos Bois e, a sudeste, pela discordância com o Grupo Serra da Mesa, de natureza deposicional.

Constitui-se de rochas metassedimentares psamo-pelíticas e rochas metavulcânicas ácidas, com foliação marcada por xistosidade e, por vezes, bandamento composicional incipiente. A atitude das foliações segue a deformação N-S que predomina no contexto paleoproterozoico da região, com mergulho moderado a alto para leste e, eventualmente, nas proximidades da curvatura da zona de falha Rio dos Bois, suas atitudes também infletem de direção, passando a ter orientações NE-SW com mergulho para SE.

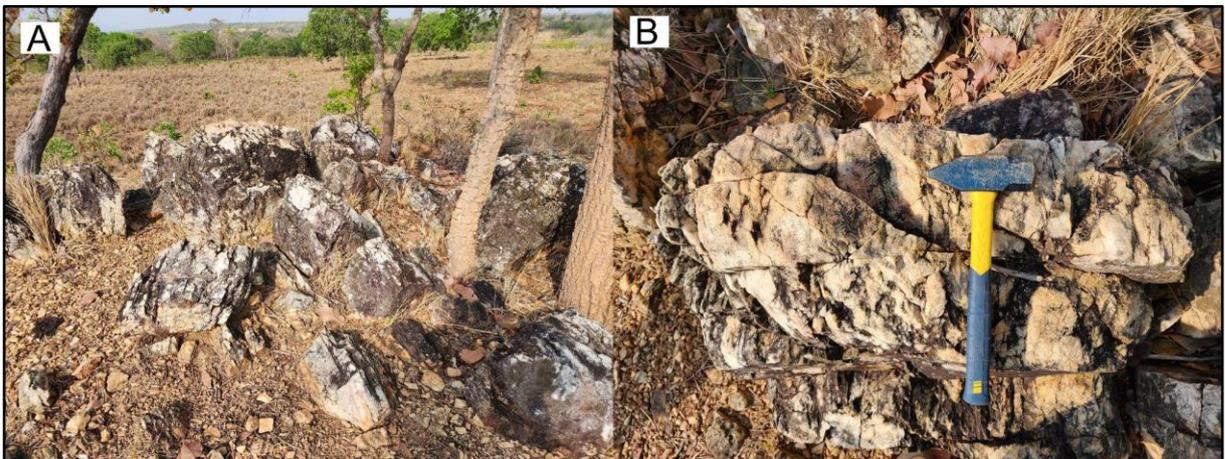
Sua característica marcante, em contraste com a maior parte das demais unidades do projeto, é o metamorfismo em fácies xisto verde inferior. Essas rochas metamórficas, especialmente as derivadas de protolitos vulcânicos, mantêm ainda grande parte de sua mineralogia e texturas primárias preservadas.

As rochas metassedimentares são caracterizadas por xistos de granulação fina a média, com proporções variadas de quartzo, muscovita, clorita, granada, biotita e plagioclásio. Magnetita e hematita são comumente disseminadas, com minerais do grupo do epidoto e ocorrências locais de actinolita e ilmenita. Já as rochas metavulcânicas, de composição dacítica a riolítica, são inequigranulares, compostas por fenocristais de quartzo, sanidina e plagioclásio, inseridos em matriz de granulação fina a densa. Também apresentam epidoto, muscovita, biotita e clorita em quantidades variadas. Como acessórios, foram observados titanita, hematita, magnetita, pirita e zircão.

O mapeamento da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte foi realizado com base em afloramentos ao longo de canais de drenagem, cortes de estrada, blocos rolados e *in situ*, estradas de terra e, em menor quantidade, lajedos e paredões de rocha (Figura 5.2). Além das rochas citadas, em meio aos limites da unidade foram observados cataclasitos e tectonitos, nas proximidades das zonas de falhas (Figura 5.3), e ocorrências pontuais de gonditos.



**Figura 5.2:** Exemplos de afloramentos tipicamente observados de rochas da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte. (A) Blocos *in situ* de rochas metavulcânicas. (B) Paredão de xistos expostos.



**Figura 5.3:** Rochas de falha, do tipo tectonito L, comumente observadas no contexto da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte, caracterizadas por veios de quartzo estirados, com alongamento N-S.

### ***Unidade Metavulcânica Félsica (PP2c1)***

Na Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte as rochas metavulcânicas ocorrem intercaladas com xistos metassedimentares, sendo que metadacitos são mais comumente observados em relação a metariolitos.

**Metadacitos** são rochas com coloração variando entre cinza escuro e cinza esverdeado, quando frescas, apresentando cores amarronzadas quando alteradas. São constituídas por quartzo (~40%), plagioclásio (~25 a 30%), sanidina (0 a 10%) e muscovita (0 a 15%), com titanita, pirita, magnetita e zircão como eventuais acessórios. Clorita, hematita e epidoto (0 a 25%) ocorrem como minerais secundários (Figuras 5.4 e 5.5).

Em amostra de mão caracterizam-se por textura inequigranular a porfirítica, com fenocristais submilimétricos a milimétricos de quartzo, feldspato e, por vezes, epidoto, inseridos em matriz afanítica.

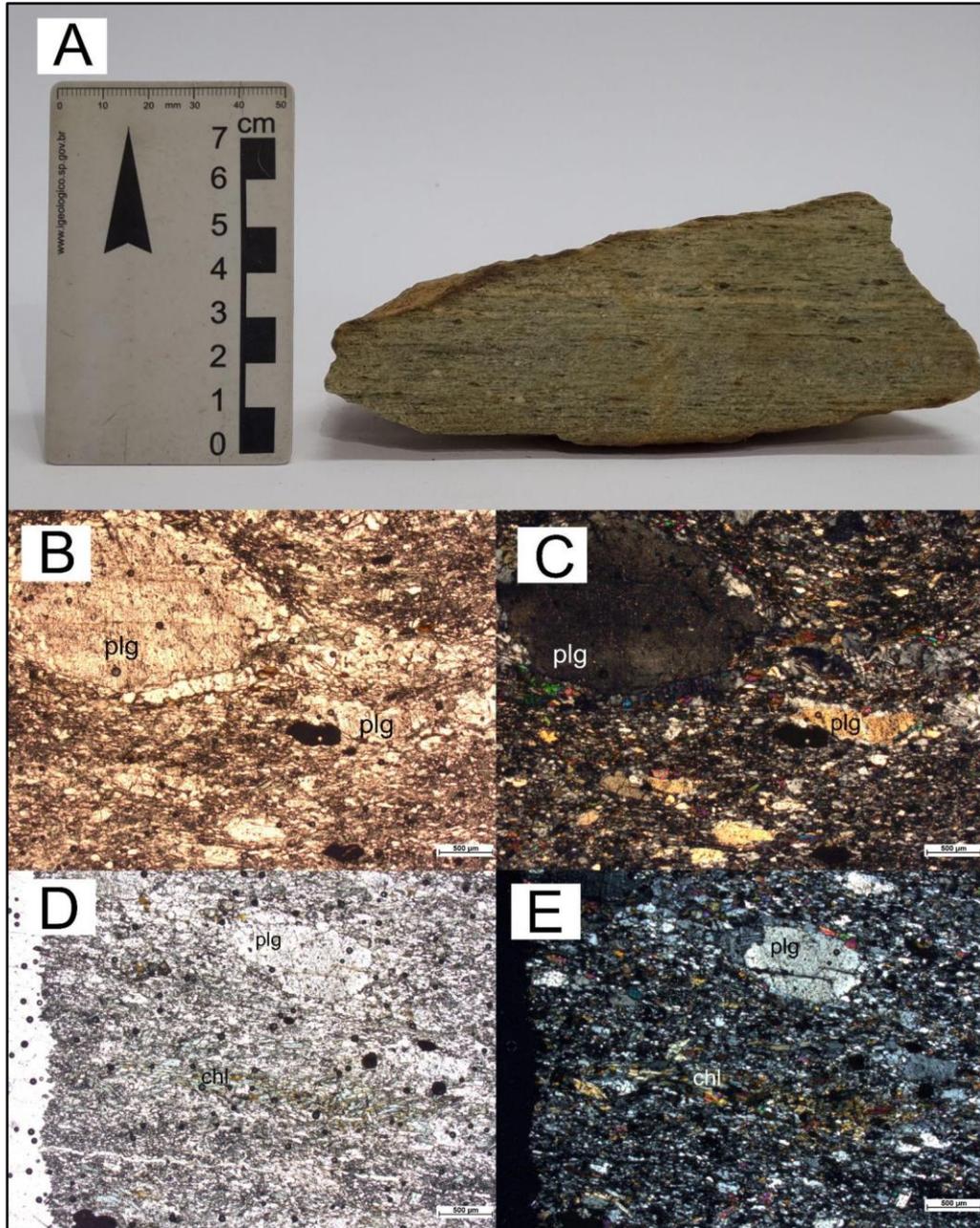
Possuem textura macroscópica marcada por matriz afanítica, com fenocristais submilimétricos a milimétricos de quartzo, feldspato e, por vezes, epidoto. Apresentam foliação milimétrica a centimétrica, marcada pela orientação dos minerais da matriz, além de deformação e rotação dos fenocristais de quartzo e plagioclásio.

As análises petrográficas permitiram confirmar que a maior parte das texturas vulcânicas das rochas se encontra preservada. Foram vistos fenocristais de quartzo, plagioclásio e, em menor quantidade, sanidina, de granulação média, em meio à matriz felsítica, contendo também prismas aciculares de epidoto, orientados ao longo dos planos de foliação. A matriz corresponde a cerca de 60% a 80% da composição modal das rochas, com fenocristais entre 20% e 40%.

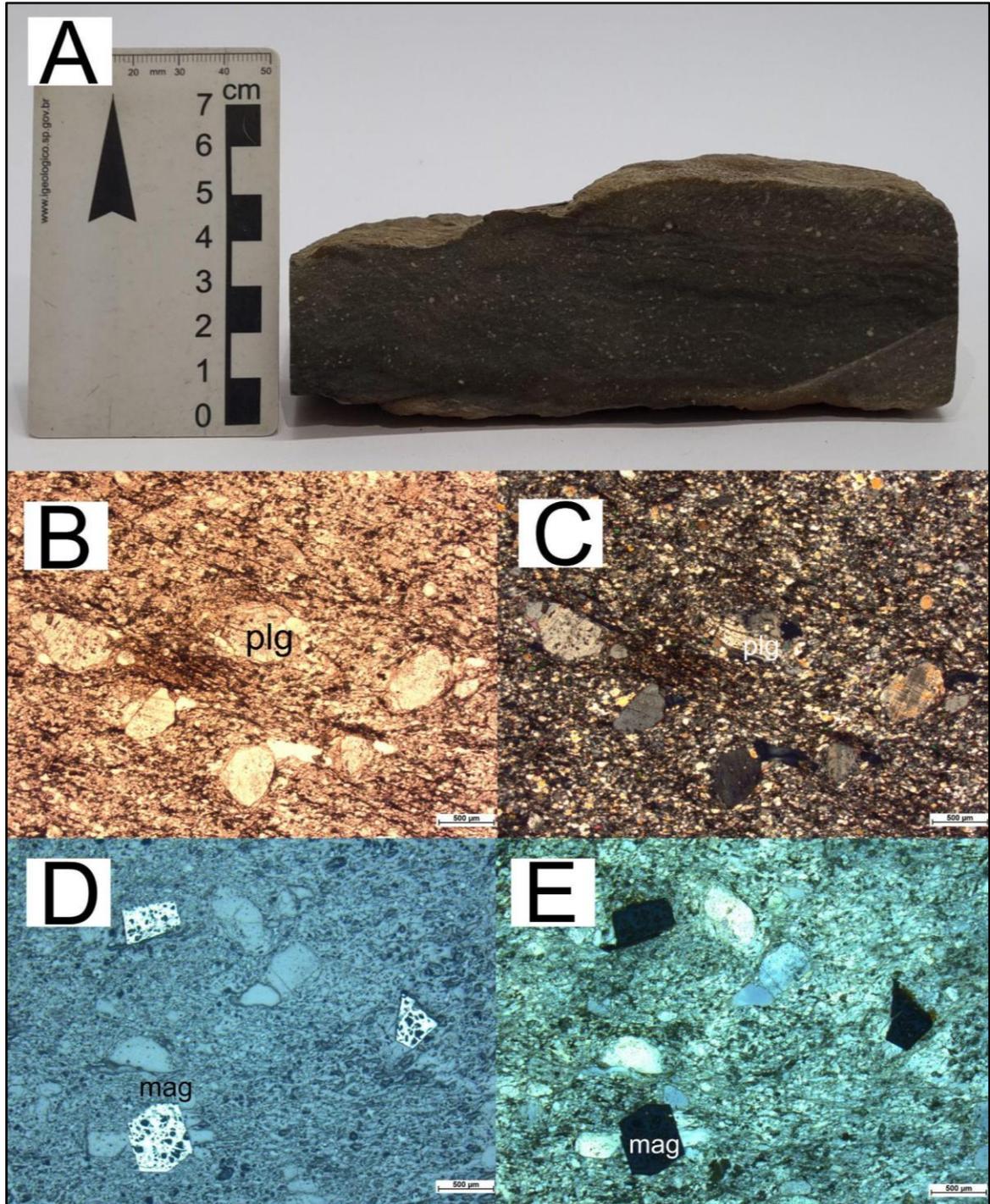
Embora apresentem preservação das feições ígneas, evidências de metamorfismo em fácies xisto verde inferior podem ser observadas nas rochas, promovendo recristalização da matriz felsítica original e deformação dos fenocristais. Isso resulta na recristalização dinâmica parcial dos cristais de quartzo, com extinção ondulante, e plagioclásio, com geminação do tipo “*flame shape twinning*”, exibindo maclas polissintéticas em “ponta de lança” e pseudoxadrez. A deformação dificulta também a realização de análises composicionais deste mineral.

Ainda neste cenário os feldspatos encontram-se alterados para epidoto e sericita, caracterizando processo secundário de saussuritização. Todas as evidências, aliadas a domínios lepidoblásticos com orientação da muscovita, são indicativos do metamorfismo de baixo grau que afeta as rochas da unidade.

A mineralogia complementar é estabelecida por cristais de pirita e magnetita, com alteração para hematita, além de clorita associada à alteração das micas, e titanita com bordas de alteração para ilmenita. A associação epidoto + sericita + clorita + ilmenita + hematita permitiu estabelecer uma paragênese em fácies xisto verde, mais especificamente na zona da clorita.



**Figura 5.4:** Aspectos gerais de metadacito TF22-X-38, aflorante na porção norte da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte (Área X). (A) Amostra de mão, de coloração esverdeada, com foliação e presença de fenocristais de quartzo e plagioclásio imersos na matriz, indicando sua textura vulcânica. (B) e (C) Fotomicrografias (2,5x) evidenciando fenocristais de plagioclásio deformados, imersos em matriz felsítica recristalizada. (D) e (E) Fotomicrografias (2,5x) em que se observam fenocristais de plagioclásio imersos em matriz felsítica recristalizada, com destaque para os domínios de clorita associados. Não foram encontradas, nesta mostra, seções ideais para medição do teor de An do plagioclásio.



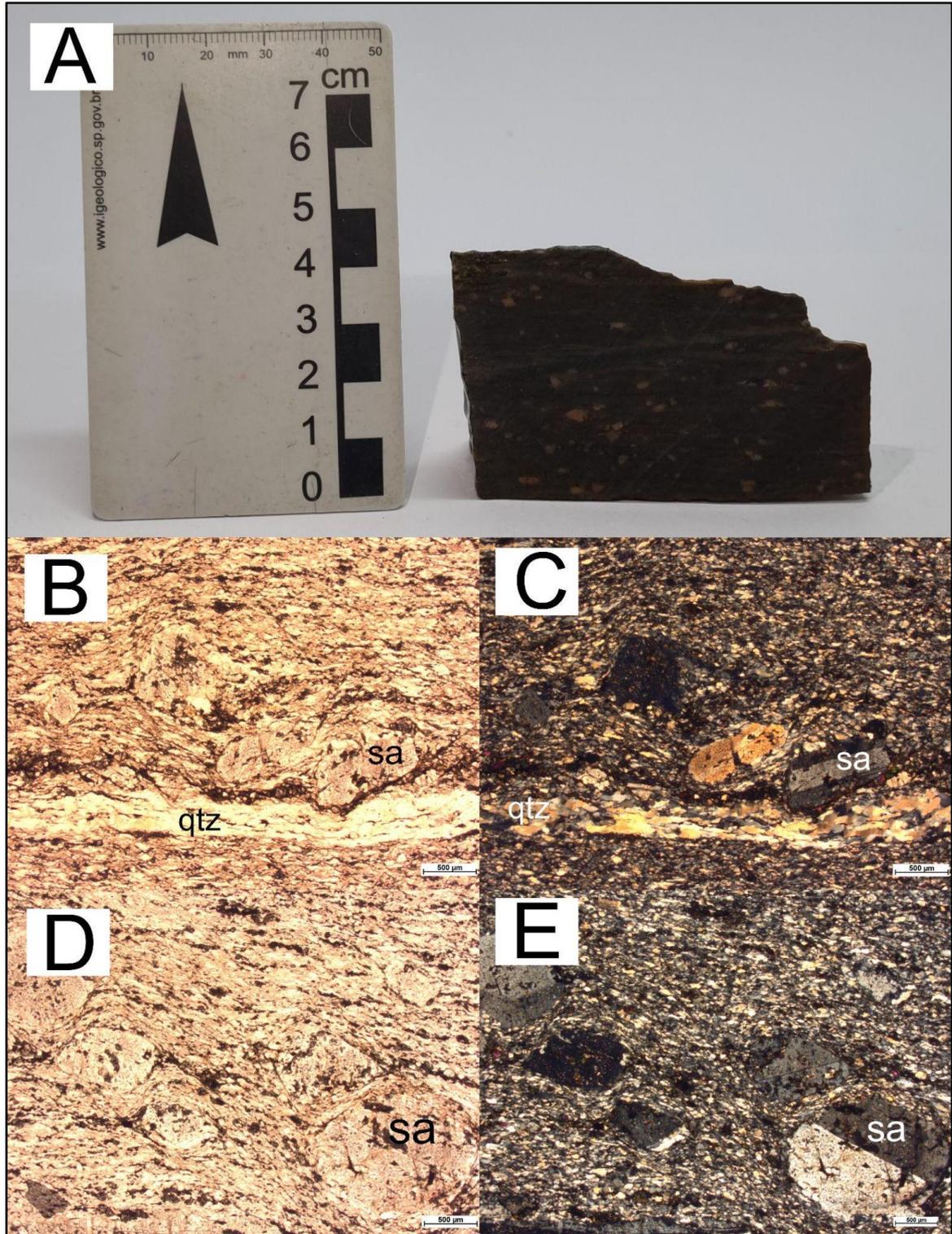
**Figura 5.5:** Aspectos gerais de metadacito TF22-X-88, aflorante no extremo leste da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte (Área X). (A) Amostra de mão, de coloração acinzentada, com presença de fenocristais em meio à matriz fina, parcialmente recrystalizada. (B) e (C) Fotomicrografias (5,0x) evidenciando os fenocristais de quartzo e plagioclásio deformados, imersos em matriz recrystalizada. (D) e (E) Fotomicrografias (2,5x) à luz refletida, destacando os fenocristais de magnetita subedrais a euedrais disseminados na rocha.

**Metariolitos** são de ocorrência subordinada, compostos por quartzo (~40%), sanidina (~20%), plagioclásio (~20%), epidoto (~15%) e biotita (~5%), com cristais disseminados de pirita e magnetita. São rochas de coloração cinza-azulada e granulação fina a média, com capa intempérica em cores cinza escuro a marrom. Podem ser vistos fenocristais milimétricos e rotacionados de quartzo e feldspato em meio à matriz afanítica. A foliação é milimétrica, marcada pela orientação dos minerais da matriz, especialmente biotita, e por bandamento composicional incipiente, com intercalação das porções quartzo-feldspáticas com domínios lepidoblásticos orientados ricos em biotita.

Ao microscópio petrográfico, observa-se textura semelhante a dos metadacitos, com fenocristais submilimétricos a milimétricos de quartzo, sanidina e plagioclásio em meio à matriz felsítica fina recristalizada, a qual compõe em torno de 70% da rocha. O estiramento mineral observado é concordante com a orientação da biotita nos domínios lepidoblásticos, estando os fenocristais rotacionados em meio à foliação. Podem ser notados também domínios quartzosos estirados na forma de lentes em meio à matriz fina, os quais podem corresponder a veios de quartzo recristalizados, concordantes com a foliação (Figura 5.6).

Assim como nos dacitos, a deformação pode ser notada nos fenocristais, com quartzo alongado apresentando extinção ondulante e plagioclásio com maclas encurvadas e interrompidas, não sendo possível realizar análises composicionais óticas. Os feldspatos apresentam alteração secundária do tipo sericitização, com epidotização associada, possivelmente em decorrência de processos de alteração hidrotermal.

Observa-se também pares de foliação S-C entre os domínios granoblásticos e lepidoblásticos, com orientação concordante com o restante das evidências deformacionais vistas na rocha, indicando também o grau deformacional levemente mais elevado em relação aos metadacitos. Ainda assim, a associação mineral epidoto + sericita indica metamorfismo em fácies xisto verde, assim como nas demais rochas da unidade.



**Figura 5.6:** Aspectos gerais de metariolito TF22-X-202 da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte, aflorante na porção sul da área de estudo. (A) Amostra de rocha com coloração acinzentada e fenocristais de quartzo, sanidina e plagioclásio em meio à matriz afanítica. (B) e (C) Fotomicrografias (2,5x) evidenciando os fenocristais deformados de sanidina, com bandamento por fluxo, imersos em matriz recristalizada, além do domínio granoblástico estirado. (D) e (E) Fotomicrografias (2,5x) destacando a rotação dos fenocristais e a deformação geral da rocha, além da alteração parcial dos minerais primários para epidoto e sericita (sericitização).

### **Unidade Metassedimentar Psamo-pelítica (PP2c2)**

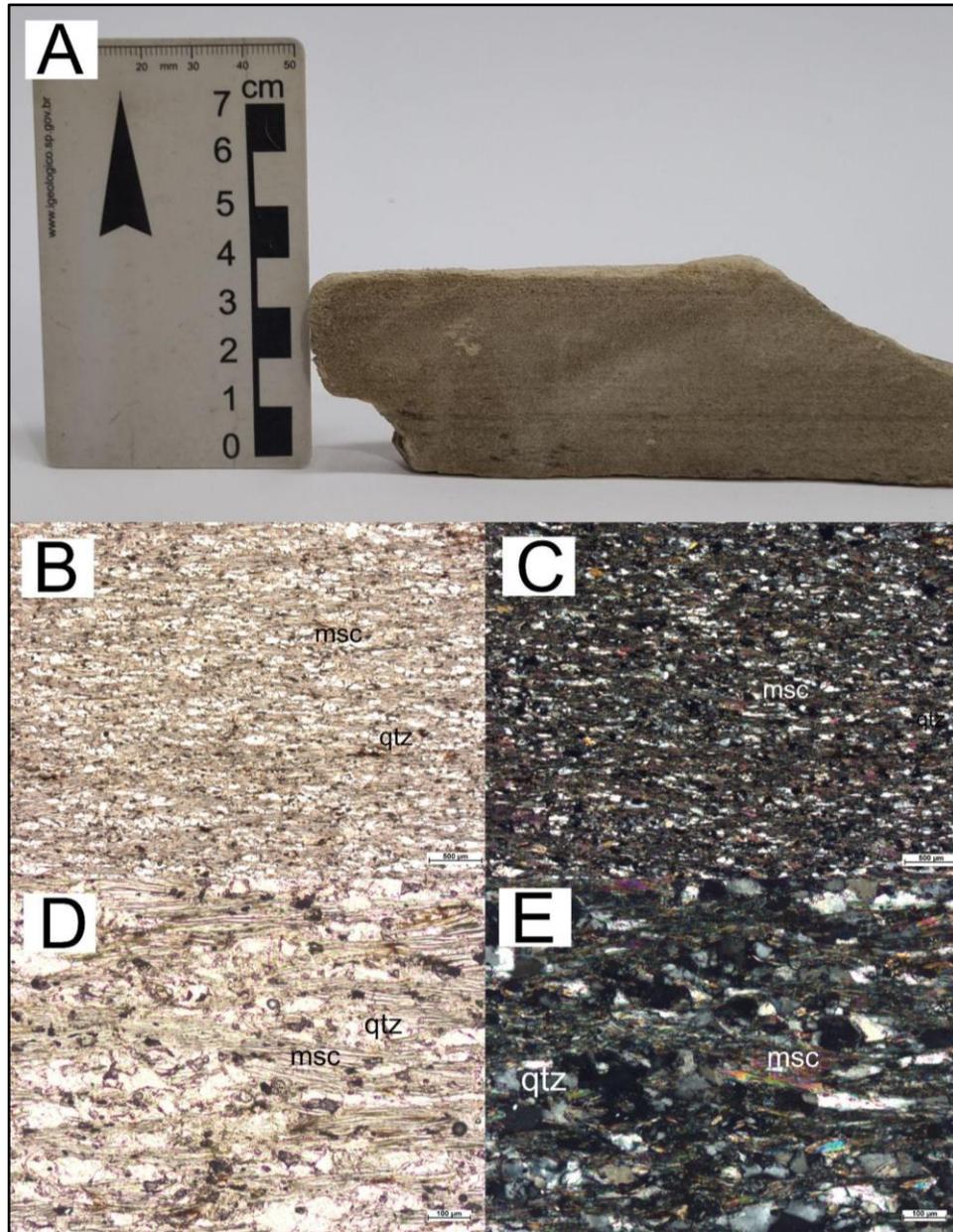
Os xistos da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte, embora predominantes nesta unidade, apresentam variação litológica mais restrita quando comparados às rochas metavulcânicas, sendo sua diversidade associada a variações composicionais do protólito. São constituídos por quartzo (~30 a 35%), muscovita (até 45%), epidoto (0 a 10%) e granada (0 a 10%), com ocorrências de plagioclásio e actinolita, turmalina, ilmenita e allanita como acessórios. Por vezes, estas rochas são vistas extremamente sericitizadas e oxidadas, em decorrência de processos intempéricos, ou mesmo hidrotermais, favorecendo também a formação do epidoto.

São rochas de coloração esverdeada, tornando-se verde escura quando intemperizadas, e granulação fina a média. Possui textura lepidoblástica e foliação submilimétrica do tipo xistosidade, com bandamento composicional espaçado, marcado por domínios quartzo-feldspáticos finos. Quando presentes, granada e actinolita se apresentam na forma de porfiroblastos milimétricos em meio aos domínios micáceos (Figuras 5.7 e 5.8).

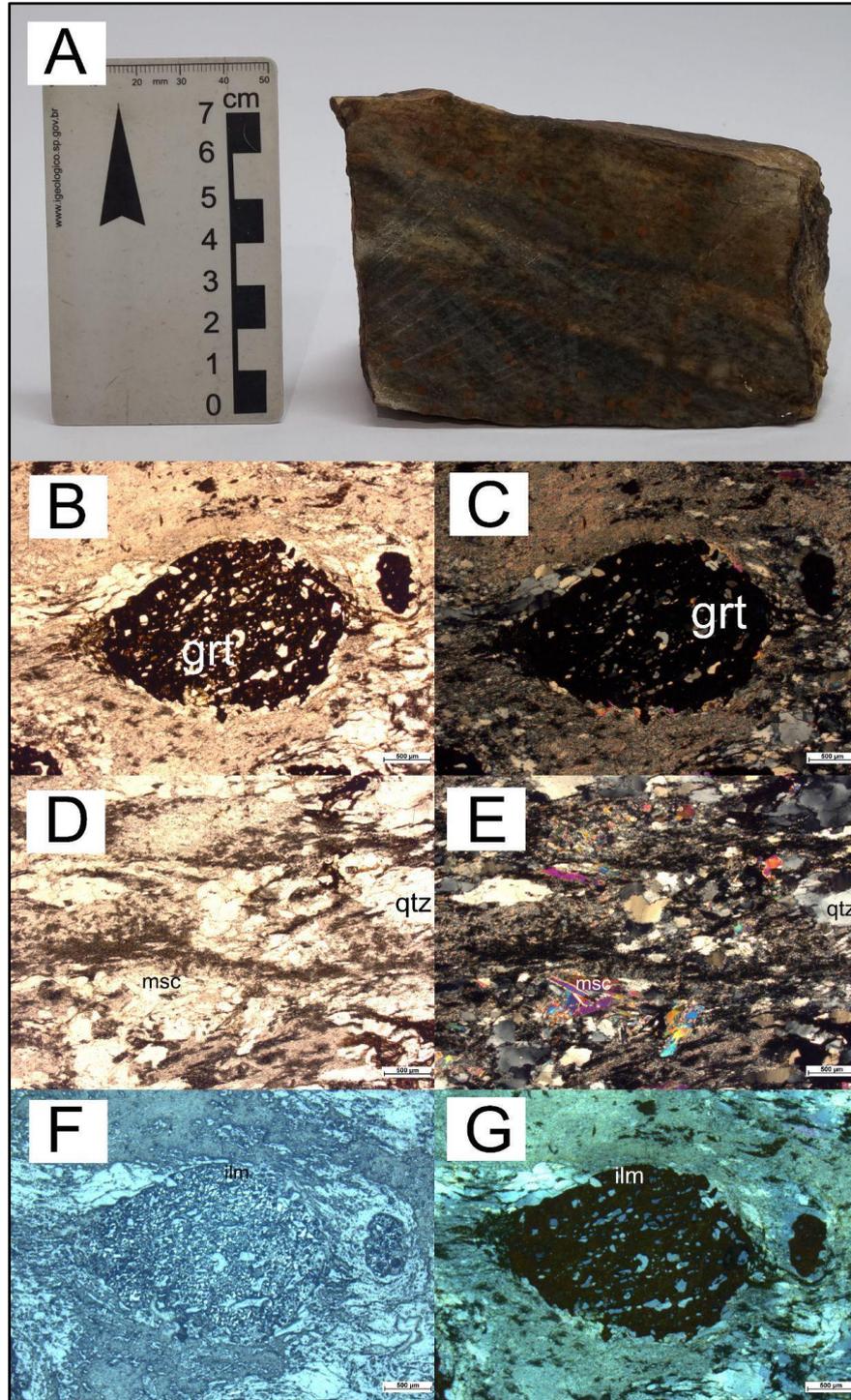
Em análises petrográficas os domínios quartzosos ocorrem moderadamente estirados ao longo da foliação, tendo contatos suturados e extinção ondulante. O plagioclásio, assim como nas rochas metavulcânicas, encontra-se deformado e alterado (sericitização e epidotização), não sendo possível determinar opticamente seu teor de An. Quando presente, granada ocorre quase sempre na forma de pseudomorfos oxidados, formados por hematita, o que indica caráter ferroso original da granada. Microinclusões de quartzo e muscovita podem ser vistas em meio aos pseudomorfos da granada, com foliação interna indicativa de caráter sin-tectônico. Epidoto ocorre disseminado ao longo das rochas, na forma de agregados submilimétricos anedrais, e também como alteração de plagioclásio. Turmalina apresenta zonação composicional e ocorre como mineral acessório (Figura 5.9).

As características observadas implicam na paragênese de pico metamórfico formada por granada + epidoto + plagioclásio + muscovita + quartzo + ilmenita. Essa associação indica condições em fácies xisto verde, zona da granada, com o aparecimento da granada condicionado pela quantidade de alumínio na composição do protólito, que é um pacote psamo-pelítico. Desta forma, as porções pelíticas mais puras tendem a ser mais aluminosas e a conter granada em sua associação mineral, enquanto as porções com maior contribuição psamítica tendem a não conter este mineral. Entretanto, as intensas alterações, caracterizadas pela associação sericita +

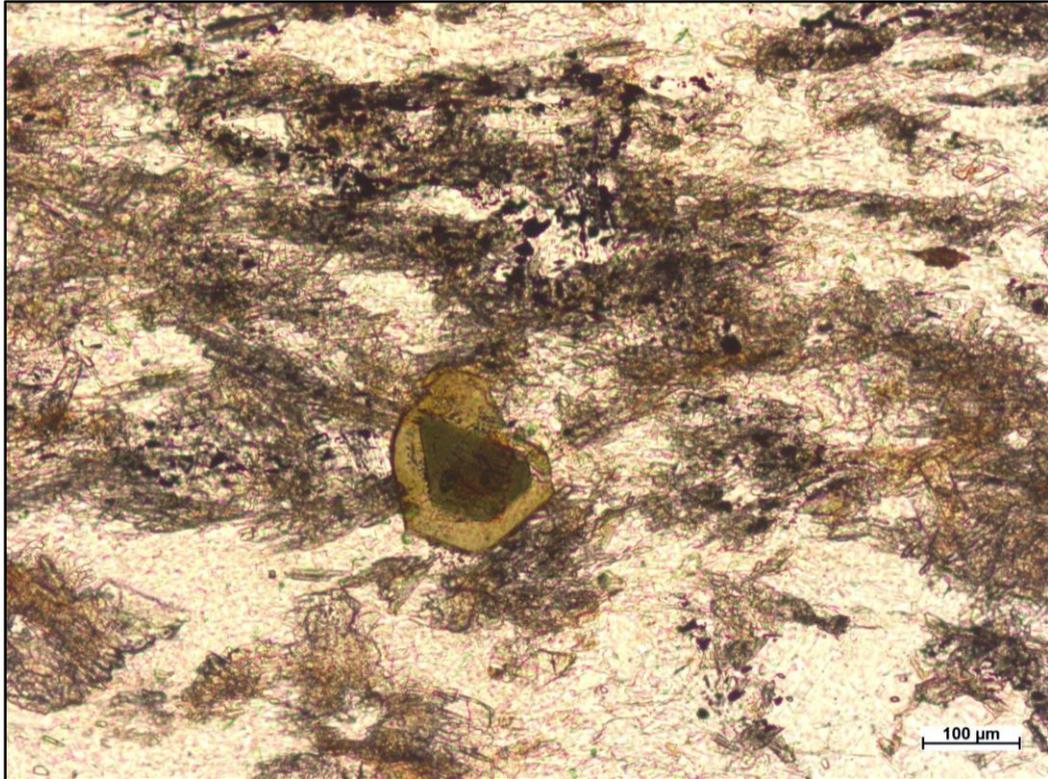
clorita + hematita indicam ação de evento retrometamórfico em fácies xisto verde inferior, observado também ao longo das áreas adjacentes. Processos de alteração, como a intensa epidotização observada, podem ser associados também aos processos de alteração hidrotermal, comuns para a região de estudo.



**Figura 5.7:** Aspectos gerais do xisto TF22-X-7, da porção nordeste da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte. (A) Amostra macroscópica com coloração cinza e planos de foliação submilimétricos. (B) e (C) Fotomicrografias (2,5x) evidenciando a foliação da rocha (D) e (E) Fotomicrografias (5x) destacando a intercalação entre domínios granoblásticos e lepidoblásticos.



**Figura 5.8:** Aspectos gerais do xisto TF22-X-209, da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte. (A) Amostra de mão com coloração escura, evidências de oxidação e foliação milimétrica. (B) e (C) Fotomicrografias (2,5x) evidenciando porfiroblasto de pseudomorfo de granada, substituída por hematita, em meio aos planos de foliação da rocha. Nota-se também a presença de inclusões orientadas dentro dos porfiroblastos, indicando caráter sin-tectônico. (D) e (E) Fotomicrografias (2,5x) destacando a presença de sericita em meio aos domínios quartzosos. (F) e (G) Fotomicrografias à luz refletida (2,5x), em que é possível observar inclusões de ilmenita associadas aos porfiroblastos oxidados de granada.

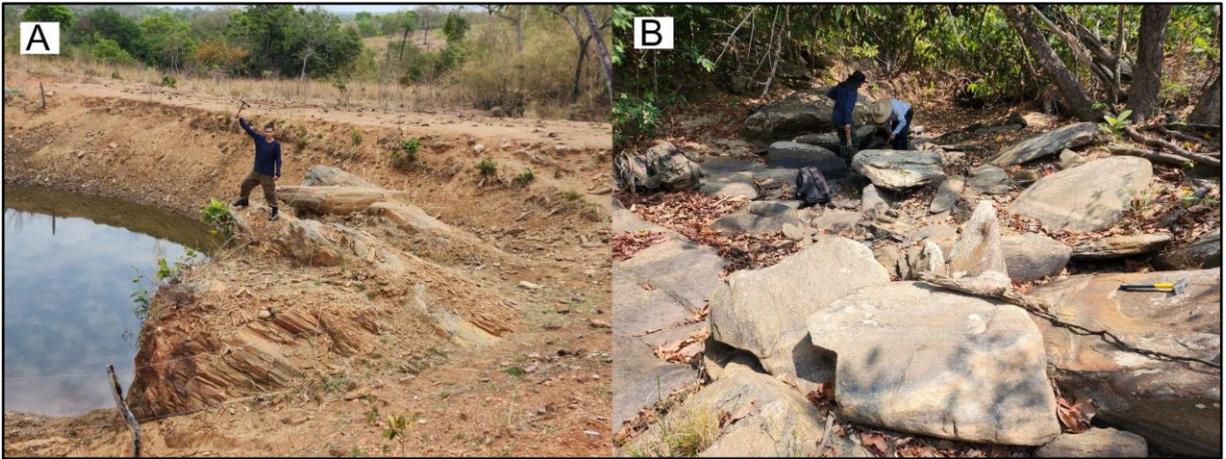


**Figura 5.9:** Fotomicrografia (10x) da amostra TF22-X-209, destacando a ocorrência de turmalina em seção basal e com zonação composicional.

### 5.1.2. Suíte Pau de Mel (PP2y1pm)

As rochas da Suíte Pau de Mel são de natureza intrusiva e ocorrem na forma de corpos alongados ao longo da direção NE-SW, com geometrias sigmoidais. Possuem dimensões variáveis, e encontram-se em meio às rochas da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte. Cinco corpos de maior expressão foram delimitados na escala mapeada por este projeto, aflorando ao longo de lajedos, canais de drenagem, estradas de terra, cortes de estrada, blocos rolados e blocos *in situ* (Figuras 5.10 e 5.11), cobrindo aproximadamente 21% da extensão da Área X. Assim como as unidades anteriores, a orientação preferencial de suas foliações varia de N-S, no extremo sul da área, a NE-SW, conforme se aproxima da curvatura da zona de falha Rio do Bois.

Ocorrem predominantemente granitóides de composição tonalítica a granítica, intensamente afetados por deformação milonítica a ultramilonítica. São rochas inequigranulares, com porfiroclastos médios a grossos de quartzo, plagioclásio e feldspato potássico, imersos em matriz fina. A foliação encontra-se em estágio avançado de desenvolvimento, chegando, por vezes, a condicionar a formação de tectonitos do tipo L, devido ao intenso estiramento mineral.



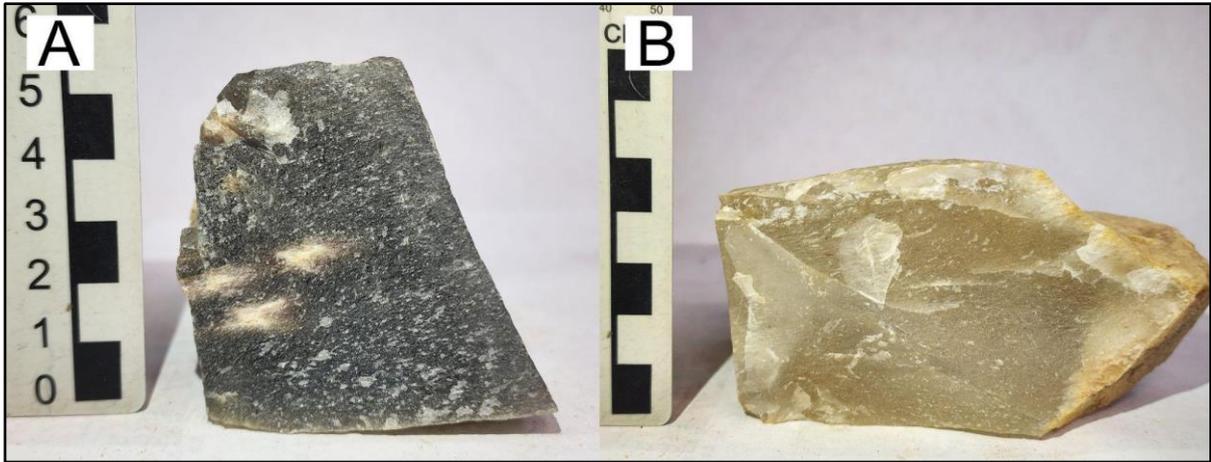
**Figura 5.10:** Tipos de afloramentos mais comuns de rochas da Suíte Pau de Mel. (A) Lajedo. (B) Blocos *in situ* e blocos rolados.



**Figura 5.11:** Detalhe das rochas com deformação intensa, características da Suíte Pau de Mel. Granito ultramilonítico com bandamento composicional com detalhe para a crenulação desenvolvida nos domínios lepidoblásticos.

São constituídas por quartzo (~25 a 55%), oligoclásio/andesina (até 20%), microclínio (até 10%), biotita (0 a 15%), muscovita (0 a 10%), epidoto/clinozoisita (0 a 20%), clorita (0 a 5%), hematita (0 a 5%) e magnetita (0 a 10%), com titanita, apatita,

allanita, ilmenita e zircão como acessórios. (Figuras 5.13 e 5.14). Localmente, são vistas ocorrências de pseudotaquilitos, associados com os corredores deformacionais N-S, localizados na porção sul da área (Figura 5.12).



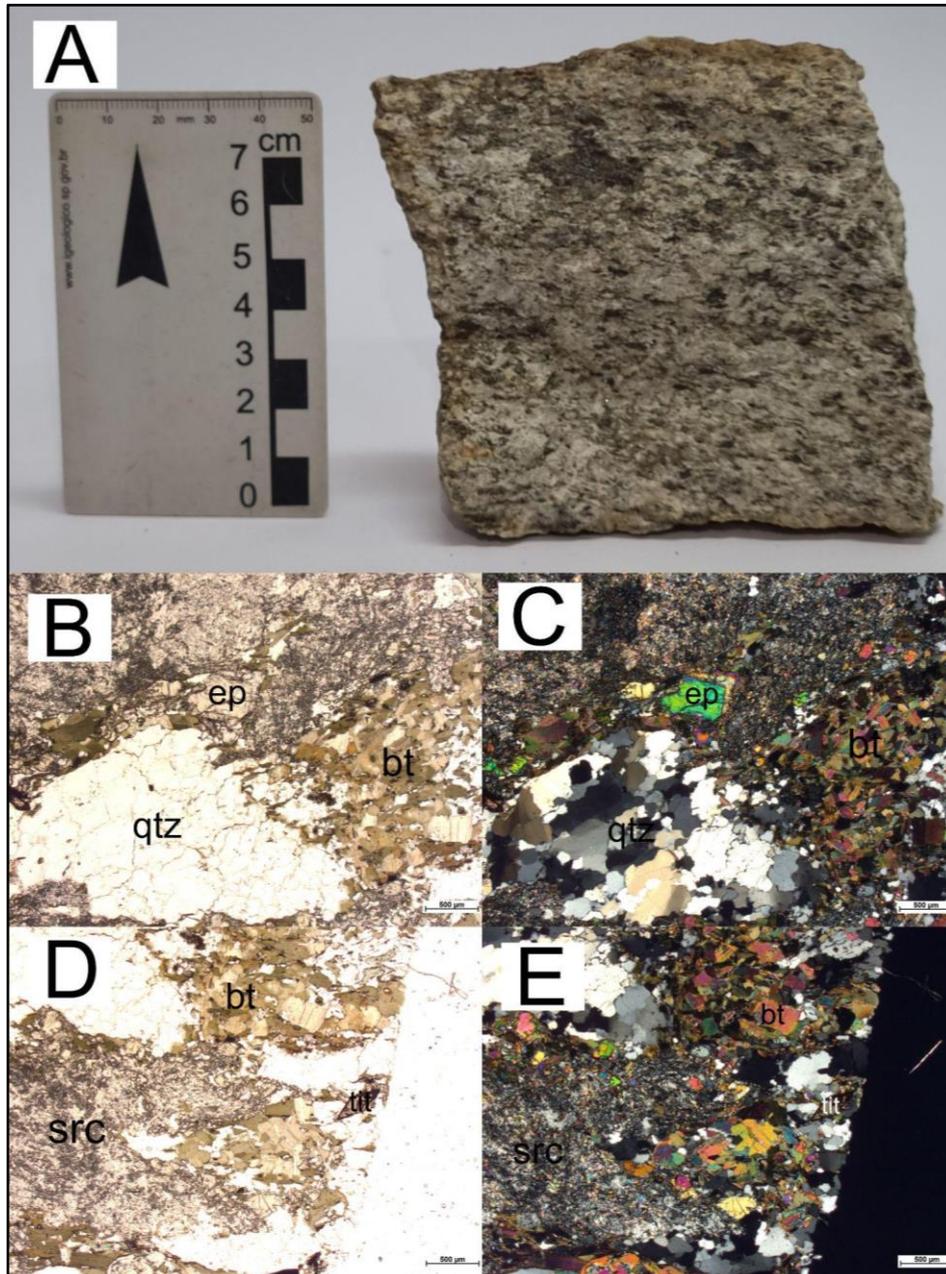
**Figura 5.12:** Aspectos gerais de pseudotaquilitos associados aos corredores deformacionais N-S.

As rochas apresentam domínios quartzo-feldspáticos recristalizados, com textura granoblástica, intercalados com domínios lepidoblásticos compostos por muscovita e biotita. O quartzo é, em maioria, a fase mineral predominante nessas rochas, estando estirado ao longo da foliação e intensamente recristalizado, com aspecto policristalino e extinção ondulante. O plagioclásio, bem como o feldspato potássico, quando em porfiroclastos, encontra-se rotacionado, e apresenta geminação polissintética deformada (contínua), do tipo “*bent twin*”.

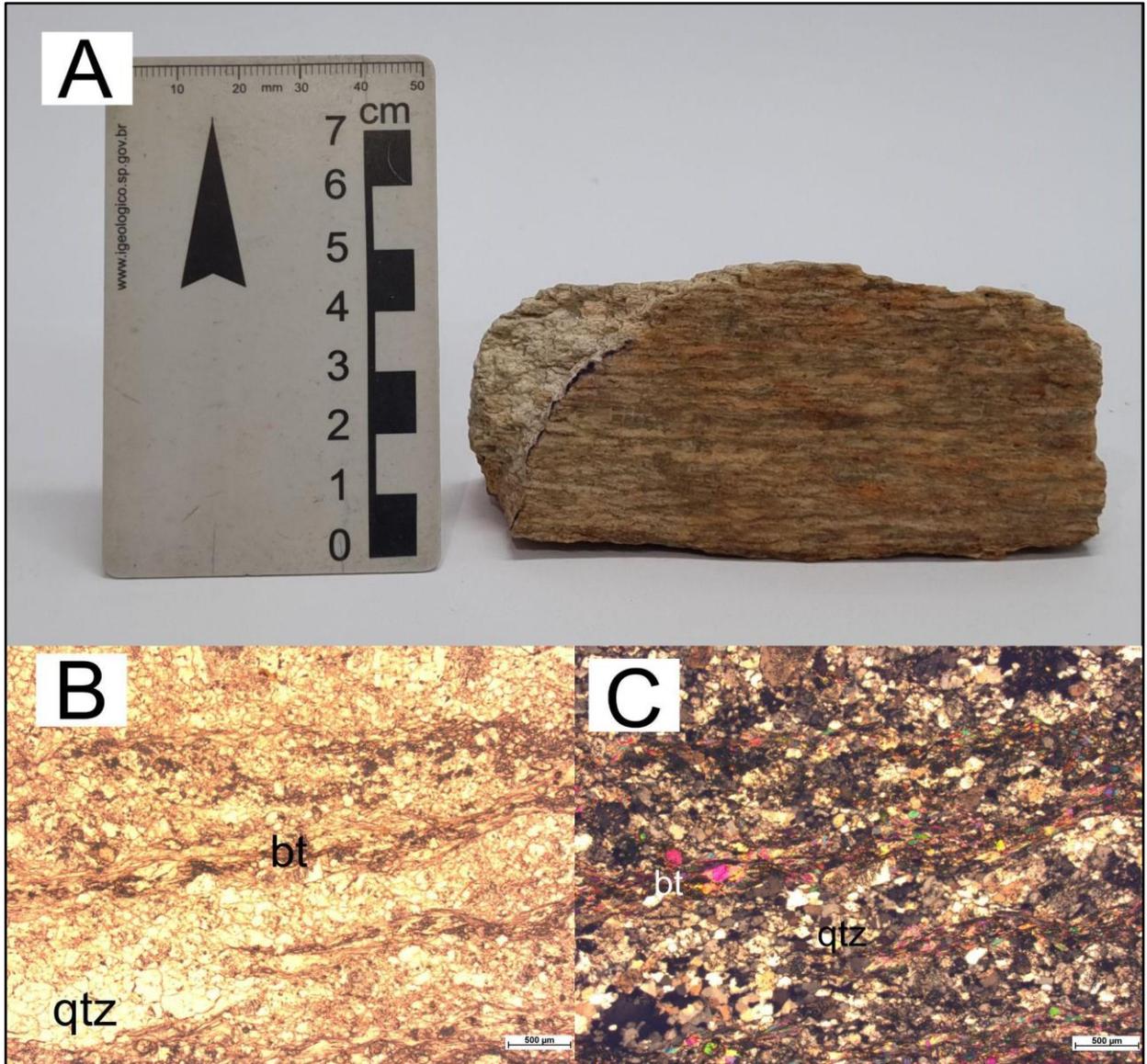
A unidade é afetada por deformação milonítica de espaçamento submilimétrico a milimétrico e intensidade variada, com percentual de matriz entre 30% e 95% da composição da rocha. A matriz é de composição quartzo-feldspática, sendo comum observá-la intensamente alterada para sericita. Embora predomine a ocorrência de granitóides ortomiloníticos (50% a 90% de matriz), corpos protomiloníticos (10% a 50%) e ultramiloníticos (>90%) afloram de maneira subordinada na área de estudo (Figura 5.15).

Em campo foram descritas em meio às rochas da Suíte Pau de Mel ocorrências de xistos com quartzo, muscovita, biotita, granada, clorita e epidoto, localizados nas porções mais próximas às zonas de cisalhamento. Essas rochas apresentam xistosidade paralela à foliação milonítica predominante, de forma que sua gênese foi atribuída à deformação e alteração hidrotermal condicionadas pelas zonas de cisalhamento.

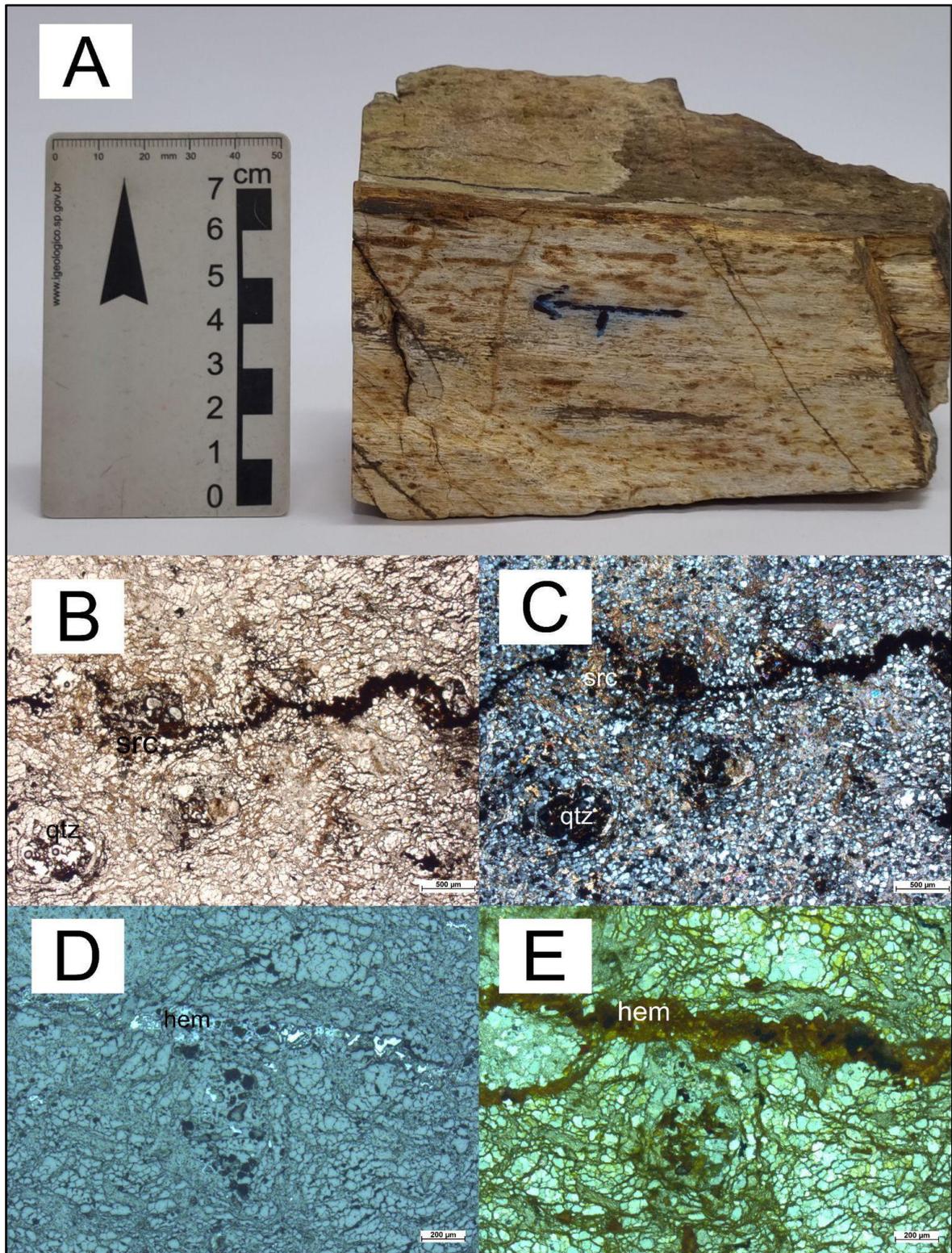
É comum que as rochas da unidade estejam intensamente afetadas por processos secundários de oxidação, sericitização e saussuritização. A intensidade desses processos pode estar associada ao grau deformacional das rochas, em vista da quantidade de matriz, a qual apresenta maior susceptibilidade a alterações em relação aos porfiroclastos. Já a precipitação de oxi-hidróxidos de ferro se dá preferencialmente ao longo dos planos de fratura das rochas.



**Figura 5.13:** Aspectos gerais do tonalítico milonitizado TF22-X-82 (Suíte Pau de Mel). (A) Amostra de mão. (B) e (C) Fotomicrografias (2,5x) exibindo a variação entre domínios granoblásticos com quartzo estirado e domínios lepidoblásticos com biotita, além de ocorrências de epidoto. (D) e (E) Fotomicrografias (2,5x) com destaque para a sericitização dos minerais primários e para a presença de titanita euédrica.



**Figura 5.14:** Aspectos gerais do granito milonitizado TF22-X-103 (Suíte Pau de Mel). (A) Amostra de mão, com foliação milonítica e estiramento mineral evidentes. (B) e (C) Fotomicrografias (2,5x) exibindo a intercalação entre domínios granoblásticas quartzo-feldspáticos e domínios lepidoblásticos com biotita e muscovita.



**Figura 5.15:** Aspectos gerais do granito ultramilonítico TF22-X-33 (Suíte Pau de Mel). (A) Amostra de mão, exibindo oxidação por intemperismo. (B) e (C) Fotomicrografias (2,5x) exibindo matriz sericitizada dominante, com eventuais porfiroclastos de quartzo fraturados e rotacionados, além de fraturas preenchidas por minerais opacos. (D) e (E) Fotomicrografias à luz refletida (5x), com destaque para a disseminação de oxi-hidróxidos de ferro ao longo da rocha. Normalmente, a hematita é encontrada ao longo dos planos de fratura.

### 5.1.3. Complexo Granulítico Uruaçu (PP2gu)

A ocorrência do Complexo Granulítico Uruaçu no Projeto se dá de maneira local, correspondendo a cerca de apenas 6% da Área X. A unidade aflora próximo à zona de falha Rio do Bois, em meio às rochas da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte. Durante o trabalho de campo, planos de falha normal foram observados ao longo de cortes de estrada a sul da unidade, corroborando sua exumação em meio às rochas metavulcanossedimentares, conforme detalhado no Capítulo 6 do presente relatório.

Dentre os afloramentos do Complexo Uruaçu, predominam blocos rolados, com poucas ocorrências de blocos *in situ* e pequenos lajedos. Sua orientação tende a seguir a deformação N-S/NE-SW regional, com estrutura majoritariamente maciça, sendo, por vezes, encontrados indícios de bandamento composicional.

São rochas de granulação fina a média, com duas associações minerais de alto grau metamórfico, sendo uma de rochas granulíticas máficas (ortoderivadas) e outra de rochas granulíticas paraderivadas. De forma geral, a identificação de suas feições foi dificultada pela intensa alteração da mineralogia original.

#### **Granulitos Ortoderivados**

Os granulitos ortoderivados apresentam composição máfica e são formados por hiperstênio (~35%), plagioclásio (~20%), clorita (~15%), epidoto (~10%), magnetita (~10%) e quartzo (~10%), com muscovita, titanita e ilmenita como acessórios. Apresenta coloração preta, com capa intempérica marrom, textura granoblástica fina e equigranular, e estrutura maciça, com ocasionais fraturas preenchidas por filossilicatos (Figura 5.16)

Em análise microscópica observa-se que a trama principal é estabelecida por cristais subedrais, de até 1 mm, de ortopiroxênio, plagioclásio, quartzo e magnetita, com clorita e epidoto localizados em seus interstícios, e ocorrências esparsas de muscovita e calcopirita. Tendo em vista seu pleocroísmo em tons de rosa, ângulo 2V e paragênese de alto grau metamórfico, o ortopiroxênio foi identificado como hiperstênio. Dentre os cristais de epidoto, alguns foram identificados como clinzoisita, indicando que, de maneira geral, trata-se de epidoto de composição mais cálcica. O plagioclásio encontra-se alterado, sendo parcialmente substituído por sericita. Já a titanita ocorre como mineral acessório, estando parcialmente alterada para ilmenita.

Sericita e ilmenita indicam estar em equilíbrio com clorita e epidoto, caracterizando associação mineral de retrometamorfismo em fácies xisto verde inferior. O retrometamorfismo pode ser atribuído à exumação da rocha de porções mais profundas da crosta até a superfície, onde a paragênese mineral do pico metamórfico se torna instável.

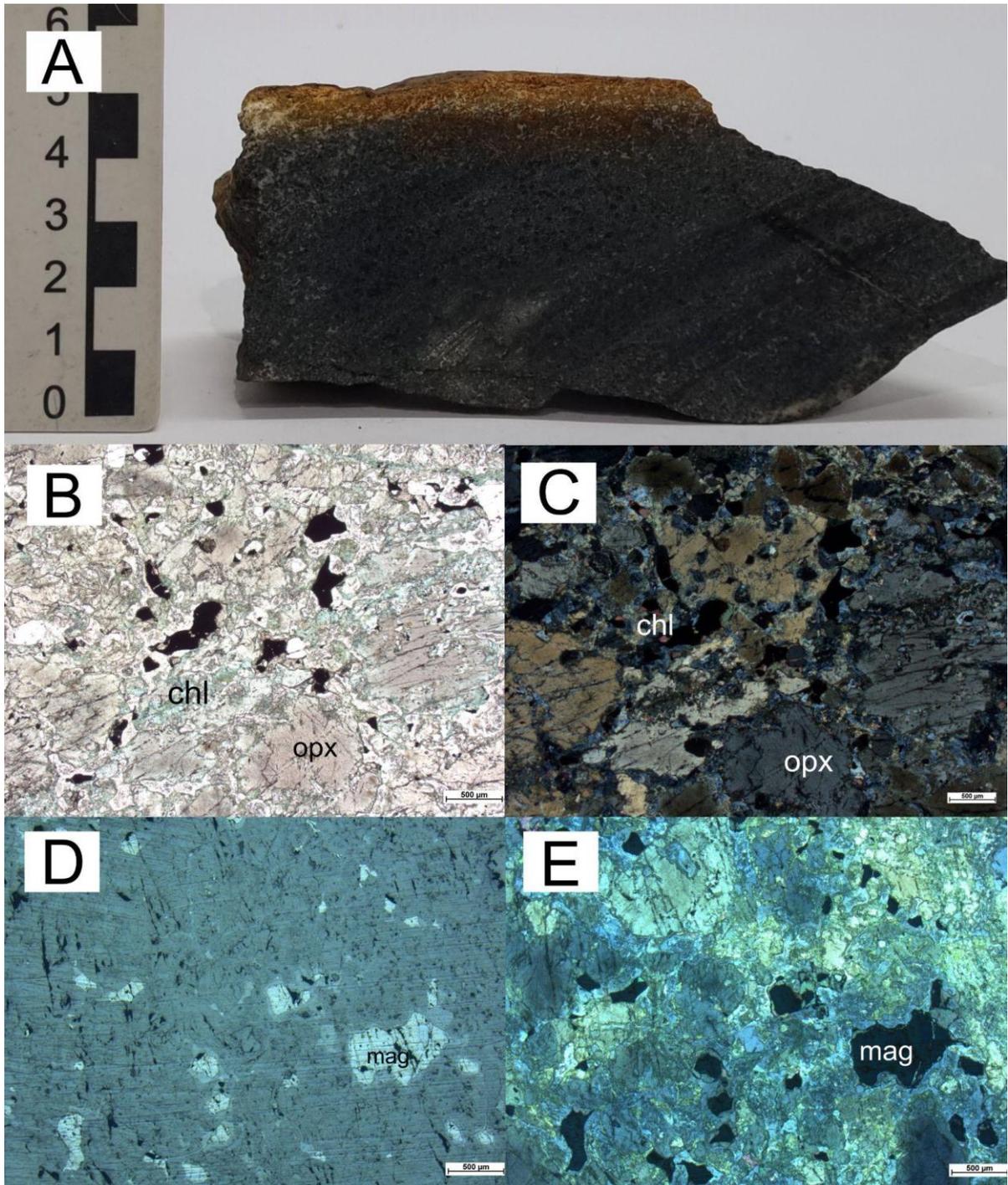
Desta forma, é possível caracterizar o pico metamórfico em fácies granulito, marcado pela paragênese ortopiroxênio + plagioclásio + quartzo + magnetita + calcopirita + ilmenita, com retrometamorfismo em fácies xisto verde, zona da clorita, marcado pela paragênese epidoto + clorita + sericita + titanita, associado à exumação das rochas do complexo.

### **Granulitos Paraderivados**

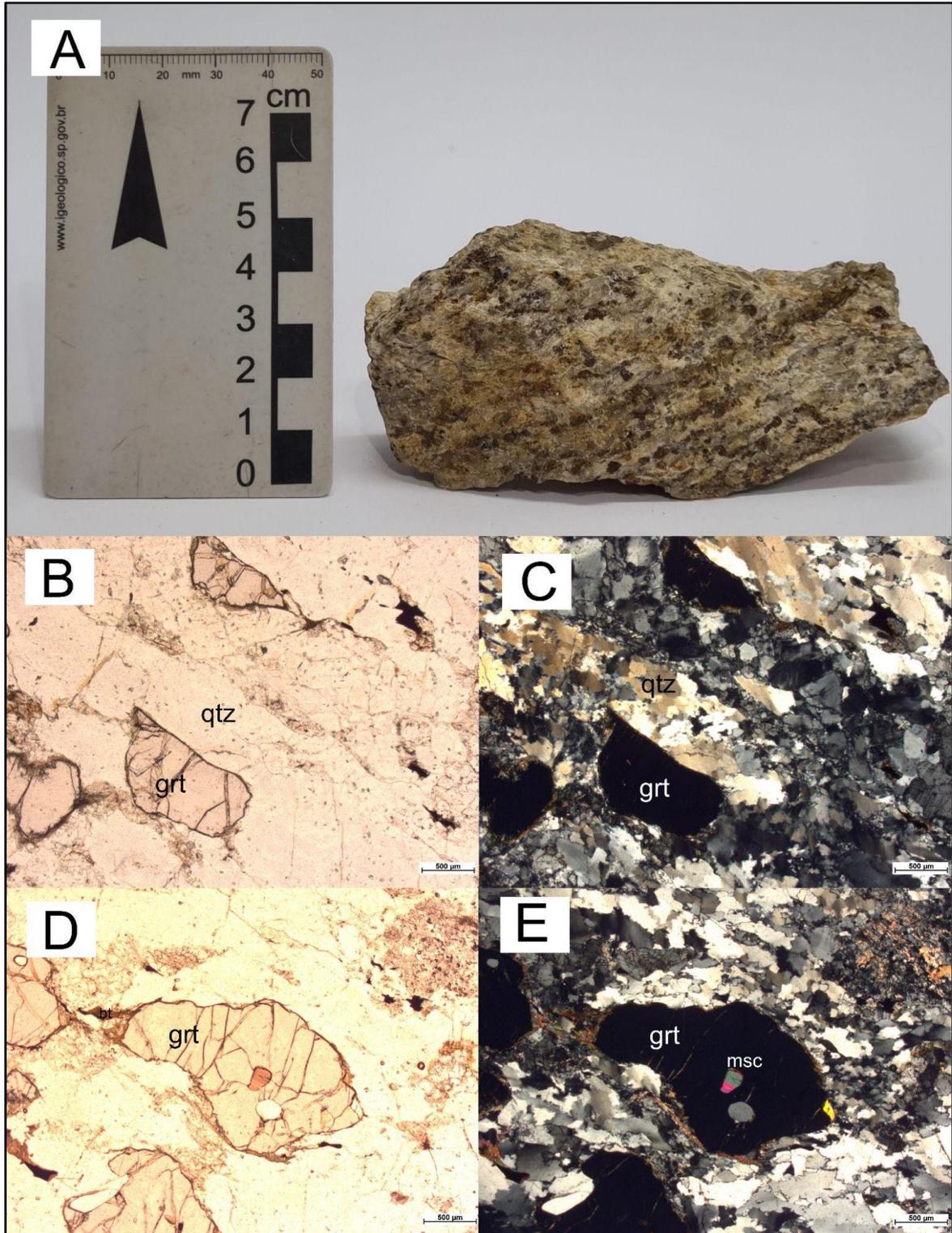
A composição dos granulitos paraderivados é estabelecida por quartzo (~20 a 40%), granada (~27 a 35%), biotita (~13 a 15%), sillimanita (0 a 17%), microclínio (0 a 5%), plagioclásio (~5 a 7%), muscovita (0 a 6%), magnetita (0 a 5%) e clorita e apatita como acessórios. Apresenta cor cinza esbranquiçada a azulada, textura granoblástica fina a média e foliação marcada por bandamento composicional entre domínios quartzo-feldspáticos puros e domínios mais ricos em minerais micáceos (Figura 5.17).

Ao microscópio petrográfico, mostra textura predominantemente granoblástica inequigranular, com minerais anedrais a subedrais estirados ao longo da foliação. Quartzo ocorre na forma de agregados, com contatos suturados e extinção ondulante, devido à intensa deformação e recristalização dinâmica. Granada ocorre na forma de porfiroblastos subedrais fraturados e apresenta bordas de oxidação e alteração para clorita, contendo também microinclusões de quartzo, feldspatos e micas. Já sillimanita, quando presente, é vista na forma de *boudins*, estirados ao longo da foliação (Figura 5.18)

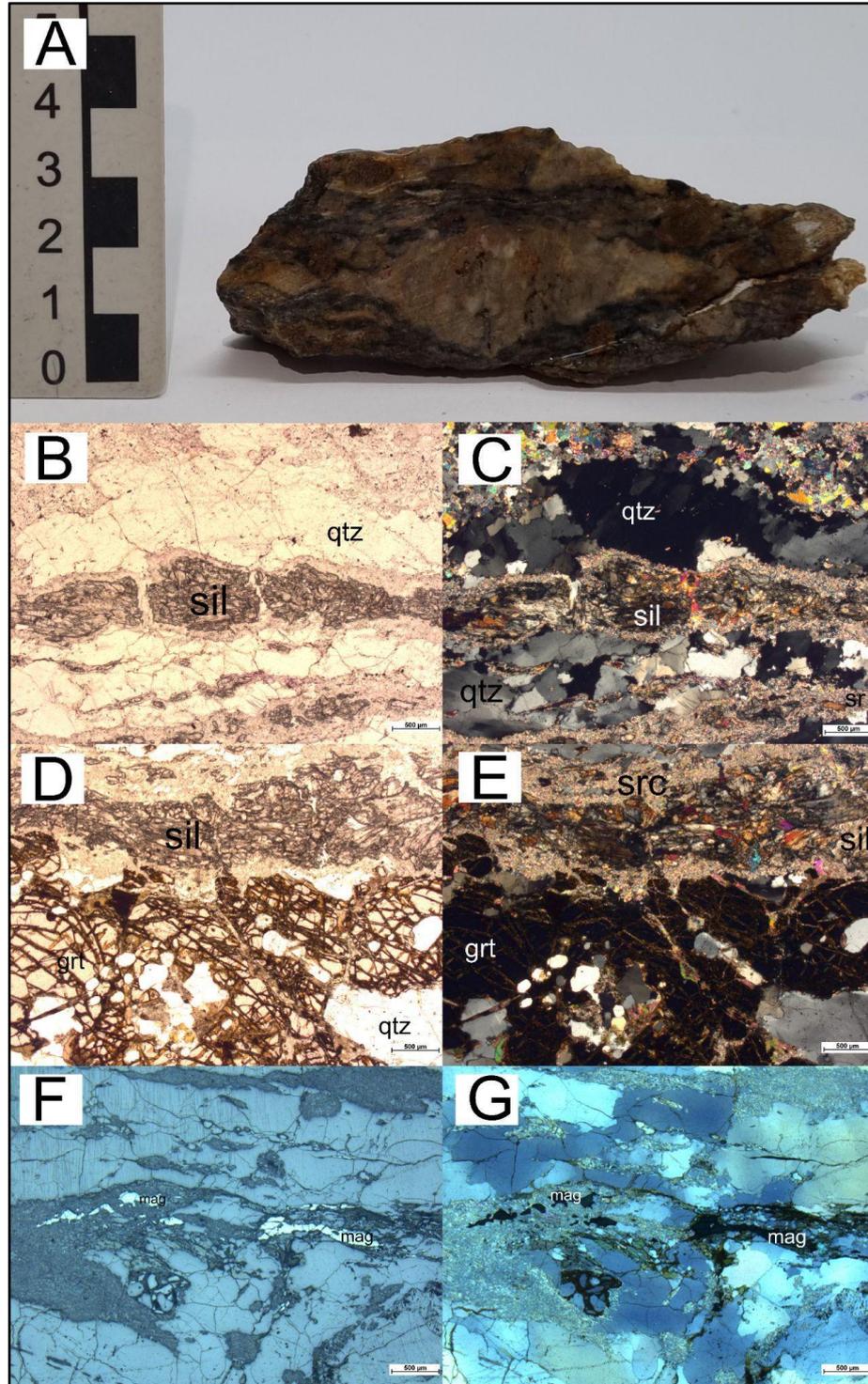
Desta forma, semelhante aos granulitos ortoderivados, é possível estabelecer paragênese de pico metamórfico em fácies anfibolito superior, zona da sillimanita, a granulito, marcada por sillimanita + granada + microclínio + biotita + plagioclásio + quartzo + magnetita, e a paragênese de retrometamorfismo em fácies xisto verde, zona da clorita, estabelecida por clorita + muscovita (+ sericita) + hematita, resultante da ascensão e exumação das rochas.



**Figura 5.16:** Aspectos gerais do granulito ortoderivado, de composição máfica, TF22-X-40A, pertencente ao Complexo Uruaçu. (A) Amostra melanocrática, de granulação fina a média e capa intempérica marrom. (B) e (C) Fotomicrografias (2,5x) evidenciando o arranjo entre os cristais de hiperstênio e minerais opacos. Observa-se clorita nas bordas e interstícios dos cristais de ortopiroxênio. (D) e (E) Fotomicrografias à luz refletida (2,5x), destacando a disseminação de magnetita na rocha.



**Figura 5.17:** Aspectos gerais do granulito paraderivado TF22-X-40B, pertencente ao Complexo Uruaçu. (A) Amostra de mão, com coloração cinza-esbranquiçado, granulação média e cristais de granada subedrais, de cor vermelha e tamanho submilimétrico. A rocha apresenta bandamento composicional milimétrico. (B) e (C) Fotomicrografias (2,5x) evidenciando o arranjo granoblástico entre quartzo e granada, além do contato suturado entre os cristais de quartzo, indicando seu grau deformacional elevado. (D) e (E) Fotomicrografias (2,5x) com destaque para as microinclusões de quartzo e muscovita presentes nos porfiroblastos de granada.



**Figura 5.18:** Aspectos gerais do granulito paraderivado TF22-X-41. (A) Amostra de mão, intensamente deformada e oxidada, em que se observam domínios composicionais quartzo-feldspáticos com sillimanita e domínios ricos em granada e biotita. (B) e (C) Fotomicrografias (2,5x) exibindo boudins de sillimanita em meio aos domínios granuloblásticos estirados. (D) e (E) Fotomicrografias (2,5x) com destaque para granada com bordas oxidadas, sillimanita preservada e domínios sericitizados. (F) e (G) Fotomicrografias à luz refletida (2,5x) com destaque para as ocorrências de magnetita disseminada na rocha.

## 5.2. Arco Magmático Mara Rosa

Dentre as unidades que compõem o Arco Magmático Mara Rosa, apenas a Unidade Metavulcanossedimentar e os Ortognaisses Mara Rosa afloram no contexto da área X, sendo suas ocorrências detalhadas a seguir.

### 5.2.1. Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa (NP1mr)

A Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa aflora nas porções oeste e norte da Área X, correspondendo a 39% de sua extensão. A sequência aflora com geometria de faixa alongada NE-SW com inflexão para N-S na porção sul da área. Dentre as unidades que a compõem, afloram na Área X a Unidade Metavulcânica Máfica e a Unidade Metassedimentar Psamo-pelítica.

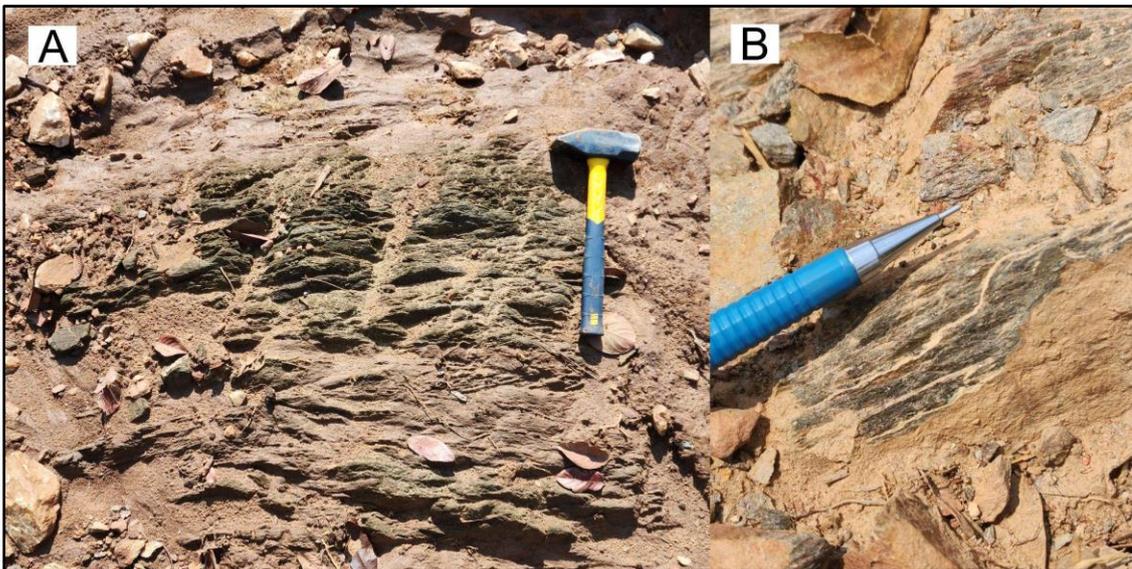
Sua extensão é recoberta por pastos e pequenas áreas florestadas, com vegetação típica de cerrado (Figura 5.19). O relevo nessa porção da área é, predominantemente, suave ondulado, típico de superfície regional de aplainamento, com ocorrências locais de morros e colinas, e sendo levemente mais acidentado nas porções próximas à zona de falha Rio dos Bois. A assinatura gamaespectrométrica dessa unidade, na composição RGB (K, eTh e eU), é moderada em K, com participação variável de eTh e eU.



**Figura 5.19:** Área com pasto e, ao fundo, pequena área florestada, típica de cerrado. Esta configuração é comum à Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa, na porção oeste da Área X (fotografia para sudoeste).

### **Unidade Metavulcânica Máfica (NP1mr1)**

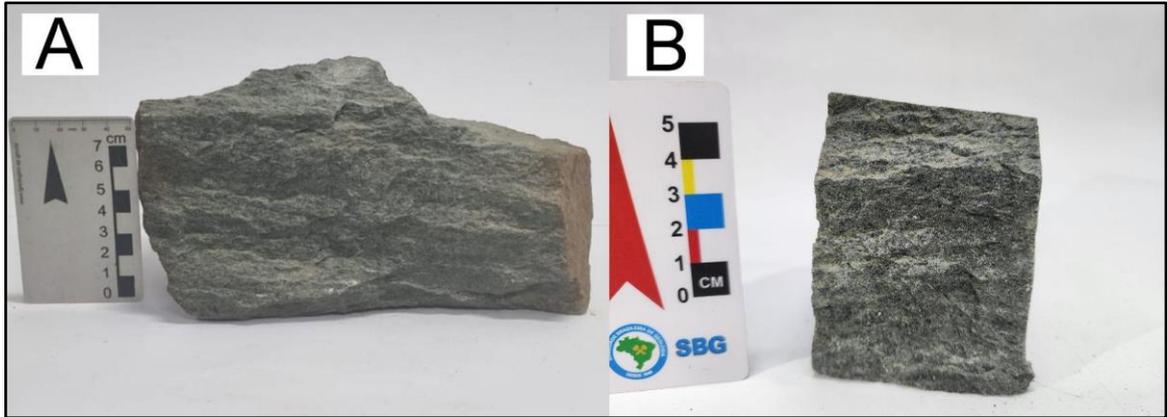
A unidade metavulcânica máfica da Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa representa cerca de 5% da Área X sendo dominada por quartzo anfibolito e epidoto anfibolito. Na Área X, foram observados poucos afloramentos *in situ*, sendo os principais na forma de pequenos lajedos (Figura 5.20). Essas rochas ocorrem na forma de lentes associadas à subunidade metapsamo-pelítica, tendo maior expressão e representatividade em áreas adjacentes.



**Figura 5.20:** Afloramentos característicos dos anfibolitos da Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa. (A) Pequeno lajedo próximo ao limite oeste da Área X. (B) Indícios de deformação em afloramento de anfibolito.

De maneira geral, os anfibolitos possuem coloração cinza esverdeada e são constituídos por hornblenda, plagioclásio, quartzo e epidoto, com rutilo e magnetita como acessórios. Caracteriza-se por sua textura diablástica a nematoblástica, formada por prismas euédricos de hornblenda, com tamanho entre 2 e 5 mm, imersos em matriz quartzo-felspática esbranquiçada (Figura 5.21). Tendo em vista a ausência de seções delgadas desta unidade para a Área X, foi realizada uma descrição comparativa em lâminas petrográficas de áreas adjacentes. As análises evidenciam que os cristais de epidoto são subédricos, de granulação fina à média, variando entre 0,5 mm e 2 mm, estando associados ao plagioclásio e à hornblenda. Já os cristais de quartzo, associados à matriz, apresentam extinção ondulante, bem como evidências de recristalização dinâmica, estando na forma de agregados poligonais com contatos suturados, indicando migração de borda de grão e ação de processos deformacionais.

A paragênese estabelecida por hornblenda, plagioclásio e quartzo sugere pico metamórfico em fácies anfibolito. Considerando que o epidoto ocorre como mineral superimposto aos cristais de plagioclásio e hornblenda, infere-se ação de processos retrometamórficos em fácies xisto verde.



**Figura 5.21:** Aspectos macroscópicos típicos dos anfibolitos relacionados à Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa. (A) Rocha com textura diablástica, marcada por cristais de hornblenda sem orientação preferencial. (B) Domínios ricos em quartzo e feldspatos, em meio aos anfibólios.

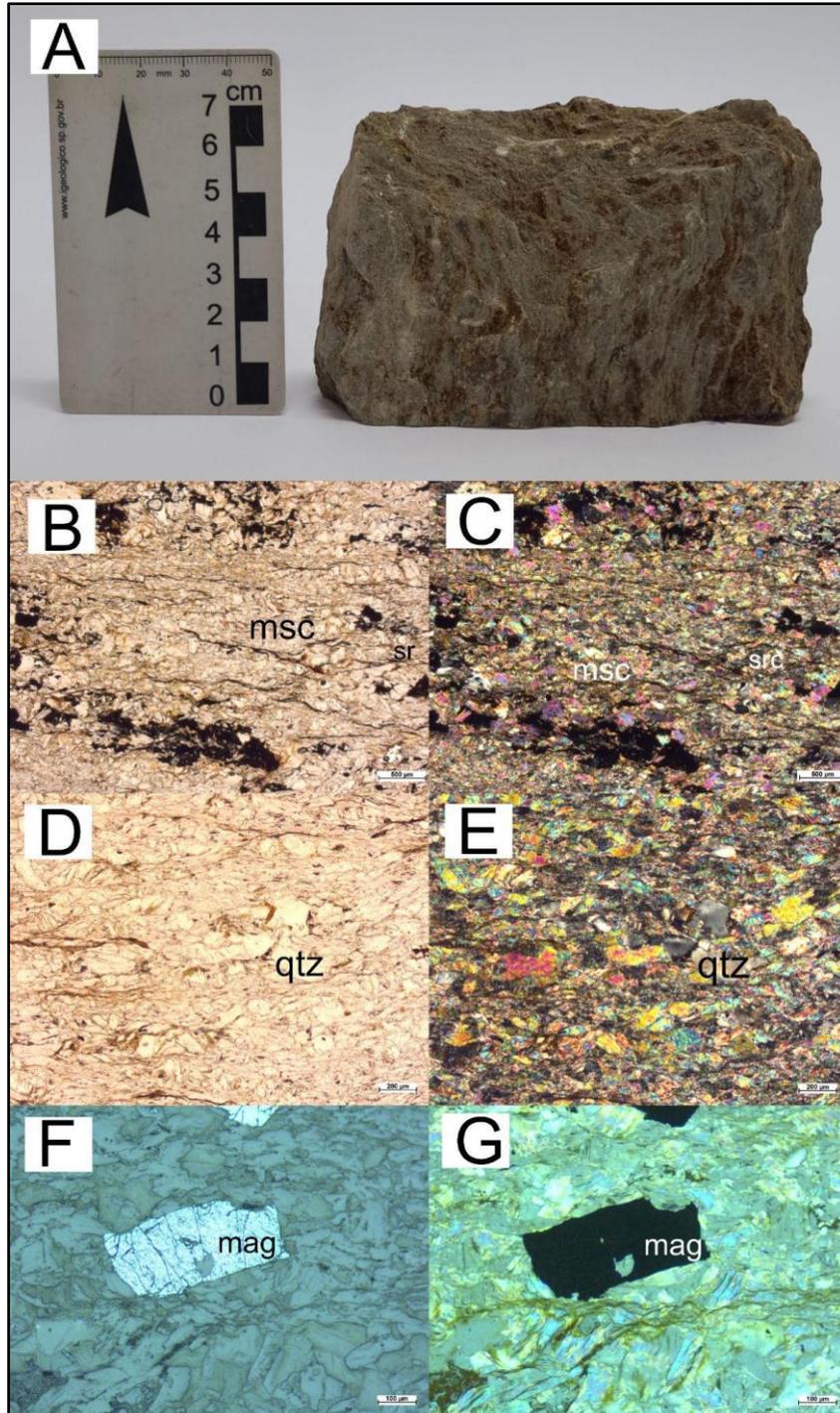
#### ***Unidade Metassedimentar Psamo-pelítica (NP1mr)***

Na Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa as rochas metassedimentares descritas na Área X incluem subunidades metapelítica (NP1mr2) e metapsamopelítica (NP1mr3).

A **subunidade metapelítica (NP1mr2)** é composta por xistos que afloram na forma de lajedos, blocos *in situ* e blocos rolados e corresponde a 32% da área. As rochas descritas apresentam variações composicionais restritas, sendo, em sua maioria, muscovita-quartzo xistos, quartzo-muscovita xistos, quartzo-clorita xistos e clorita-muscovita xistos, com ocorrências ocasionais de granada (Figura 5.22).

Análise petrográfica de uma das amostras de clorita-muscovita xisto mostra que são constituídos por quartzo (~10%), muscovita (~70%), biotita (~2%), plagioclásio (~5%), clorita (~3%) e magnetita (~10%), com granulação fina, variando entre 0,2 mm e 0,8 mm e com xistosidade contínua. A textura da rocha é majoritariamente lepidoblástica, com lamelas de muscovita e biotita associadas a cristais de quartzo recristalizados, menos deformados quando comparados às feições da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte. O quartzo, por sua vez, ocorre de forma monocristalina e policristalina, com evidências de recristalização dinâmica por rotação e desenvolvimento de subgrãos com extinção ondulante. Tanto o quartzo

quanto o plagioclásio, ocorrem em subdomínios no interior das porções lepidoblásticas. Devido à deformação e alteração, não foi possível mensurar, com confiabilidade, o teor de anortita dos cristais de plagioclásio.



**Figura 5.22:** Aspectos gerais do muscovita-clorita xisto TF22-X-227, associado à porção sul da Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa na Área X, próximo a zona de falha Rio dos Bois. (A) Amostra de mão mostrando foliação da rocha. (B) e (C) Fotomicrografia (5x) exibindo xistosidade contínua, marcada pela orientação dos cristais de muscovita. (D) e (E) Fotomicrografia em luz refletida (10x) com destaque para os cristais subbedrais de magnetita.

Embora a paragênese estabelecida para as rochas desta unidade seja estável ao longo de um extenso intervalo de pressão e temperatura, as feições deformacionais descritas, bem como a correlação com unidades adjacentes, permitem inferir um metamorfismo em condições de fácies anfíbolito.

A rocha apresenta também indícios de cloritização, resultante da percolação de fluídos e conseqüente transformação dos minerais primários. Dessa forma, levando em consideração a mineralogia da rocha, e seus aspectos texturais, infere-se sua derivação de um protólito sedimentar, provavelmente uma rocha pelítica, rica em potássio e alumínio.

Já a **subunidade metapsamo-pelítica (NP1mr3)** é formada, majoritariamente, por paragneisses quartzo-feldspáticos com domínios micáceos, ocorrendo na porção NW da Área X, em cerca de 2% de sua extensão. As rochas afloram na forma de pequenos lajedos e ao longo de cortes de estrada (Figura 5.23) e possuem assinatura gamaespectrométrica rosa esbranquiçada na composição ternária RGB (K, eTh, eU).

As rochas possuem coloração bege acinzentada, com granulação variando de fina à média, e textura granolepidoblástica, com intercalação de domínios quartzosos e domínios micáceos com porfiroblastos de granada. Na Área X os afloramentos de paragneisses apresentam estágio avançado de alteração intempérica (Figura 5.23), dificultando a realização de inferências precisas a respeito do protólito e da fácies de pico metamórfico destas rochas. Entretanto, ocorrências preservadas foram descritas em áreas adjacentes (Figura 5.24).

As rochas da unidade são compostas por quartzo, plagioclásio, biotita, granada, muscovita e epidoto, com titanita, pirita e magnetita como acessórios. Apresentam textura predominantemente lepidoblástica, ocasionalmente com porfiroblastos de granada. A matriz da rocha é composta por cristais de quartzo, de granulação fina a média, formando agregados granoblásticos em esteiras de subgrão. As texturas presentes na rocha, bem como a interação entre quartzo, biotita, muscovita e granada, sugerem que essa rocha sofreu metamorfismo em condições de fácies anfíbolito, na zona da granada, sendo seus porfiroblastos sin-tectônicos. A presença de epidoto na associação mineral sugere desequilíbrio químico, ou mesmo a presença de fase rica em cálcio no protólito, podendo este se tratar de rocha pelítica impura. (Figura 5.24).



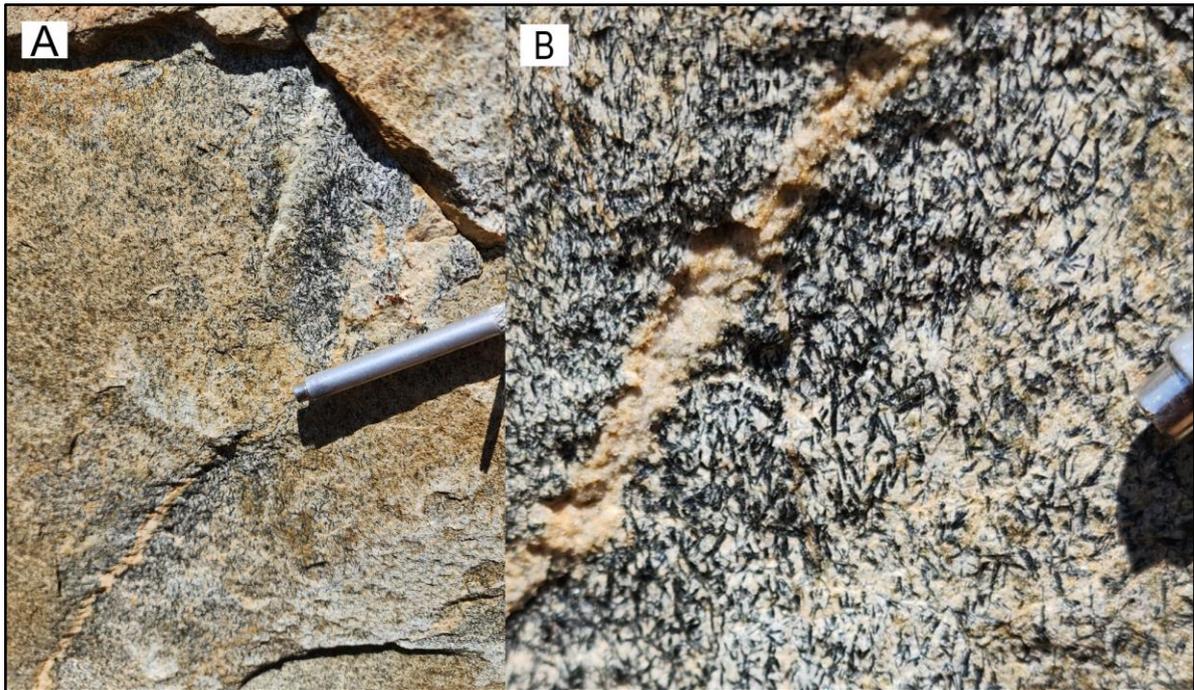
**Figura 5.23:** Afloramento em corte de estrada (GO-347), mostrando paragneisses intemperizados da Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa. Fotografia para sul. (A) Arqueamento da foliação, atribuído à sobrecarga causada pelo peso do perfil de solo acima do pacote de rochas. (B) Destaque para o bandamento composicional do paragneisse, marcado por domínios quartzosos e domínios micáceos.



**Figura 5.24:** Amostra de paragneisses da Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa, encontrada nos limites da Área IX, a oeste. Destaque para os domínios micáceos intercalados com porções quartzo-feldspáticas, contendo também porfiroblastos de granada. Exemplo de feição preservada da unidade.

Localmente, foram vistos anfibólios aciculares na forma de agregados, associados a porções quartzo-feldspáticas dessas rochas, sendo possíveis ocorrências de actinolita, geradas por meio de processos de alteração hidrotermal em

rochas calcissilicáticas, conforme visto ao longo da unidade nas demais subáreas (Figura 5.25).



**Figura 5.25:** (A) Agregados de anfibólio fino acicular, possivelmente actinolita. (B) Destaque para associação com os veios de quartzo, que favorecem a percolação de fluídos hidrotermais e formação de minerais calcissilicáticos.

### 5.2.2. Ortognaisses Mara Rosa

Dentre as rochas metaplutônicas do Arco Magmático Mara Rosa, apenas o Ortognaisse Amarolândia aflora no contexto da Área X. Essa unidade ocorre regionalmente como larga faixa NE-SW, entretanto, na Área X, ela ocorre como pequenos corpos envoltos pelas rochas da Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa. Nesta área o ortognaisse Amarolândia possui composição tonalítica, a qual representa uma fácies subordinada a caráter diorítico, comum nas áreas adjacentes do projeto.

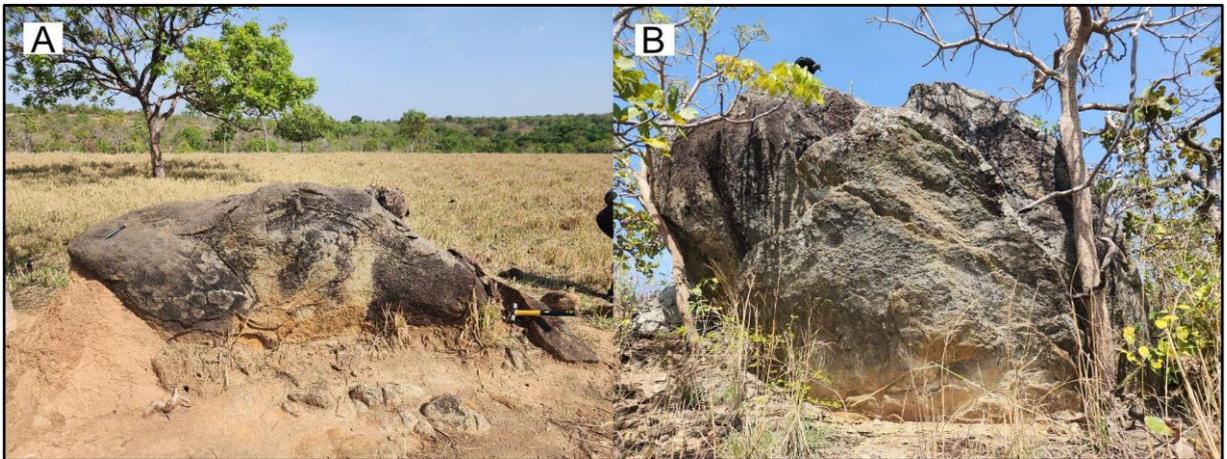
#### ***Ortognaisse Amarolândia (NP3y2am)***

A unidade aflora apenas no extremo SW da Área X, correspondendo a cerca de 1% do total da área. É caracterizada por afloramentos em extensos pastos limpos, com áreas de vegetação densa em canais de drenagem em menor quantidade (Figura 5.26).

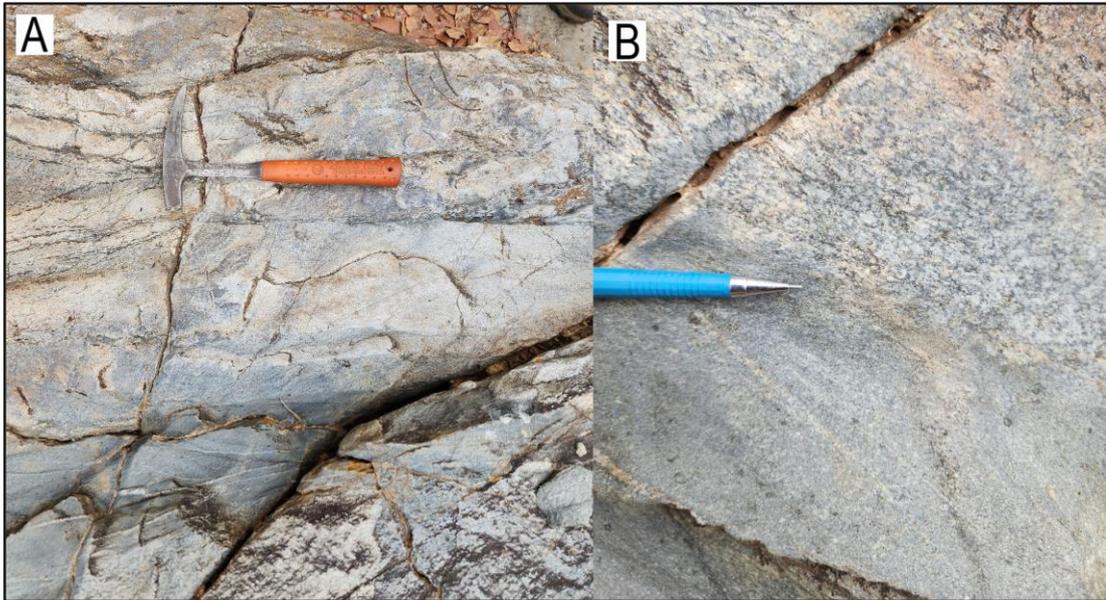
O relevo associado à unidade é, assim como a maior parte da porção central e oeste da área, predominantemente, suave e ondulado, típico de superfície de

aplainamento, com eventuais morros isolados. Em função dos perfis de Plintossolos Pétricos concrecionários (FFc) que recobrem a ocorrência desta unidade na Área X, poucos afloramentos *in situ* foram descritos em campo, ocorrendo na forma de blocos *in situ* e lascas (Figura 5.26B), bem como blocos rolados ao longo de canais de drenagem. A unidade possui resposta de coloração azul a azul claro, bem definida, na composição RGB (K, eTh e eU) da gamaespectrometria ternária, indicando alto em eU.

O Ortognaisse Amarolândia pode ser definido como ortognaisse tonalítico a granodiorítico, com fácies diorítica subordinada. De maneira geral, as rochas observadas na Área X são mesocráticas, de coloração acinzentada e granulação fina, com textura granolepidoblástica e estrutura definida por bandamento gnáissico com intercalação de domínios micáceos, ricos em biotita, e domínios quartzo feldspáticos (Figura 5.27).



**Figura 5.26:** Padrão de relevo e afloramento do Ortognaisse Amarolândia no extremo SW da Área X. (A) Afloramento na forma de blocos *in situ*. (B) Lascas imbricadas do Ortognaisse Amarolândia, com alto ângulo de mergulho.



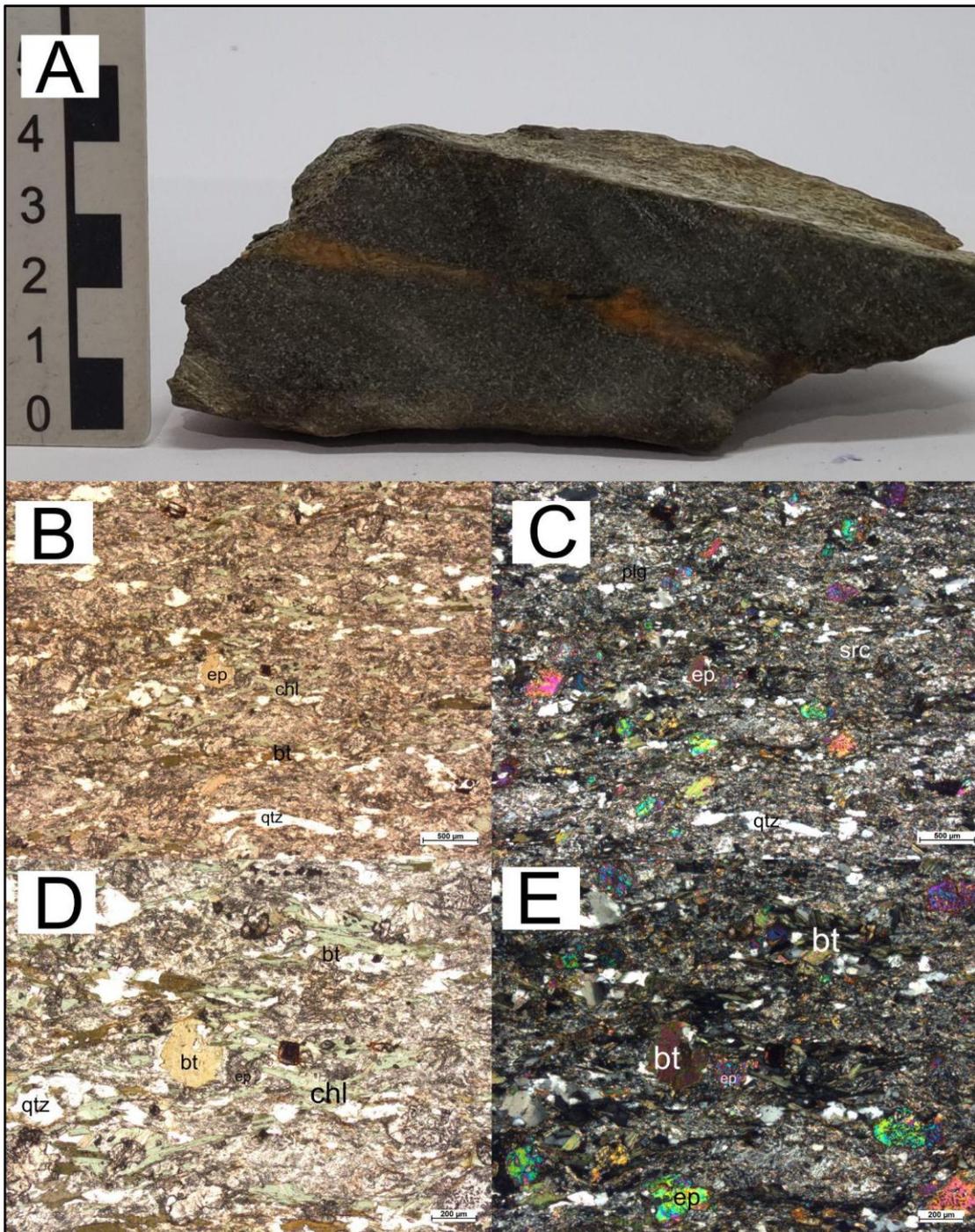
**Figura 5.27:** Aspectos gerais do Ortognaisse Amarolândia, no contexto da Área X. (A) Foliação submilimétrica. (B) Detalhe para o bandamento composicional incipiente, resultado de segregação metamórfica.

As rochas da unidade são compostas por quartzo (~20%), plagioclásio (~20%), biotita (~15%), clorita (20%), duas gerações de epidoto (~15%), sericita (~5%), hematita (3%) e titanita (~2%), sendo que clorita, hematita e uma das gerações de epidoto estabelecem a associação de minerais secundários. Possuem granulação fina a média, variando de 0,2 mm a 1 mm, com domínios ricos em biotita intercalados com domínios quartzo-feldspáticos (Figura 5.28).

Os cristais de quartzo compõem a matriz da rocha, junto às micas e ao plagioclásio. Ocorre também na forma de agregados de subgrãos com extinção ondulante, evidenciando processo de recristalização dinâmica com fraturamento e estiramento. O plagioclásio possui teor de anortita por volta de 60%, podendo ser classificado como andesina/labradorita. Epidoto ocorre como agregados prismáticos, associados aos domínios micáceos, e também em agregados granulares anédricos rotacionados. A configuração sugere a presença de duas gerações de epidoto, sendo a primeira associada ao pico metamórfico da rocha, e a segunda ao processo secundário de epidotização. Já a biotita é de natureza primária, ocorrendo também como porfiroblastos sin-tectônicos, rotacionados e cloritizados.

A elevada quantidade de epidoto na forma de agregados granulares anédricos, e sua associação à matriz fina da rocha, indica que os processos de epidotização e

cloritização observados podem ser associados a retrometamorfismo na zona da clorita, marcado também pelo processo de saussuritização do plagioclásio.



**Figura 5.28:** Aspectos gerais do ortogneisse tonalítico TF22-X-130, associado ao Ortogneisse Amarolândia, na porção SW da Área X. (A) Gnaiss rico em biotita cloritizada. (B) e (C) Fotomicrografias (2,5x) mostrando a foliação marcada por domínios lepidoblásticos intercalados com domínios granoblásticos. (D) e (E) Fotomicrografias (5x) destacando as fitas de quartzo orientadas paralelamente à foliação, bem como evidências do processo de cloritização secundária e da rotação dos cristais mais grossos de epidoto.

Levando em consideração as texturas presentes na rocha, duas associações metamórficas foram identificadas. A primeira, representada por biotita, quartzo, plagioclásio e epidoto (prismático), está associada ao pico metamórfico em fácies anfíbolito. Já a segunda, formada por clorita, epidoto (anedral) e sericita, representa um processo retrometamórfico. Além disso, os agregados de epidoto anedral encontram-se rotacionados, tendo caráter sin-tectônico e indicando processo deformacional com componente de cisalhamento simples, de baixa intensidade.

Levando em consideração a composição mineralógica das rochas, bem como suas características texturais, foi possível classificá-las como ortognaisses tonalíticos, metamorfizados em fácies anfíbolito e retrometamorfizados, provavelmente em fácies xisto verde. As rochas derivam de um protólito ígneo intermediário, de composição tonalítica. É importante salientar que existem variações composicionais do Ortognaisse Amarolândia nas áreas adjacentes, sendo, no geral, de composição diorítica. As variações de fácies desta unidade foram melhor caracterizadas pelas áreas adjacentes, onde afloram em maior extensão espacial e com maior diversidade mineralógica e textural.

### **5.3. Grupo Serra da Mesa (NP3sm)**

O Grupo Serra da Mesa aflora no extremo sudeste da Área X, correspondendo a 4% de seu total. Apresenta geometria irregular, fortemente associada às cotas topográficas elevadas. Esse aspecto se deve ao seu caráter posterior, com protólito sedimentar depositado acima das rochas da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte, à qual está sobreposta. Apresenta foliação com mergulho predominantemente para SE, em contraste com a tendência de mergulho regional para NW.

A unidade é de ocorrência localizada no contexto do projeto, associada à Serra Amaro Leite e seus arredores. Seus aspectos fisiográficos são homogêneos, tendo expressão topográfica marcante. Esse aspecto torna a unidade pouco ocupada pela atividade agropecuária, mantendo a vegetação arbórea densa de cerrado nativo, associada a solos pouco desenvolvidos, como neossolos. O Grupo Serra da Mesa é marcado por afloramentos na forma de blocos rolados e blocos *in situ*, com xistos sendo por vezes encontrados ao longo de estradas de terra e cortes de estrada, e quartzitos na forma de pequenos paredões de rocha exposta ao longo das encostas de morros. Verificou-se nítida relação entre as rochas da unidade e o relevo

associado, de modo que as cotas intermediárias do relevo são dominadas por xistos (400 m), enquanto os quartzitos representam as porções mais elevadas (600 m), devido à maior resistência aos processos erosivos. Já sua assinatura geofísica é pouco contrastante nos produtos magnetométricos, porém marcada por tonalidades branco-azuladas na composição RGB ternária (K, eTh e eU) da gamaespectrometria, refletindo seu caráter psamo-pelítico aluminoso.

Suas rochas são de natureza metassedimentar psamo-pelítica, sendo identificados quartzo-muscovita xistos de granulação média a grossa, sobrepostos por quartzitos finos a médios. Os quartzo-muscovita xistos apresentam pouca variação composicional, com presença de clorita, biotita e magnetita em quantidades variadas, além de turmalina como mineral acessório (Figura 5.29). As rochas apresentam foliação do tipo xistosidade, com espaçamento milimétrico, tendo domínios granoblásticos quartzosos intercalados com domínios lepidoblásticos. Já os quartzitos são predominantemente puros e de granulação fina, com ocorrências subordinadas de quartzitos micáceos, com presença de muscovita, e quartzitos feldspáticos, de granulação média. Embora não apresentem paragêneses diagnósticas completas, suas características mineralógicas e deformacionais indicam condições metamórficas em fácies xisto verde, assim como as unidades do Arco Magmático Campinorte.



**Figura 5.29:** Aspectos gerais das rochas associadas ao Grupo Serra da Mesa. (A) Quartzito de granulação fina com presença de muscovita. (B) Quartzo-muscovita xisto com intercalações de domínios granoblásticos quartzosos e domínios lepidoblásticos.

#### 5.4. Rochas Intrusivas Tardi a Pós-tectônicas

As unidades de rochas intrusivas tardi a pós-tectônicas do Projeto Mara Rosa, no contexto da Área X, são representadas por um corpo dos Leucogranitos Bom Jesus. Sua ocorrência se dá na porção NW da área, nos arredores do limite com as áreas V, VI e IX.

##### 5.4.1. Leucogranitos Bom Jesus (NP3γ3I)

Os Leucogranitos Bom Jesus correspondem a cerca de 5% da Área X. A unidade está intrudida em meio à Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa e aos Ortognaisses Mara Rosa. Afloram principalmente na forma de extensos lajedos às margens da rodovia GO-347, o que facilitou a descrição e a caracterização da unidade na Área X (Figura 5.30). Os leucogranitos ocorrem em relevo pouco expressivo, predominantemente suave e ondulado, característico de superfície de aplainamento, sendo que o corpo possui poucos quilômetros de extensão, formando pequenos morros com geometria condicionada pela deformação do Arco Magmático de Mara Rosa, ou seja, possuem alongação NE-SW com eventuais inflexões e deformações E-W.



**Figura 5.30:** Afloramento de granito (Bom Jesus) na forma de lajedado, localizado na margem sul da GO-347, na porção norte da Área X.

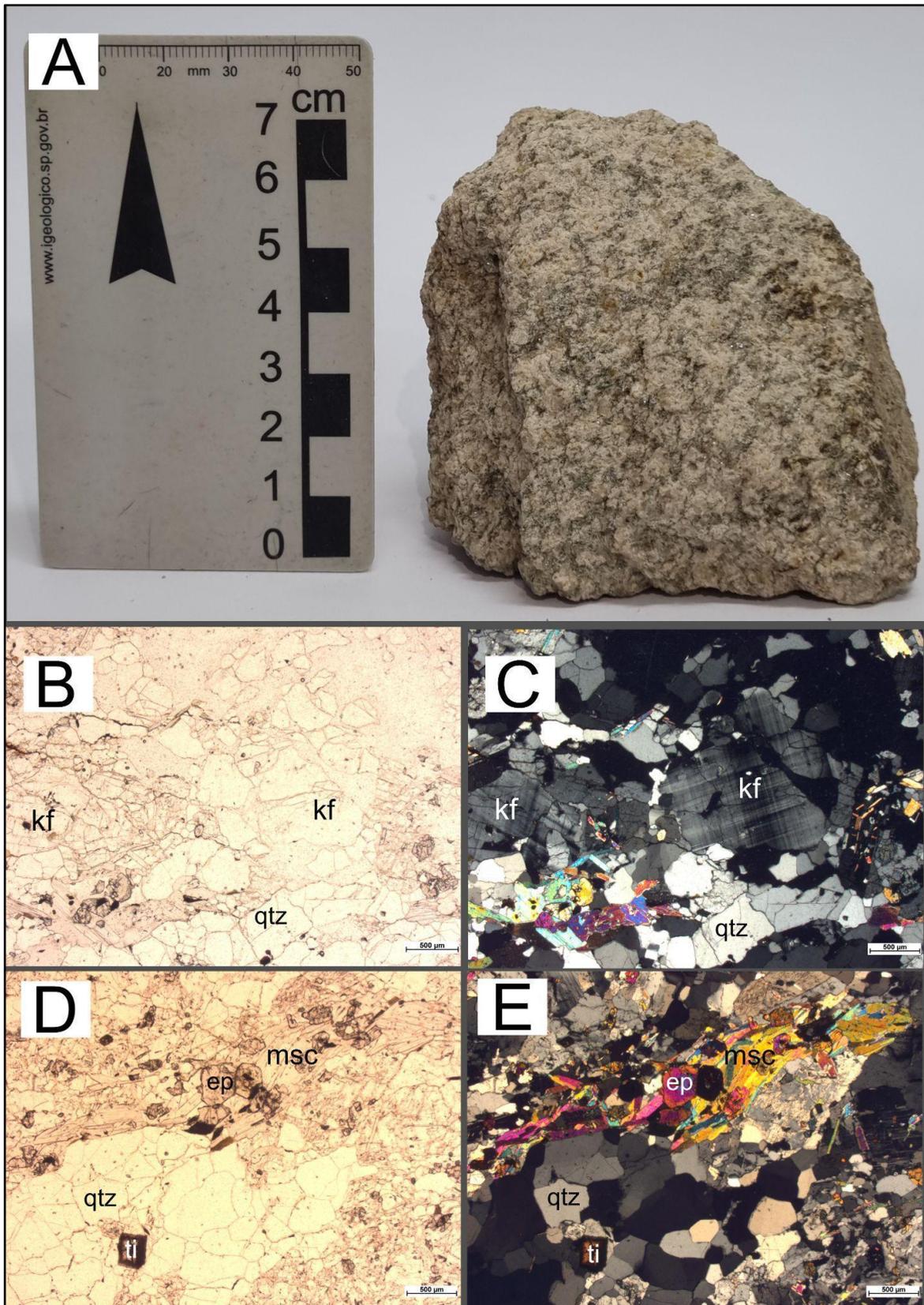
Dentre os produtos gamaespectrométricos, em composição RGB (K, eTh e eU), os corpos apresentam resposta de coloração branca, esperada para corpos tardi e pós-tectônicos, com alta resposta em ambos os radioelementos. A unidade é recoberta por vegetação rasteira e solos rasos (neossolos), sendo comum a presença de afloramentos contínuos *in situ*. Litologicamente, pode ser descrito como biotita-muscovita granito, de granulação fina à média, localmente variando para muscovita granito (Figura 5.31).

Microscopicamente, os granitos são compostos por quartzo (~30%), plagioclásio (andesina) (~25%), microclínio (~20%), muscovita (10%), biotita (~5%) e epidoto (~10%), com rutilo, allanita e titanita como minerais acessórios. De maneira geral, a rocha é holocristalina equigranular e possui granulação fina à média, variando de 0,1 mm a 1 mm, com textura granular xenomórfica.

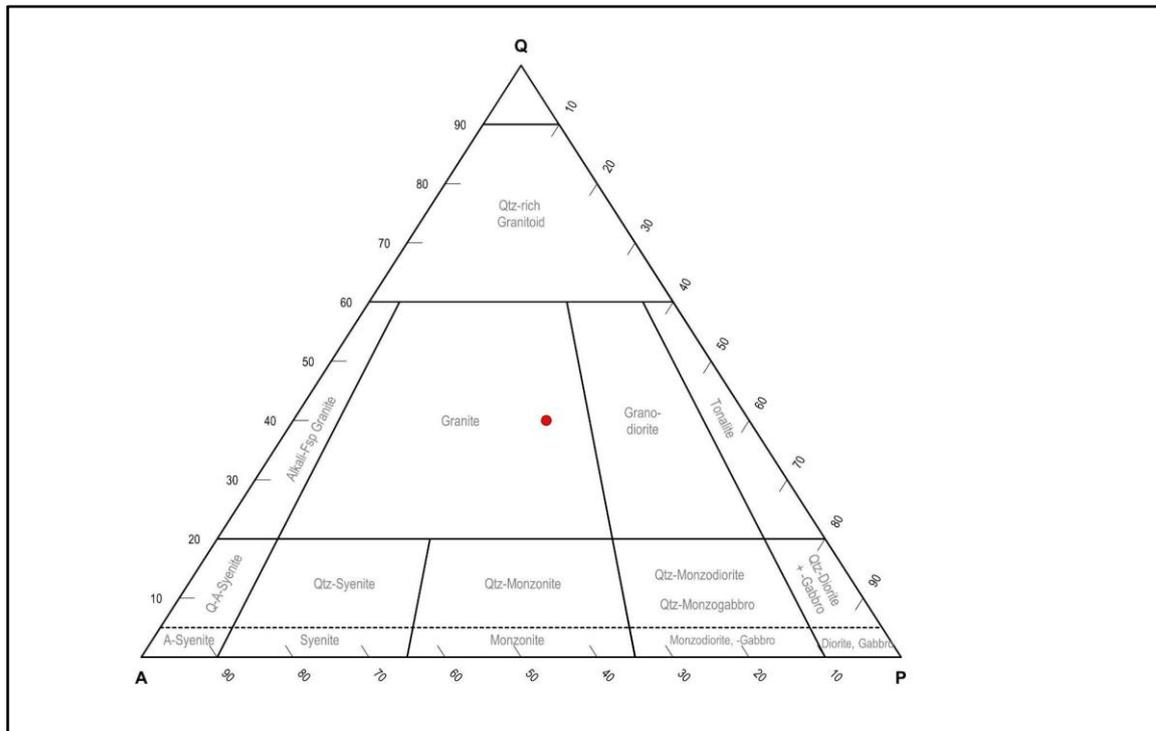
Possui trama granular milimétrica, estabelecida pelos cristais de quartzo, plagioclásio e microclínio, com contatos poligonais entre si. Plagioclásio possui teor de anortita variando entre 30% e 35%, caracterizando-o como andesina. Além disso, muscovita e biotita ocorrem em meio à trama principal, com orientação ao longo dos planos de foliação incipiente da rocha. Epidoto ocorre de maneira esparsa, na forma de cristais anedrais, associados aos filossilicatos e ao plagioclásio (Figura 5.31D e E). Rutilo, allanita e titanita ocorrem como acessórios, estando, por vezes, a allanita com bordas alteradas para epidoto, indicando ação de processos metamórficos.

As rochas da unidade são pouco deformadas e apresentam assembléia ígnea preservada (quartzo, andesina, microclínio, biotita, rutilo, allanita e titanita). Porém, há também uma segunda associação mineralógica, representada por sericita e epidoto, resultante de processos de saussuritização da andesina. Tanto a sericita quanto o epidoto apresentam características de minerais neoformados, desenvolvidos ao longo dos filossilicatos na foliação metamórfica, além de sobrecrescidos nos cristais primários de plagioclásio.

Assim, levando em consideração a foliação penetrativa descrita na rocha, é possível inferir que estas rochas foram submetidas a metamorfismo de baixo grau, representado pela associação metamórfica de muscovita + epidoto, juntamente com o desenvolvimento de foliação metamórfica incipiente. Entretanto, tendo em vista o alto nível de preservação da mineralogia primária, optou-se por classificar a rocha, segundo critérios ígneos, como monzogranito (Figura 5.32).



**Figura 5.31:** Aspectos gerais do Leucogranito Bom Jesus TF22-X-19. (A) Amostra de mão com textura inequigranular e granulação fina a média. (B) e (C) Fotomicrografias (2,5x) destacando a trama granular milimétrica. (D) e (E) Fotomicrografias (2,5x) com destaque para os cristais de muscovita com epidoto associado, e presença de titanita como acessório.

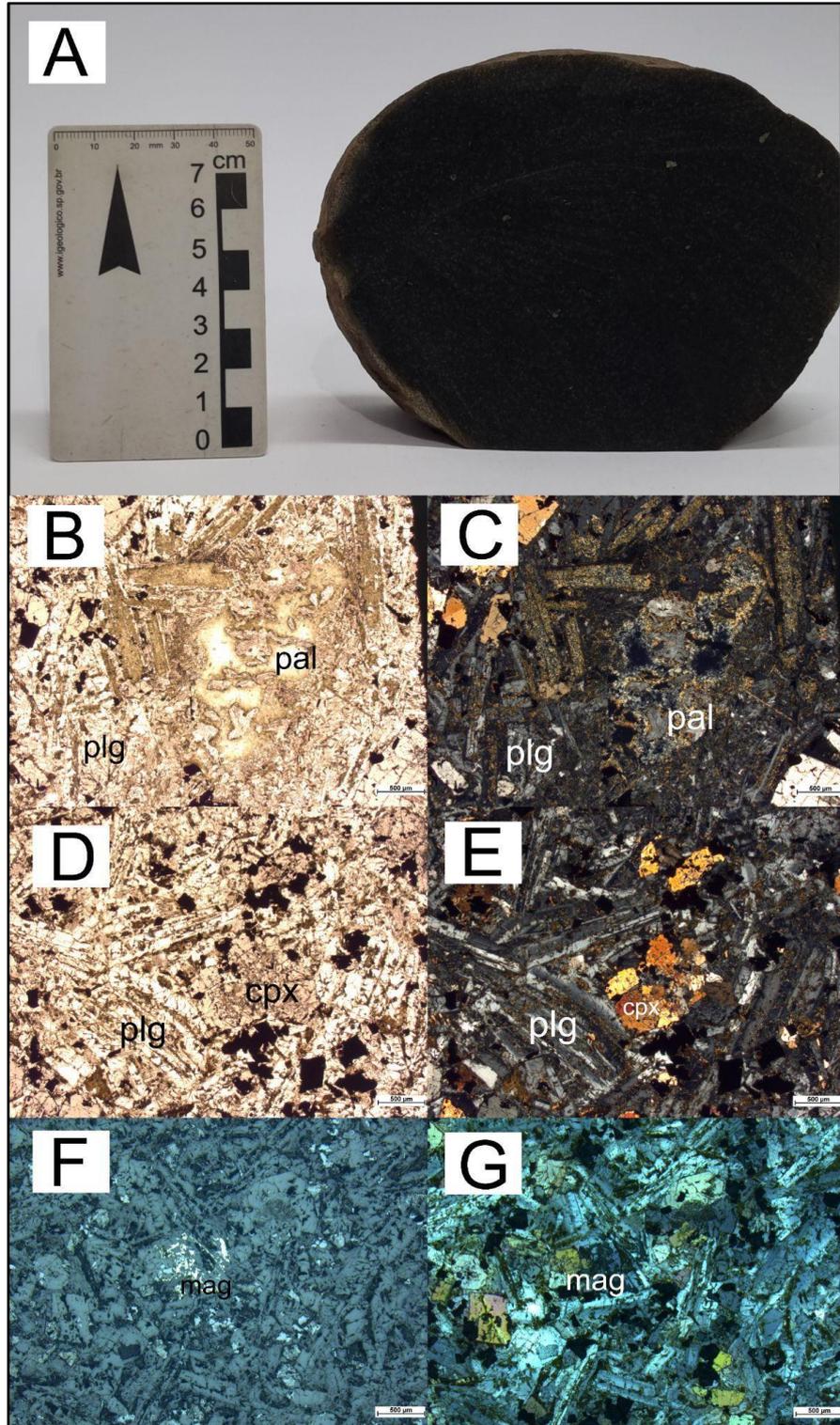


**Figura 5.32:** Diagrama QAP (Streckeisen, 1967) para classificação de rochas plutônicas. O círculo vermelho representa a composição modal da amostra TF22-X-19, classificada como monzogranito.

#### 5.4.2. Rochas Intrusivas Básicas

Em meio às rochas metavulcânicas da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte, foi descrita a amostra TF22-VI-201 (Figura 5.33), de ocorrência pontual na forma de blocos rolados. A rocha é de natureza hipoabissal (subvulcânica) e composição básica, sendo classificada como diabásio. É composta por plagioclásio (~55%), augita (~20%), magnetita (~10%), quartzo (~5%) e calcopirita (<1%). Observa-se também palagonita (~10%), possivelmente gerada como resultado da alteração e hidratação de vidro vulcânico original.

A rocha possui cor preta, mantendo o mesmo aspecto em sua superfície de alteração intempérica. É marcada por esfoliação esferoidal, típica de rochas ígneas. Possui granulação fina e textura hipocristalina, com cristais equigranulares de plagioclásio, augita e quartzo estabelecendo sua trama principal. Os interstícios são preenchidos por palagonita, resultante da hidratação do vidro, caracterizando arranjo originalmente intersetal/intergranular. Seus cristais variam de subedrais (quartzo e augita) a eudrais (andesina), com o plagioclásio apresentando zonação composicional, sendo, por vezes, visto com teor de An acima de 50% (labradorita).



**Figura 5.33:** Aspectos gerais do diabásio TF22-X-201, descrito na porção sul da área de estudo. (A) Seção de amostra de cor preta, granulação fina a densa e formato esferoidal. (B) e (C) Fotomicrografias (2,5x) exibindo saussuritização dos cristais de plagioclásio e alteração de vidro para palagonita. (D) e (E) Fotomicrografias (2,5x) destacando o arranjo característico da rocha, com textura intergranular, formada por ripas de plagioclásio com até 0,7 mm de comprimento, contendo cristais de augita e magnetita entre eles, além de quartzo. (F) e (G) Fotomicrografias à luz refletida (2,5x), exibindo a ocorrência de magnetita disseminada na rocha.

Grande parte dos cristais de plagioclásio encontra-se alterada para epidoto, caracterizando processo secundário de epidotização e/ou saussuritização. Vale notar que, no caso dos cristais zonados, a alteração se desenvolve preferencialmente em suas porções internas, indicando possível variação de núcleo cálcico para bordas sódicas. Já os cristais de augita apresentam geminação simples. À luz refletida, verifica-se que os cristais de magnetita são submilimétricos, com formas subedrais a euedrais cúbicas/octaédricas, englobados pelos cristais maiores de plagioclásio, na forma de textura poiquilítica. Isto indica que sua formação se deu anteriormente ao plagioclásio, tornando a magnetita mineral primário da rocha. Já a calcopirita encontra-se preferencialmente nos espaços intersticiais, pouco associada à magnetita.

A rocha apresenta estrutura maciça, sem indícios de deformação, além de pouca alteração secundária de seus minerais originais. Essas características indicam, possivelmente, tratar-se de dique jovem, intrusivo em meio ao embasamento paleoproterozoico. Entretanto, tendo em vista que esta é a única ocorrência dessa rocha no Projeto Mara Rosa, vista apenas na forma de blocos rolados, bem como sua proximidade com o limite sul da Área X, infere-se que seus afloramentos *in situ* se encontrem a sul, fora dos limites mapeados.

## **6. GEOLOGIA ESTRUTURAL**

Este capítulo contempla a apresentação da análise estrutural realizada na Área X, incluindo a apresentação do contexto estrutural do Projeto Mara Rosa e dos dados levantados em campo na Área X, bem como as descrições e interpretações das estruturas geológicas observadas. Além disso, esta seção inclui também a caracterização dos eventos deformacionais evidenciados na Área X e sua relação espacial, temporal e metamórfica.

### **6.1. Domínios Estruturais do Projeto Mara Rosa**

A definição de domínios estruturais para a região mapeada se deu com base em critérios tipológicos, espaciais e geométricos relativos às estruturas descritas. Os parâmetros incluíram a orientação preferencial das estruturas planares e lineares observadas, sua natureza, idade e estilo deformacional predominante, correlacionados aos aspectos geofísicos e de sensoriamento remoto.

A área do Projeto Mara Rosa possui estruturação heterogênea, com registro de eventos deformacionais paleo a neoproterozoicos, marcados por lineamentos quilométricos, de orientação preferencial N-S e NE-SW/E-W, respectivamente, conforme evidenciado no Capítulo 3. Neste cenário foram definidos quatro domínios estruturais regionais para as áreas de estudo, conforme mostrado na Figura 6.1. Os domínios estabelecidos incluem: Campinorte, localizado no extremo sudeste da região mapeada (Área X); Mara Rosa, predominante no Projeto (todas as áreas); Bom Jesus, seccionando a porção central do domínio Mara Rosa em geometria sigmoidal (áreas IV a IX e XI); e Transbrasiliano, descrito na porção noroeste (áreas I, II e VII). A seguir, serão detalhadas as características descritivas regionais de cada um dos domínios.

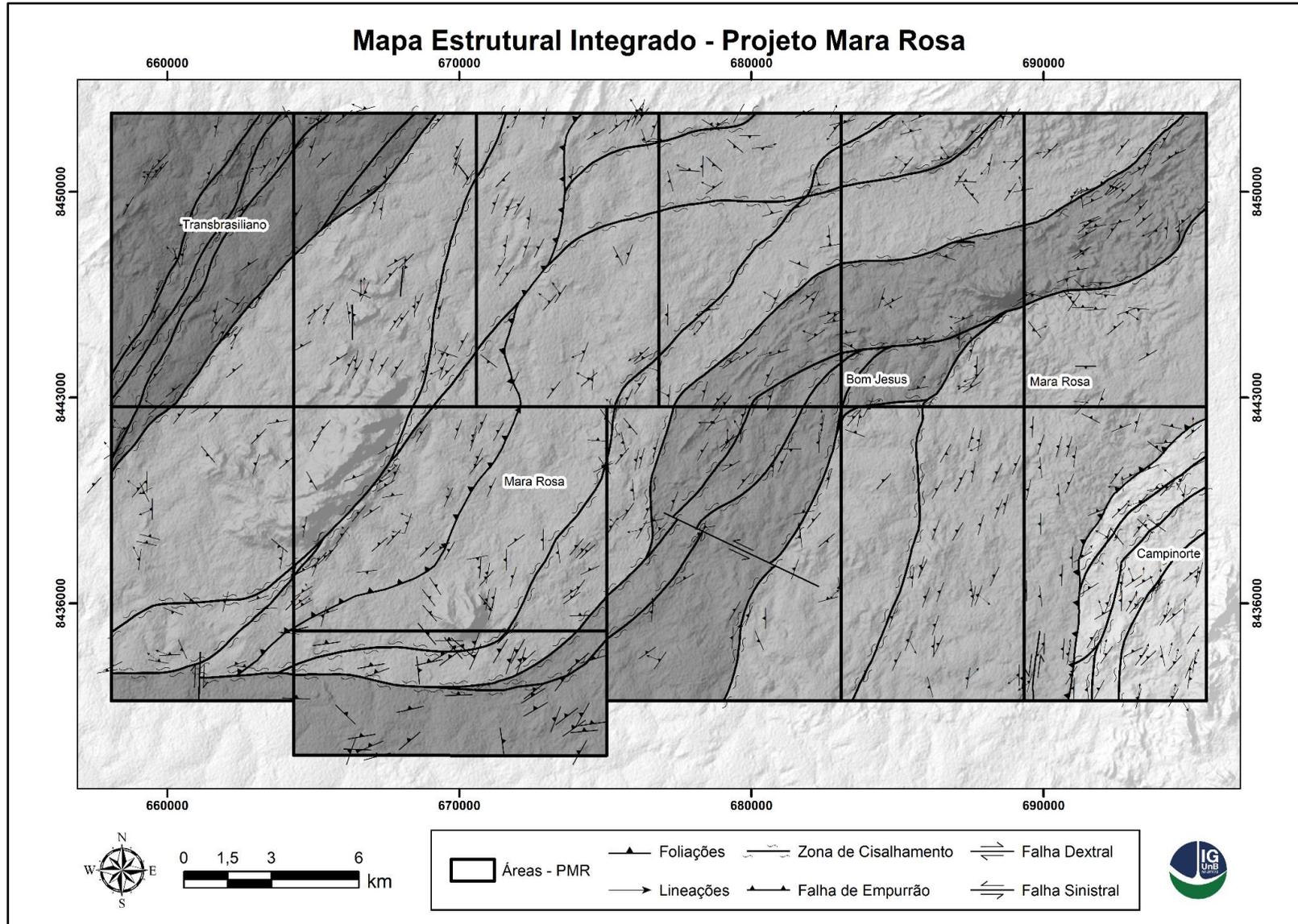


Figura 6.1: Mapa Estrutural Integrado do Projeto Mara Rosa, evidenciando os domínios estruturais definidos para a região.

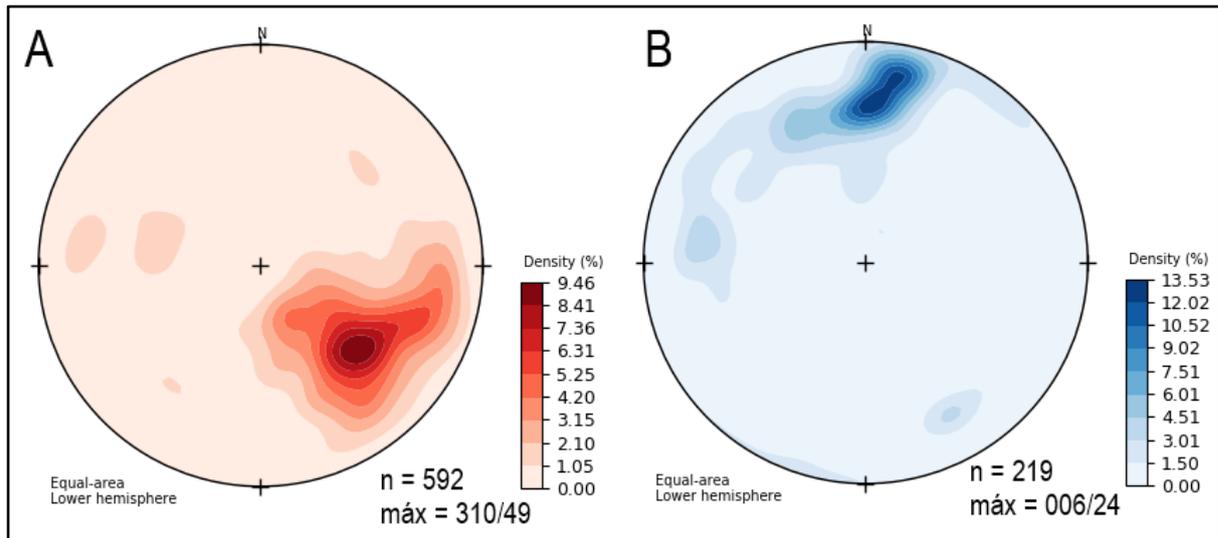
### 6.1.1. Domínio Campinorte

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. 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.

O 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 centro-norte. A relação entre elas 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 rúptil-dúcteis de mesma orientação, desenvolvidos em tectônica pré-brasiliana (Oliveira, 2006). 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 (Oliveira, 2014). Esses planos apresentam mergulho variável para NW, entre 30° e 80°, conforme a proximidade com as zonas de cisalhamento Mundinho, Cajuzinho e Amaro Leite e com a Falha Rio dos Bois. Assim como a foliação anterior, o domínio NE-SW também compreende uma série de lineações de estiramento mineral, com baixo ângulo (10° a 30°) 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 bordas dos corpos graníticos da Suíte Pau de Mel. Há, ainda, associada a essa foliação, lineações de estiramento de ângulo moderado, variando de 25° a 35° para o quadrante NW. O estereograma de foliações referente a esse domínio (Figura 6.2A) evidencia as três principais direções de foliação, ambas com mergulho moderado, variando entre 45° e 60°. Já o estereograma de lineações (Figura 6.2B) demonstra caimento em baixo ângulo para norte.

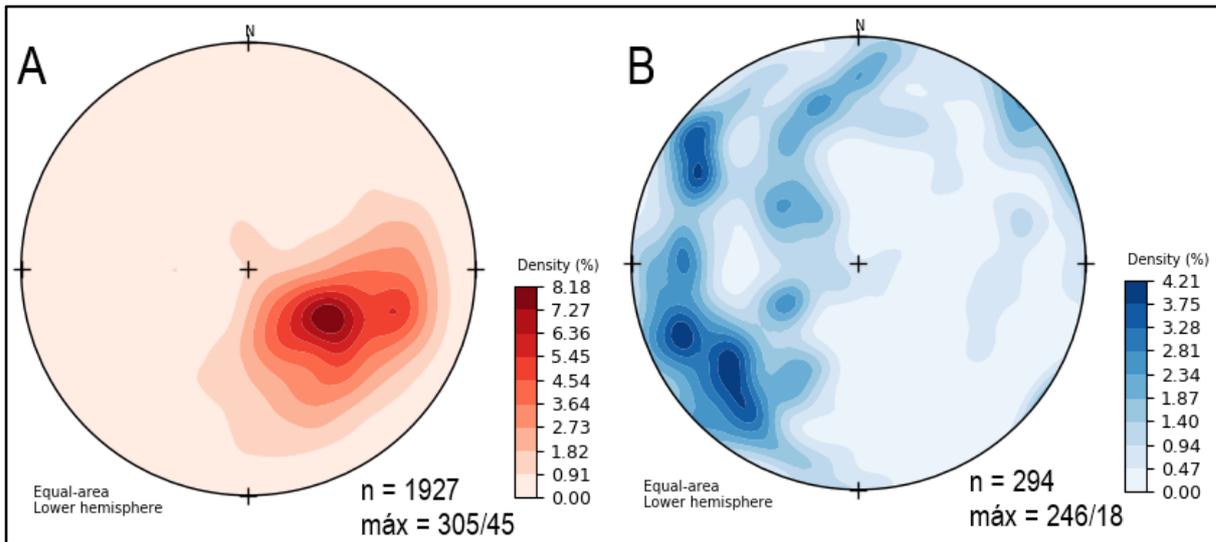


**Figura 6.2:** Estereogramas associados ao Domínio Campinorte. (A) Contornos de densidade relativos aos polos das foliações, destacando a presença das três direções preferenciais NE-SW, N-S e E-W. (B) Representação das medidas de lineação, destacando o caimento para N.

### 6.1.2. Domínio Mara Rosa

O Domínio Mara Rosa ocorre de maneira predominante ao longo da área de estudo, contemplando rochas das Sequências Metavulcanossedimentares Santa Terezinha e Mara Rosa, além dos Ortognaisses Mara Rosa e a rochas intrusivas tardi a pós-tectônicas. Esse domínio é limitado pela falha Rio dos Bois, a leste, e pela Zona de Cisalhamento Varalzinho, à oeste, sendo seccionado pelo corredor de cisalhamento do Domínio Bom Jesus em sua porção central (ZCs Serra de Bom Jesus e Rio Formiga). Em meio ao domínio são encontradas as Zonas de Cisalhamento Serra do Faina e Rio Formiguinha, entretanto não marcam limites entre domínios, pois não alteram significativamente o padrão estrutural regional.

As foliações do Domínio Mara Rosa são de natureza diversa, marcadas por foliação milonítica, bandamento composicional e xistosidade. Apresentam duas direções preferenciais: (i) NE-SW, predominante em sua porção oeste, e (ii) N-S, de ocorrência subordinada e com maior expressão a leste, nas proximidades da falha Rio dos Bois. As foliações de direção NE-SW possuem mergulho entre 30°-60° para NW, enquanto as foliações N-S apresentam mergulhos acima de 60° (Fig. 6.3A) para W. Já suas lineações apresentam direções variadas, com maiores tendências de caimentos em baixos ângulos (15° a 30°) para SW e, de maneira menos expressiva, lineações para NW (10° a 20°), especialmente na porção oeste do domínio.

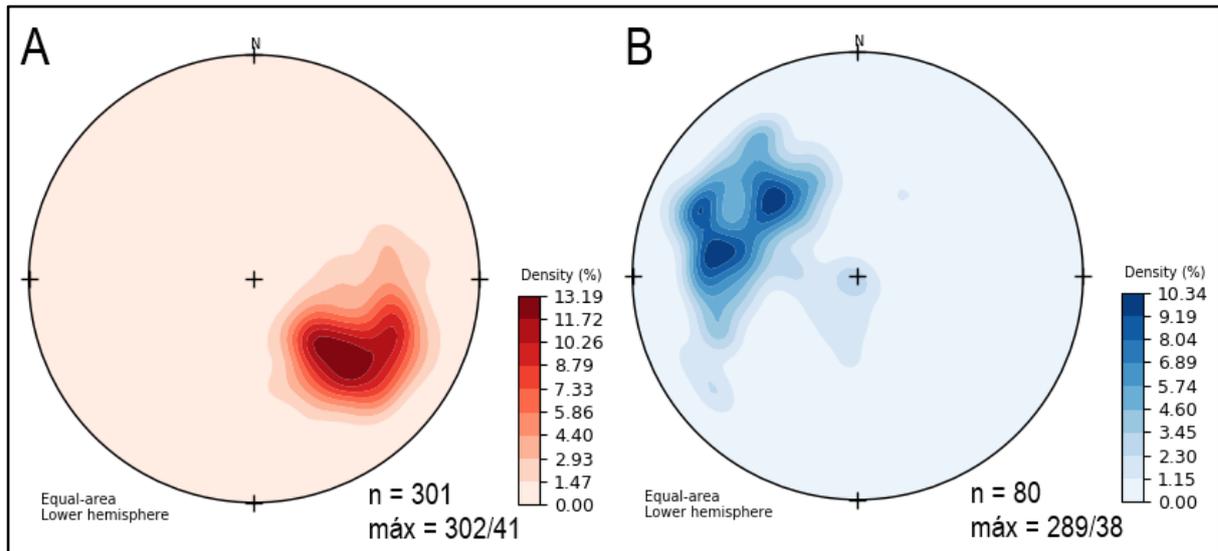


**Figura 6.3:** Estereogramas associados ao Domínio Mara Rosa. (A) Contornos de densidade relativos aos polos das foliações, destacando a presença das duas direções preferenciais NE-SW e N-S. (B) Representação das medidas de lineação, destacando as duas direções principais de caimento das lineações, a saber, direção SW e NW, com ligeiro predomínio de caimentos para SW.

### 6.1.3. Domínio Transbrasiliano

O Domínio Transbrasiliano situa-se no extremo noroeste da área mapeada, abrangendo parte das rochas metapelíticas da Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha. Seu limite com o Domínio Mara Rosa é estabelecido pela Zona de Cisalhamento Varalzinho. Esse domínio é caracterizado por padrão homogêneo de distribuição das estruturas planares, representado por foliações com direção preferencial NE-SW, com mergulhos variando de 30° a 60° para NW (Fig. 6.4A).

Suas foliações são marcadas predominantemente por xistosidade, com bandamento composicional subordinado. As foliações estão associadas a lineações de estiramento frontais, com caimento entre 20° e 70° para NW, aproximadamente (Fig. 6.4B). Localmente, nota-se a ocorrência de planos de foliação NE-SW com alto ângulo de mergulho, associados aos corredores de cisalhamento transpressivos característicos do domínio. Os corredores deformacionais são intensamente condicionados pela estruturação do Lineamento Transbrasiliano, incluindo zonas de cisalhamento como a Zona de Cisalhamento Vargem Grande.



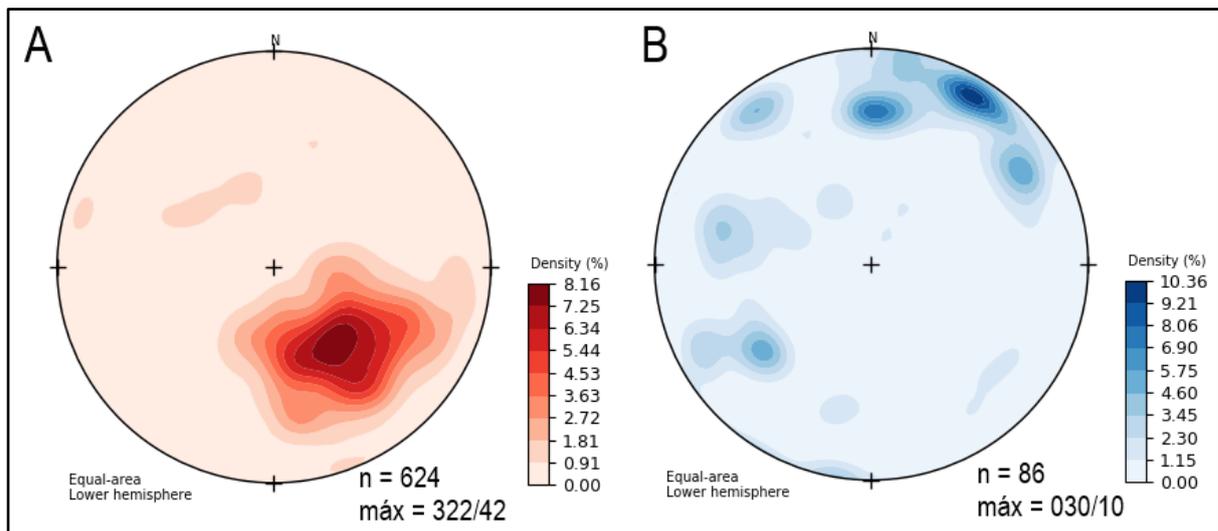
**Figura 6.4:** Estereogramas associados ao Domínio Transbrasiliiano. (A) Contornos de densidade relativos aos polos das foliações, destacando a presença de direção preferencial NE-SW. (B) Representação das medidas de lineação, destacando caimento para NW.

#### 6.1.4. Domínio Bom Jesus

O Domínio Bom Jesus é caracterizado por corredor de cisalhamento sigmoidal NE-SW, com inflexões E-W, que se estende desde o extremo SW até o extremo NE da área do Projeto Mara Rosa, seccionando o domínio Mara Rosa em sua porção central. Sua deformação afeta e condiciona especialmente as associações de rochas hidrotermais, além dos Ortognaisses Mara Rosa e a Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa. Seus limites são definidos pelas Zonas de Cisalhamento Serra de Bom Jesus e Rio Formiga, tendo forte expressão no relevo em sua porção nordeste.

As foliações do domínio são definidas por foliações metamórficas, como bandamentos composicionais e xistosidade, apresentando duas direções preferenciais, em acordo com sua geometria regional, sendo uma direção (i) NE-SW, e a outra (ii) E-W, sendo a primeira com mergulho variando entre 30° e 60° para NW e a segunda com mergulho variando entre 30° e 60° para S (Figura 6.5A). Tendo em vista a quantidade de atitudes levantadas em campo, bem como o caráter gradual de variação da direção das estruturas, nota-se uma única concentração preferencial de polos no estereograma elaborado. Entretanto, seus extremos abarcam, com densidade significativa, direções variando de E-W até NNE-SSW, com mergulhos entre cerca de 20° e 80°, refletindo a variabilidade do domínio, evidente no mapa da Figura 6.1.

Já as lineações associadas ao domínio Bom Jesus exibem caimento de baixo ângulo ( $5^\circ$  a  $15^\circ$ ) para NE e N, com variações moderadas para SW, E e NW (Figura 6.5B). As variações podem estar associadas aos corredores de cisalhamento, considerando a intensa deformação transcorrente e sigmoidal do domínio. As feições se apresentam, predominantemente, de forma oblíqua às foliações observadas, porém, por vezes, ocorrem de maneira frontal, especialmente nas regiões onde o domínio assume geometria E-W.

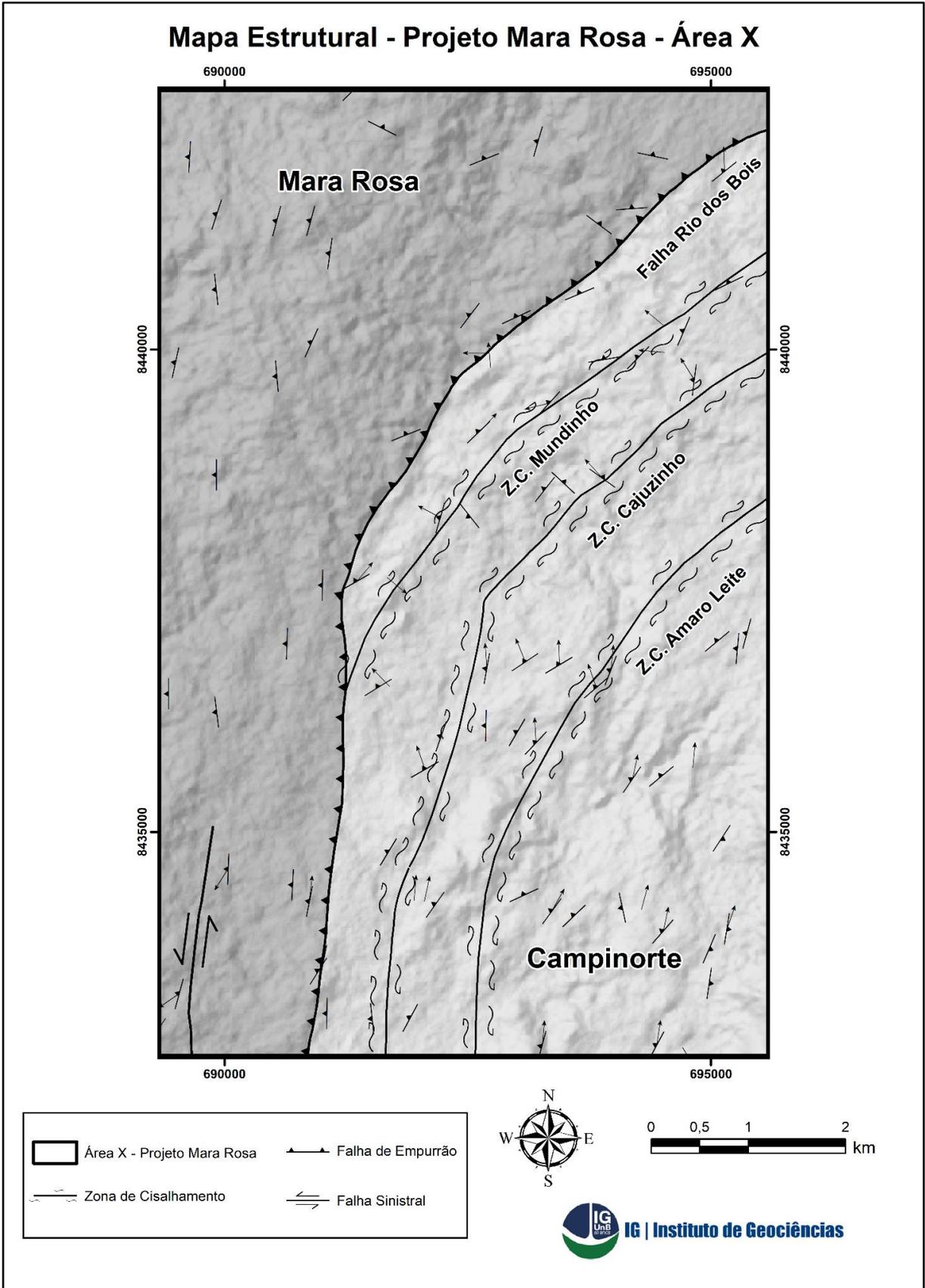


**Figura 6.5:** Estereogramas associados ao Domínio Bom Jesus. (A) Contornos de probabilidade relativos aos polos das foliações, destacando a presença de direção preferencial NE-SW abrangente, englobando as inflexões E-W associadas. (B) Representação das medidas de lineação, destacando caimento preferencial para NE/N.

## 6.2. Arcabouço Estrutural da Área X

A Área X contempla parte do Domínio Estrutural Mara Rosa e a totalidade do Domínio Campinorte (Figura 6.6), de maneira que esta seção será focada na apresentação das estruturas observadas na Área X, bem como as feições estruturais características de cada um dos domínios descritos.

As deformações associadas aos domínios presentes na Área X apresentam-se de maneiras distintas, em função das unidades às quais estão associadas. Foram levantados dados de foliações (Sn), fraturas (Fr), planos axiais (PA), eixos de dobras (b), lineações de estiramento mineral (Lx), lineações de interseção de planos (Li) e lineações de crenulação (Lc).



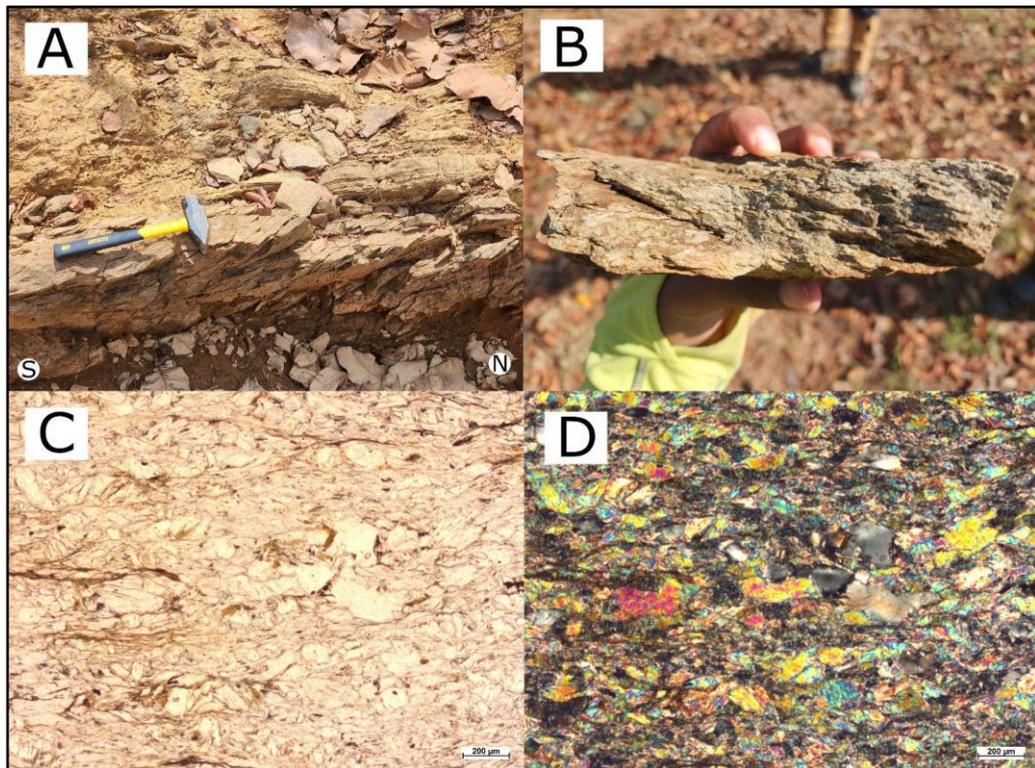
**Figura 6.6:** Mapa Estrutural Integrado da Área X, evidenciando as principais estruturas que a compõem, bem como os domínios estruturais estabelecidos.

### 6.2.1. Arcabouço Estrutural Dúctil

#### Foliações

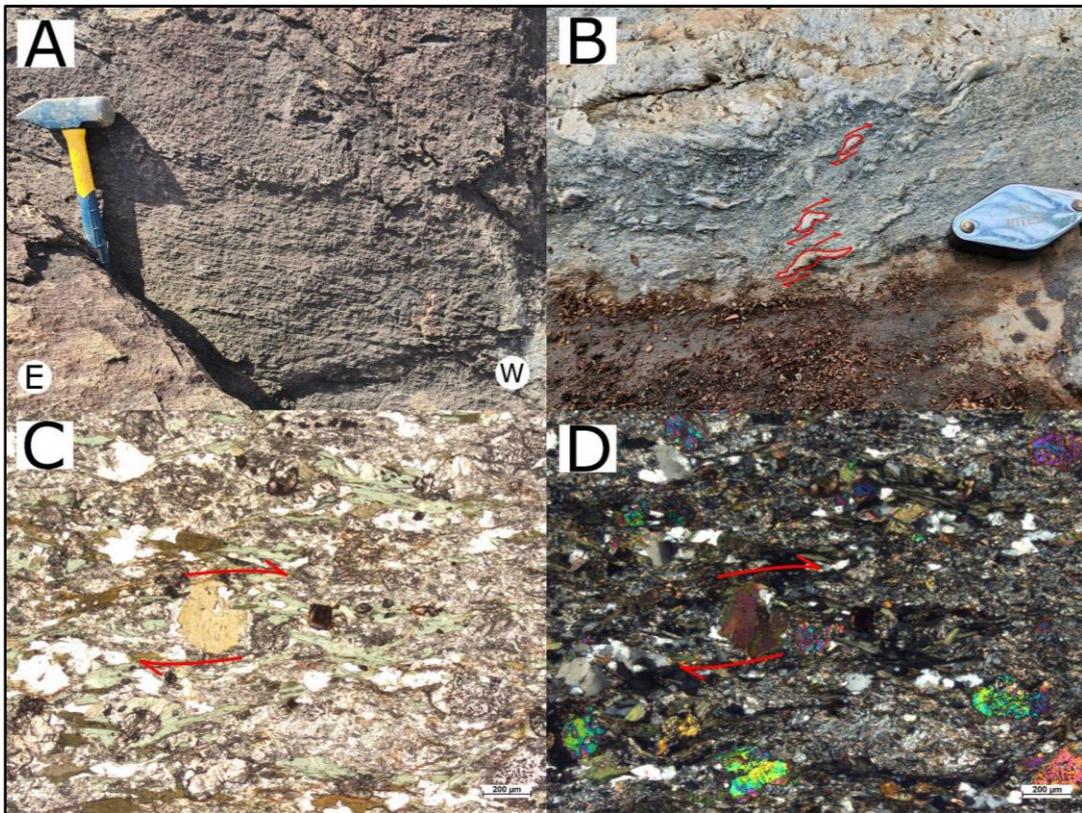
As rochas do Domínio Mara Rosa, no contexto da Área X, apresentam foliações de *trend* geral NNE-SSW, com mergulho variando de 20° a 75° para NW. A foliação ocorre na forma de bandamentos composicionais tectônicos no Ortognaisse Amarolândia e como xistosidade nas rochas da Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa.

Nas rochas metassedimentares da Sequência Mara Rosa a foliação é definida por xistosidade contínua a descontínua, intercalada com domínios quartzo-feldspáticos e trilhas de subgrãos de quartzo (Figura 6.7). Já no Ortognaisse Amarolândia a foliação principal é marcada por bandamentos gnáissicos, milimétricos a centimétricos, com intercalação de domínios micáceos e domínios quartzo-feldspáticos, além de foliação milonítica centimétrica, caracterizada por domínios micáceos contornando micrólitos de quartzo, em geometria sigmoidal, evidenciada em escala microscópica. Isso define um par de foliação S-C com assimetria dextral, tipicamente associada aos gnaisses.



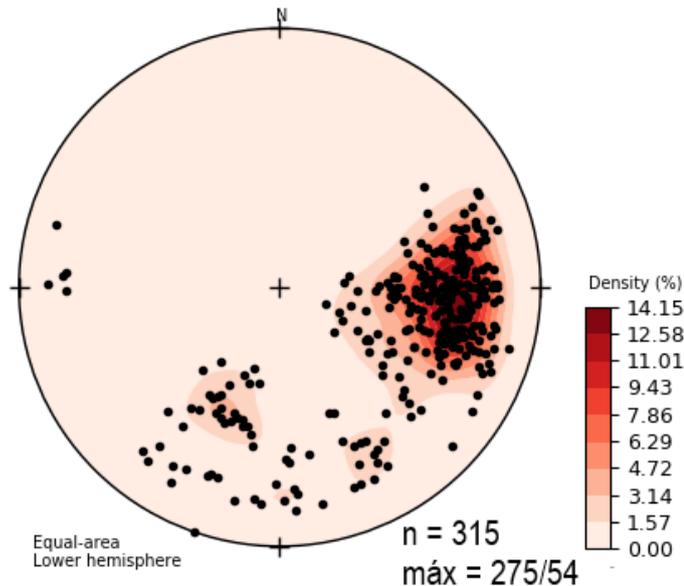
**Figura 6.7:** Aspectos gerais da xistosidade da Sequência Mara Rosa. (A) Xistosidade com direção preferencial N-S em quartzo-muscovita xisto. (B) Amostra de mão detalhando a leve crenulação dos xistos, indicativa de foliação  $S_{n+1}$ . (C) e (D) Fotomicrografias evidenciando a xistosidade e os cristais de quartzo estirados em muscovita-clorita xisto da Sequência Mara Rosa.

Além disso, outros indicadores cinemáticos, incluindo complexos grão-cauda, sombras de pressão em porfiroblastos rotacionados de epidoto e grãos fraturados, são comumente observados (Figura 6.8). Desta forma, os indicadores descritos, quando em cortes paralelos à lineação de estiramento, definem cinemática dextral com topo para NNE. A presença de epidoto sin-cinemático indica a associação retrometamórfica em fácies xisto verde relacionada a esse domínio, conforme descrito no Capítulo 5.



**Figura 6.8:** Aspectos da foliação nos Ortognaisses Amarolândia. (A) Bandamento gnáissico marcado por domínios micáceos e domínios quartzo feldspáticos. (B) Foliação milonítica com porfiroclastos de quartzo com cinemática dextral em domínio microlítico. (C) e (D) Fotomicrografias mostrando os porfiroblastos de epidoto rotacionados, com sombra de pressão indicando assimetria dextral em ortognaisse tonalítico.

O estereograma dos polos de foliação do Domínio Mara Rosa na Área X (Figura 6.9) mostra maior densidade de polos próximo a atitudes em torno de 275/54, com pouca variação na direção das camadas e no ângulo de mergulho. A tendência geral N-S observada é levemente deslocada em relação à orientação regional NW-SE do Domínio Mara Rosa. Isso ocorre por conta da proximidade com a zona de falha Rio dos Bois e com os corredores deformacionais N-S associados.

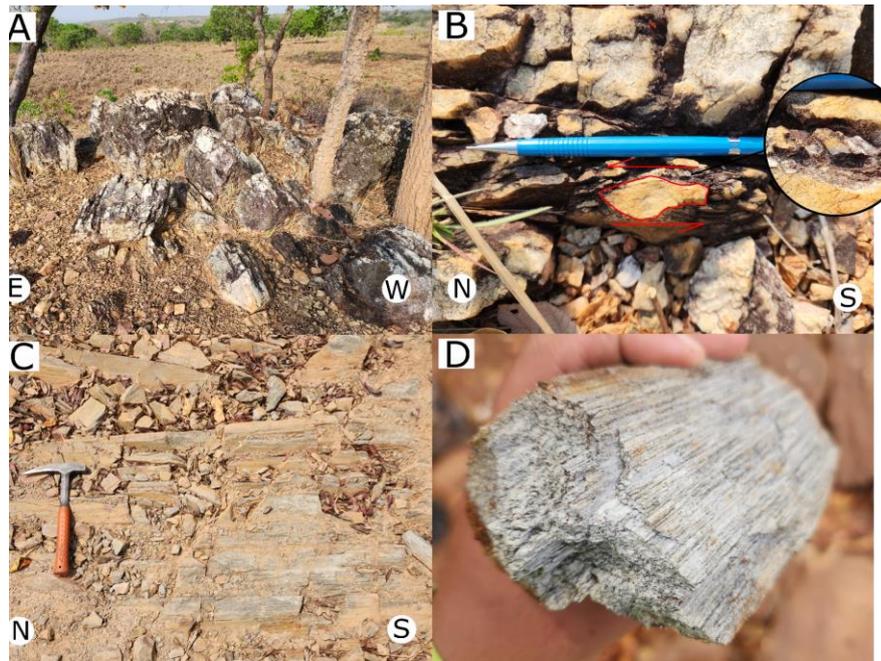


**Figura 6.9:** Estereogramas dos polos da foliação e contornos de densidade do Domínio Mara Rosa na Área X. As atitudes ilustram a tendência geral N-S, com inflexão para E-W a NW-SE.

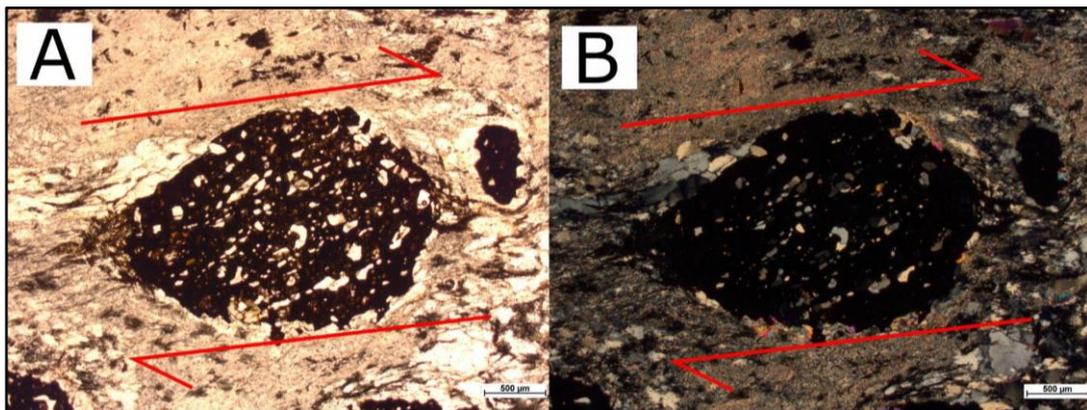
As rochas do Domínio Campinorte, por sua vez, apresentam três direções principais de foliação. São elas uma foliação N-S, observada na porção sul e oeste, uma NE-SW, presente em todo o domínio, e uma foliação E-W, evidente na porção centro-norte, as quais serão detalhadas a seguir.

A primeira delas, com direção preferencial N-S, é representada pela foliação milonítica associada aos corredores de cisalhamento atrelados à falha Rio dos Bois, marcada por cristais de quartzo e feldspato, bem como pela formação de tectonitos L. Além disso, diversos indicadores cinemáticos, como pares de foliação S-C, cristais com cauda recristalizada assimétrica e agregados de quartzo, sombras de pressão em porfiroblastos rotacionados de granada e grãos fraturados, com certo grau de assimetria dextral, são comuns (Figura 6.10; 6.11). Desta forma, quando observados em cortes paralelos à lineação de estiramento, os indicadores apresentam cinemática dextral, com transporte tectônico para norte.

Nos xistos da Sequência Campinorte a foliação N-S ocorre na forma de xistosidade contínua a descontínua, intercalada com domínios de quartzo policristalino estirado, e porfiroblastos de granada rotacionados em meio aos planos de foliação (Figura 6.10).



**Figura 6.10:** Aspectos gerais da foliação N-S associada ao Domínio Campinorte. (A) Afloramento de veio de quartzo com orientação N-S. (B) Complexo grão-cauda de caráter sinistral junto a grãos fraturados de mesma indicação cinemática. (C) e (D) Granito ultramilonítico com estiramento N-S (Tectonito L).



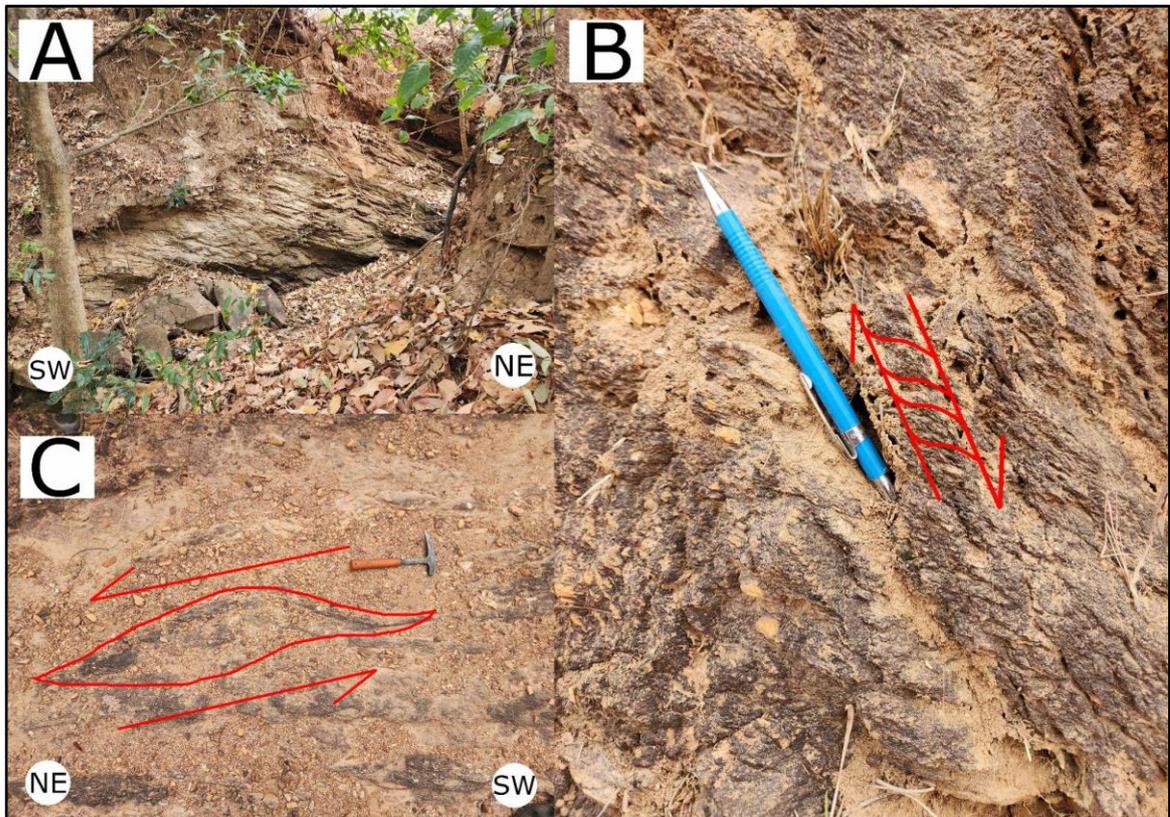
**Figura 6.11:** Fotomicrografias dos porfiroblastos de granada rotacionados, com sombra de pressão indicando assimetria dextral em granada-muscovita-quartzo xisto da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte.

A foliação NE-SW, por sua vez, ocorre em todo o Domínio Campinorte, sendo a direção mais representativa do domínio. Está associada, principalmente, à foliação milonítica dos corpos da Suíte Pau de Mel, bem como à xistosidade das rochas metassedimentares e metavulcânicas da Sequência Campinorte e do Grupo Serra da Mesa.

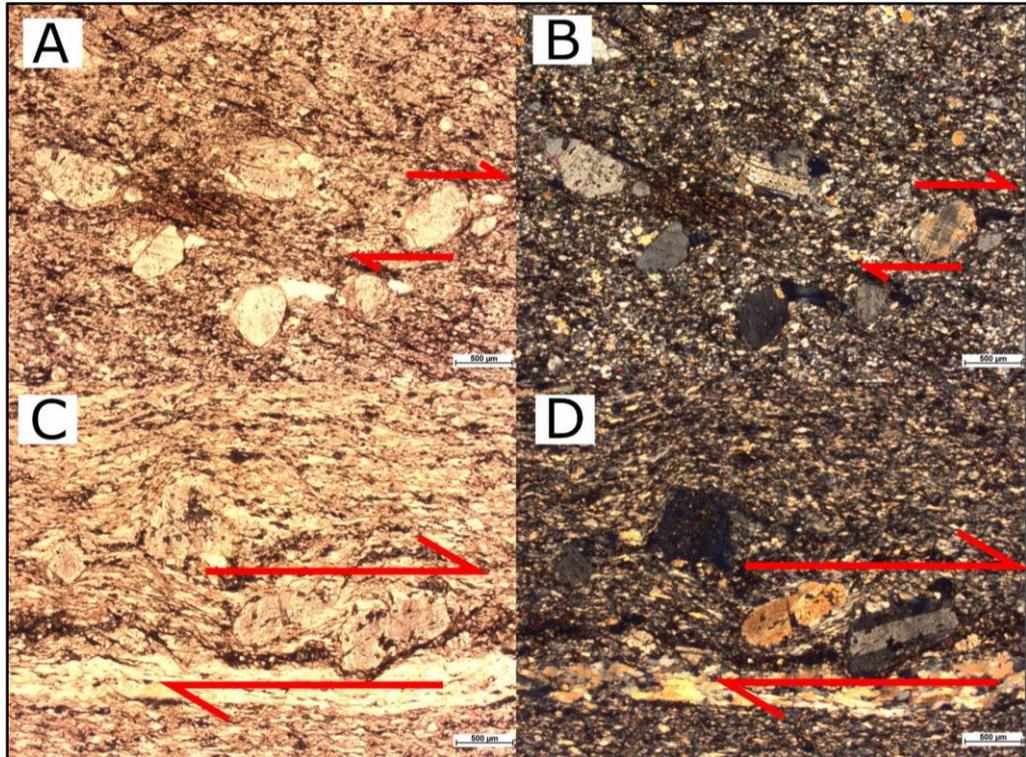
Essa foliação ocorre na forma de feições miloníticas típicas, com pares S-C e cristais com cauda recristalizada assimétrica, bem como *mica fish*, porfiroblastos de

granada e porfiroclastos quartzo-feldspáticos rotacionados, cristais de quartzo estirados e trilhas de subgrãos, nódulos de quartzo sigmoidais com cinemática sinistral, localmente dextral, e diversos grãos fraturados (Figuras 6.12 a 6.14).

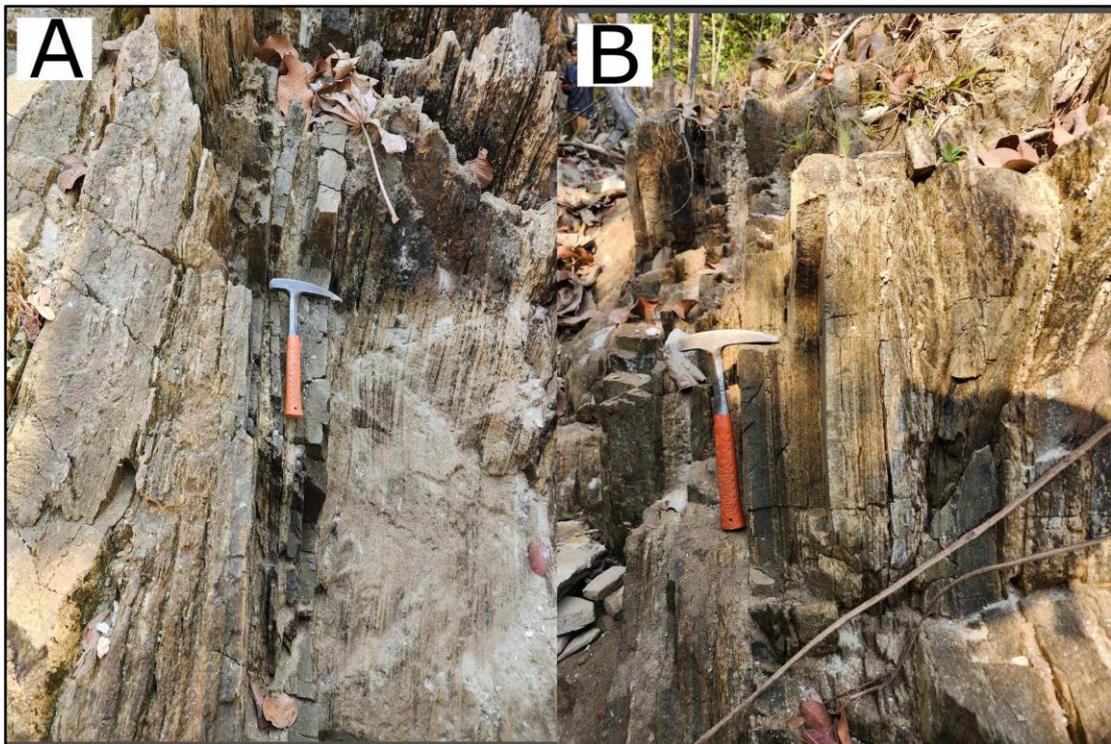
A foliação N-S intercepta a foliação NE-SW em diversas porções do Domínio Campinorte (Figura 6.15), sendo esse aspecto de grande importância para a análise e hierarquização das fases deformacionais que atuaram na estruturação dos arcos magmáticos de Goiás e Campinorte.



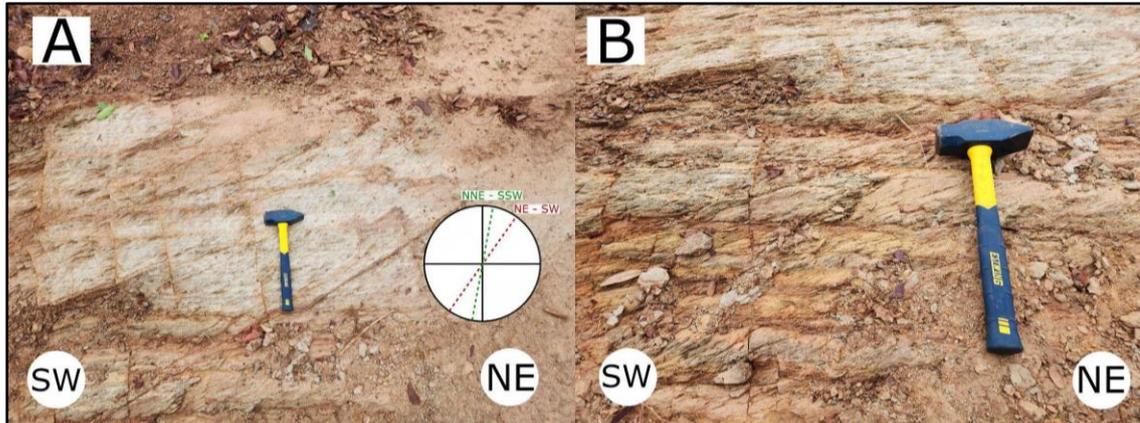
**Figura 6.12:** Aspectos gerais das ocorrências da foliação NE-SW ao longo do Domínio Campinorte. (A) Foliação milonítica desenvolvida nos corpos graníticos da Suíte Pau de Mel. (B) Foliações S-C de cinemática dextral em xistos da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte. (C) Estrutura sigmoidal no contato entre os xistos da Sequência Campinorte e os corpos da Suíte Pau de Mel, apresentando cinemática sinistral.



**Figura 6.13:** Aspectos microestruturais da foliação NE-SW, associada às rochas metavulcânicas félsicas do Domínio Campinorte. (A) e (B) Fotomicrografias mostrando porfiroclastos de plagioclásio rotacionados. (C) e (D) Fotomicrografias mostrando porfiroclastos de plagioclásio associados a trilhas de subgrão de quartzo.



**Figura 6.14:** Aspectos gerais da foliação NE-SW em xistos da Sequência Campinorte. (A) e (B) Destaque para a foliação NE-SW associada à textura lepidoblástica dos xistos.



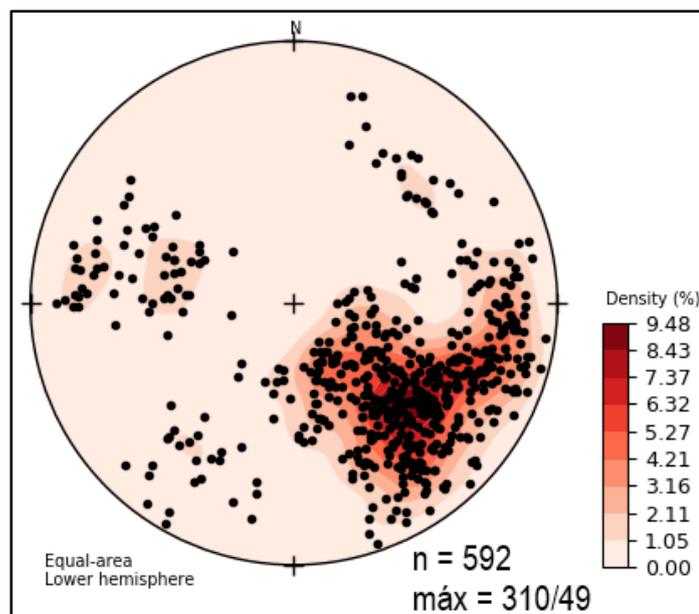
**Figura 6.15:** (A) Interseção das foliações N-S e NE-SW, formando lineações de interseção. (B) Detalhe das estruturas formadas pela junção das duas foliações principais do Domínio Campinorte.

A terceira foliação definida para o Domínio Campinorte é a foliação E-W, a qual está diretamente associada às bordas dos corpos graníticos da Suíte Pau de Mel (Figura 6.16). Trata-se de foliação milonítica centimétrica, definida por domínios micáceos contornando porfiroclastos de quartzo e plagioclásio sigmoidais em domínios microlíticos. A foliação pode ser associada, no contexto da Área X, com foliação de borda de corpo intrusivo, se for de caráter tardi-cinemático, ou como o truncamento da foliação regional pelo *pluton* granítico, se for pós-cinemático. Nesse contexto é possível que a foliação esteja associada ao alojamento dos corpos intrusivos em regime rúptil-dúctil transtrativo, estabelecido durante sua colocação em meio ao Arco Magmático Campinorte.



**Figura 6.16:** Aspectos gerais da foliação E-W, associada às bordas dos corpos intrusivos da Suíte Pau de Mel.

O estereograma dos polos de foliação do Domínio Campinorte na Área X (Figura 6.17) é marcado pelas três direções preferenciais de foliação. A direção NE-SE é vista com maior densidade de polos, indicando orientação média 310/49, com mergulhos variando desde 20° até próximo de 80°. Já a foliação N-S apresenta maior concentração em torno de 270/75, com mergulho variando entre 80° e 50°, além de eventuais planos mergulhando para E. Por fim, a foliação E-W não possui grande representatividade, devido à baixa quantidade de afloramentos nos quais pôde ser observada em meio ao Domínio Campinorte. Ainda assim, é possível observá-la por polos próximos a atitudes de 360/60, com mergulhos elevados, variando de 50° a 80°.



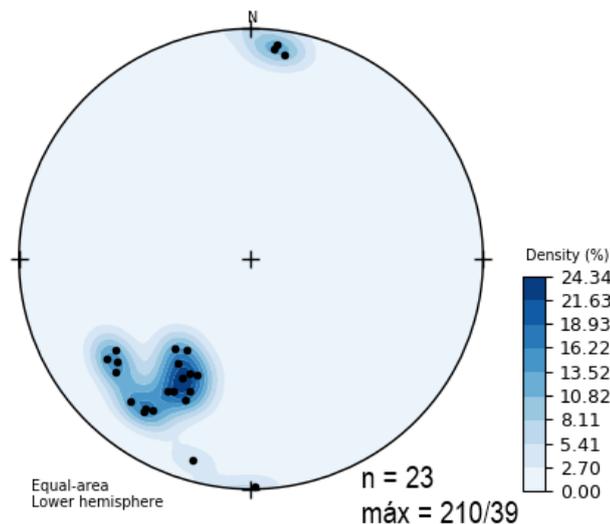
**Figura 6.17:** Estereograma de polos das foliações e contornos de densidade do Domínio Campinorte na Área X. As atitudes ilustram os *trends* N-S, NE-SW e E-W, com ocorrências de NW subordinadas, associadas principalmente ao Grupo Serra da Mesa.

### **Lineações**

As feições lineares descritas na Área X incluem lineações de estiramento mineral (Lx), lineações de intersecção de planos (Li) e lineações de crenulação (Lc). De maneira geral, essas feições ocorrem tanto no Domínio Mara Rosa, quanto no Domínio Campinorte, porém com algumas diferenças marcantes entre elas, as quais serão melhor detalhadas a seguir.

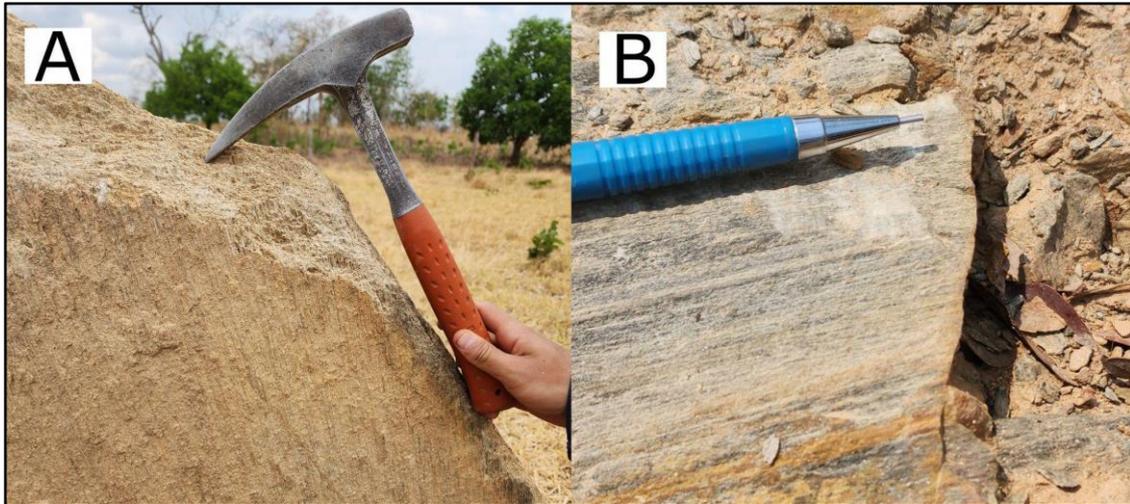
O Domínio Mara Rosa, no contexto da Área X, apresenta duas famílias de lineações de estiramento mineral. A primeira apresenta caimento de 20° a 50° para SW (200° a 230°), enquanto a segunda possui caimento de baixo ângulo N/S (0° a 12°). Estas lineações indicam que, durante o processo de colagem dos arcos, houve

ação de componentes de compressão e transcorrência, respectivamente, ao longo de todo o processo. Isso culminou em cinemática transpressiva com topo para NE. Na Área X essas feições são mais facilmente reconhecidas em xistos da Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa, caracterizadas por grãos de quartzo estirados, agregados de quartzo e agregados de minerais micáceos orientados. O estereograma das lineações do Domínio Mara Rosa (Figura 6.18) ilustra as atitudes das lineações encontradas em campo, sendo possível identificar dois contornos de densidade principais, em torno de 210/39 e 010/07.



**Figura 6.18:** Estereograma de lineações de estiramento mineral e contornos de densidade do Domínio Mara Rosa na Área X. Os caimentos para SW e N representam, respectivamente, componentes compressiva e transcorrente da deformação.

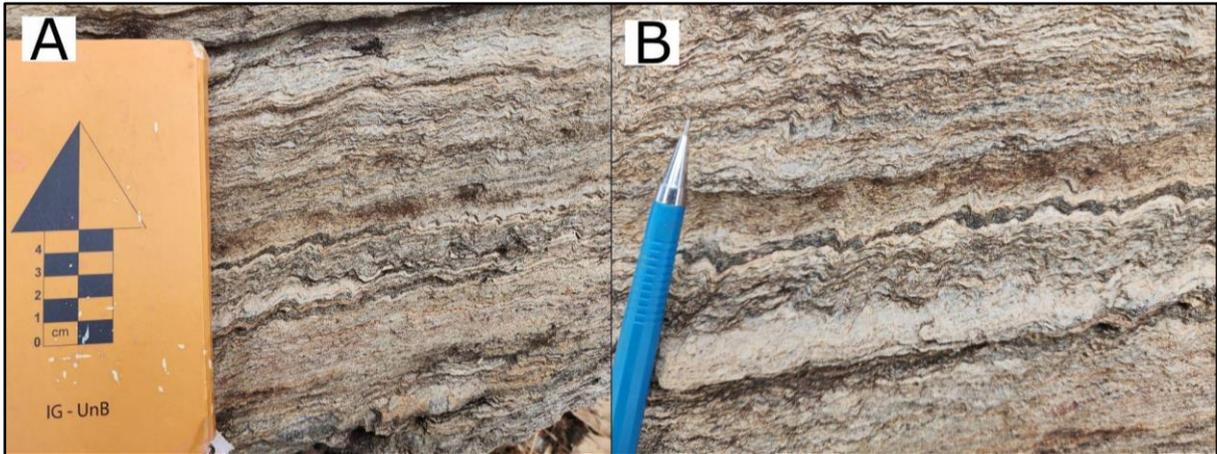
Já o Domínio Campinorte apresenta diversos tipos de lineações, incluindo lineação de estiramento mineral (Lx), lineação de interseção de planos (Li) e lineação de crenulação (Lc). A lineação de estiramento mineral (Lx) apresenta duas orientações preferenciais associadas à mesma estrutura, sendo a primeira com caimento variando majoritariamente entre 2° e 40° para norte e a segunda entre 20° e 40° para oeste. O primeiro conjunto de lineações está diretamente associado aos tectonitos do tipo L, descritos em meio aos corredores de cisalhamento que afetam a Sequência Campinorte e os milonitos da Suíte Pau de Mel (Figura 6.19).



**Figura 6.19:** Aspectos gerais da Lineação N-S presente no Domínio Campinorte, com destaque para os cristais de quartzo estirados em rochas da Suíte Pau de Mel. Ambos os afloramentos não estão *in situ*.

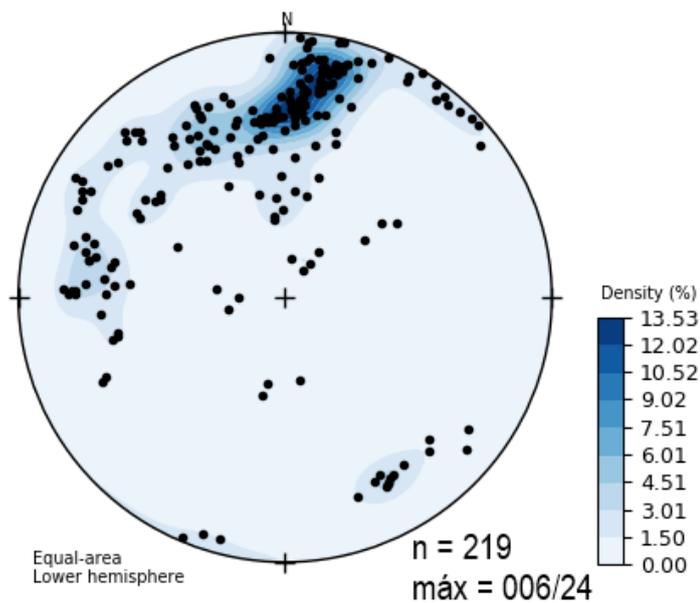
Já a segunda orientação preferencial das lineações de estiramento mineral ( $L_x$ ) associa-se às bordas dos corpos intrusivos da Suíte Pau de Mel, sendo caracterizada, assim como a anterior, pelo estiramento dos cristais de quartzo e feldspato. Levando em consideração as diferentes orientações da lineação de estiramento, é possível definir o movimento como de caráter transpressivo com topo para SSE no Domínio Campinorte. Além disso, essa deformação possui componente transcorrente mais acentuada do que a componente compressiva, conforme evidenciado em campo, nas zonas de cisalhamento e nos estereogramas (Figura 6.21).

A lineação de interseção ( $L_i$ ) corresponde à sobreposição entre as foliações N-S e NE-SW, tendo caimento em torno de  $25^\circ$  para NW. Essas feições são encontradas especialmente em xistos da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte (Figura 6.15). Por fim, foram identificadas lineações de crenulação ( $L_c$ ), definidas por microdobras ao longo dos bandamentos gnáissicos dos milonitos da Suíte Pau de Mel, sendo observadas de maneira restrita ao longo do Domínio Campinorte (Figura 6.20).



**Figura 6.20:** Aspectos gerais da lineação de crenulação (Li) observada no afloramento TF22-X-185. (A) Crenulação marcada por microdobras centimétricas nos bandamentos gnáissicos. (B) Detalhe da disposição da crenulação, com destaque para a maior deformação das bandas micáceas.

Tendo em vista que a lineação de estiramento mineral N-S é a mais significativa no Domínio Campinorte, ambas as medidas referentes às lineações foram tratadas em um único estereograma (Figura 6.21). A densidade máxima de contornos se encontra em torno de 006/25.



**Figura 6.21:** Estereogramas das lineações e contornos de densidade do Domínio Campinorte na Área X. As atitudes ilustram as diferentes orientações da lineação de estiramento mineral (Lx), majoritariamente, bem como a lineação de interseção (Li).

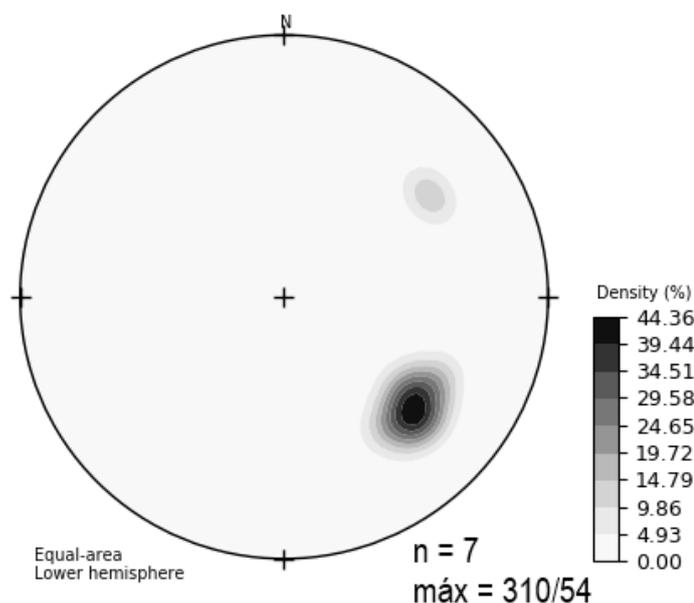
### Dobras

A ocorrência de dobras no contexto da Área X se dá de maneira local, identificadas apenas na porção SW do Domínio Campinorte, próximo a zona de falha Rio dos Bois (Figura 6.22).



**Figura 6.22:** Dobra fechada em xisto da Sequência Campinorte, com eixo caindo para oeste. (A) Disposição do afloramento. (B) Destaque para a geometria da dobra e plano axial (pontilhado).

As dobras apresentam eixo transversal com caimento variando entre  $35^\circ$  e  $45^\circ$  para W ( $270^\circ$  a  $276^\circ$ ), sendo definidas como dobras fechadas e inclinadas, decimétricas a métricas. A análise do estereograma (Figura 6.23), junto aos dados de campo, permite associar essas dobras a fluxo passivo, em que o dobramento ocorre como resposta aos episódios de deformação dúctil e dúctil-rúptil ocorridos no contexto do Domínio Campinorte.



**Figura 6.23:** Estereograma representativo dos polos dos flancos das dobras fechadas.

### 6.2.2. Falha Rio dos Bois e Zonas de Cisalhamento

No contexto da Área X destaca-se apenas a falha de empurrão regional Rio do Bois, a qual atravessa grande parte da porção central e oeste da Área X e delimita a superposição tectônica do Arco Magmático Mara Rosa, de idade neoproterozoica, sobre o Arco Magmático Campinorte, de idade paleoproterozoica. Seu traço é marcado por direção N-S, com inflexão para NE-SW na porção norte da área. Além disso, a influência dessa zona é responsável por gerar diversos corredores de cisalhamento associados, marcados pelo desenvolvimento das foliações miloníticas e ultramiloníticas, além dos cataclasitos e tectonitos L em veios de quartzo, com direção preferencial N-S a NNE-SSW.

Os milonitos e ultramilonitos (Figura 6.24) apresentam deformação e recristalização dinâmica evidenciadas pelos cristais de quartzo e feldspatos recristalizados e estirados. Além disso, o processo de milonitização, observado em toda a porção de influência das zonas de cisalhamento, é marcado, também, por cristais rotacionados e cloritizados de biotita, ao longo do seu maior eixo. A influência das zonas de cisalhamento é responsável, também, pelas diversas estruturas dúcteis-rúpteis desenvolvidas no Domínio Campinorte, incluindo pares de foliação S-C e veios arrastados com cinemática sinistral.

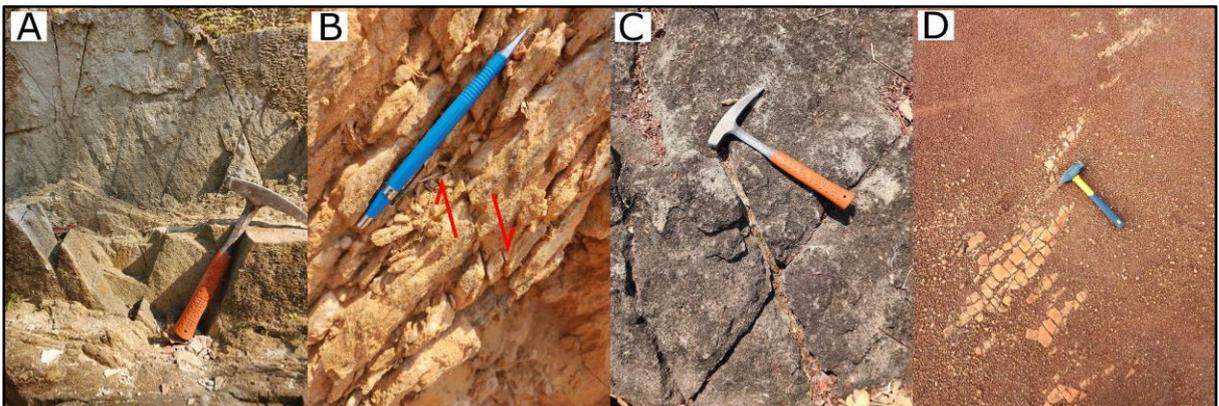


**Figura 6.24:** Aspecto geral de milonitos encontrados ao longo das zonas de cisalhamento. Detalhe para os cristais de quartzo e plagioclásio estirados.

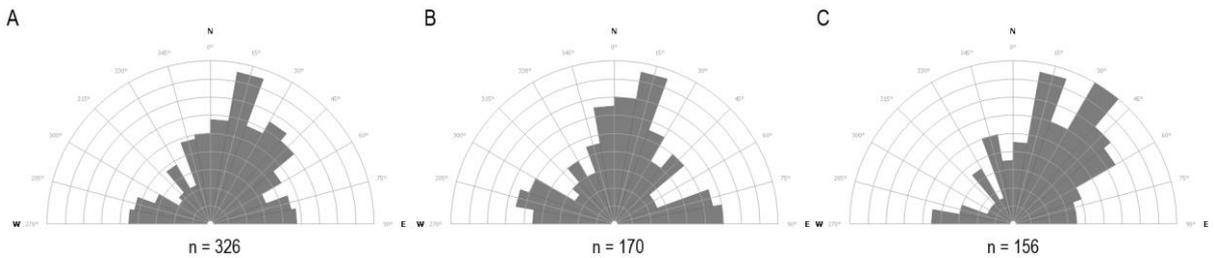
### 6.2.3. Arcabouço Estrutural Rúptil

No contexto da Área X, assim como nas demais áreas do projeto, foram observadas fraturas, juntas e veios truncando as demais estruturas, podendo ser consideradas como de gênese mais recente, em regime deformacional extensional. Tanto as rochas do Domínio Mara Rosa quanto as do Domínio Campinorte encontram-se comumente fraturadas por famílias de juntas e, por vezes, fraturas de cisalhamento. Além disso, as juntas podem apresentar-se preenchidas por quartzo leitoso, gerando veios decimétricos a centimétricos (Figura 6.25). Os conjuntos de juntas apresentam configuração oblíqua à direção das foliações, com espaçamento entre elas variando entre 5 cm e 15 cm. As fraturas de cisalhamento, por sua vez, apresentam deslocamentos de até 10 mm.

Em relação à disposição espacial, tanto as estruturas encontradas no Domínio Mara Rosa, quanto nas do Domínio Campinorte, há predominância de juntas com direção preferencial NNE-SSW ( $15^\circ$ ). Além disso, essas juntas formam, por vezes, sistemas de pares conjugados (Figura 6.25 A e C). Nota-se, ainda, que as juntas e fraturas apresentam uma terceira direção preferencial NE-SW ( $35^\circ$ ), com maior expressão em meio ao Domínio Campinorte (Figura 6.26).



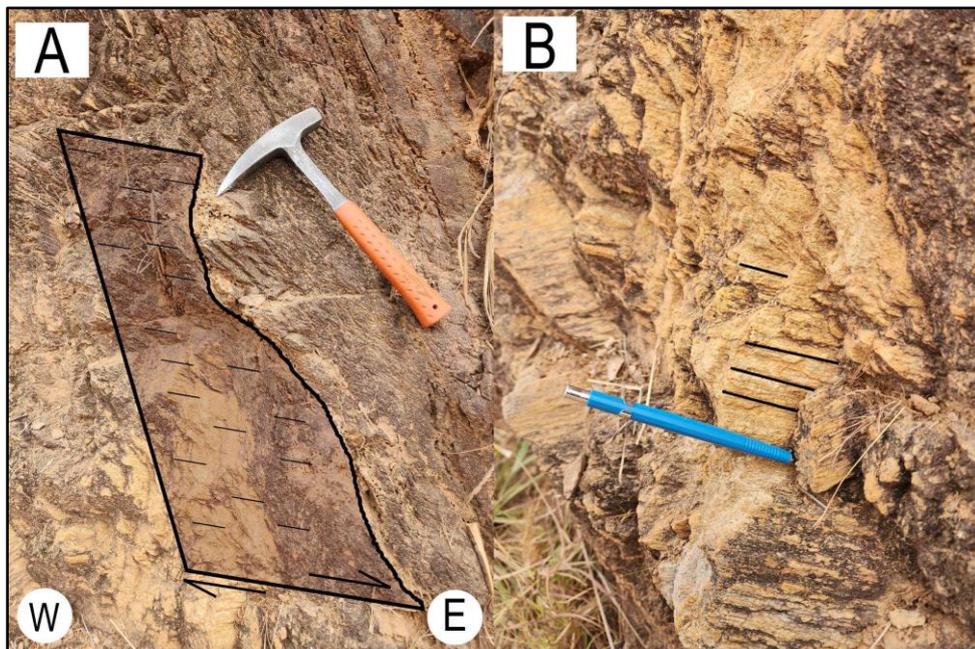
**Figura 6.25:** Aspectos gerais das juntas e fraturas de cisalhamento observados na Área X. (A) Conjunto de juntas em xistos da Sequência Campinorte. (B) Fratura de cisalhamento dextral em xistos da Sequência Mara Rosa. (C) Conjunto de juntas e veios preenchidos por quartzo leitoso. (D) Conjunto de juntas ortogonais em veio de quartzo na estrada de terra.



**Figura 6.26:** Diagramas de rosetas ilustrando as principais direções de juntas e fraturas da Área X. (A) Diagrama completo para a Área X. (B) Diagrama para o Domínio Mara Rosa, no qual há um destaque para a direção E-W. (C) Diagrama para o Domínio Campinorte.

### Falhas

Na porção norte do Domínio Campinorte foram descritas ocorrências locais de falhas normais, associadas à exumação do corpo granulítico, na forma de um complexo de núcleo metamórfico. As falhas observadas em corte ideal apresentam cinemática normal com topo para W (Figura 6.27). Além das falhas normais, duas falhas transcorrentes, com cinemática sinistral são encontradas na Área X. Os traços correspondentes a essas falhas apresentam direção N-S e E-W, demarcadas, com auxílio de geofísica e fotointerpretação, nas porções sudoeste e oeste da subárea, respectivamente. Essas estruturas seccionam as ocorrências do Ortognaisse Amarolândia e a Unidade Metavulcânica Máfica da Sequência Metvulcanossedimentar Mara Rosa.

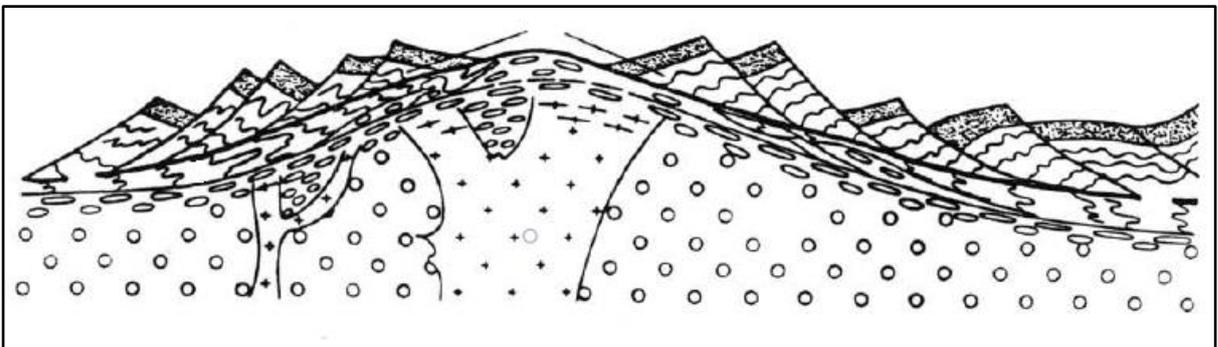


**Figura 6.27:** Aspectos gerais das falhas normais associadas ao complexo de núcleo metamórfico da Área X. (A) Falha normal com topo para W com destaque para o plano de falha (B) Slickenlines derivadas da movimentação normal.

### 6.3. Complexo de Núcleo Metamórfico

Na Área X, mais especificamente na porção norte do Domínio Campinorte, foram descritas rochas metamorizadas em fácies granulito, expostas na forma de um complexo de núcleo metamórfico. Ao redor do núcleo metamórfico foram observadas falhas normais de baixo ângulo, configurando domo assimétrico, com leve alto topográfico no relevo. Ademais, entre o núcleo e a cobertura de mais baixo grau metamórfico, existe contraste estrutural, evidenciado pelas falhas normais.

Existem diversas teorias explicando a formação dos complexos de núcleo metamórfico, a saber, o modelo de fluxo crustal (Spencer, 1984; Buck, 1988; Werneke & Axen, 1988; Block & Royden, 1990; Gans 1987; Thompson & McCarthy, 1986; Hauser, et al., 1987; Lachenbruch & Sass, 1978), o modelo de espalhamento gravitacional (Coney & Harms, 1984; Coney, 1987; Sonder, *et al.*, 1987), o modelo da elevação isostática (Werneke & Axen, 1988), o modelo do *underplating* magmática ou advindo de uma intrusão (Rehrig & Reynolds, 1980), o modelo da dobradiça (Werneke, 1985) e o modelo da elevação flexural (Holt *et al.*, 1986; Wallace, *et al.*, 1986). Para o presente trabalho, levando em consideração os dados estruturais coletados em campo, optou-se por definir o núcleo por intermédio do modelo da elevação isostática (Figura 6.28), embora não seja possível descartar totalmente a hipótese de que seja uma lasca da porção inferior da crosta, tendo em vista sua proximidade com a falha Rio dos Bois. Dessa forma, o soerguimento dessas rochas é considerado resposta não elástica da crosta às forças de flutuação que acompanham um processo de relaxamento tectônico.



**Figura 6.28:** Estrutura ideal de um complexo de núcleo metamórfico, levando em consideração o modelo da elevação isostática. Detalhe para o falhamento normal de baixo ângulo ao redor do núcleo metamórfico (Adaptado de Sadowski, 1991).

Nesse cenário a estrutura é de suma importância para o entendimento da geologia da região, tanto do ponto de vista estrutural quanto do ponto de vista evolutivo, uma vez que carrega indícios relacionados à evolução do Arco Magmático

de Goiás. Do ponto de vista estrutural, a presença desse complexo descreve evento inicial rúptil, com cisalhamento ao longo do deslocamento horizontal dúctil, que, com o avanço da deformação, passa a ter caráter rúptil (Fossen, 2012).

Já do ponto de vista evolutivo, tomando como base os dados estruturais e a literatura, a presença do complexo de núcleo metamórfico corrobora a ideia de extenso cinturão granulítico, resultante da colisão entre os crátons Amazônico, Paranapanema e do São Francisco (Giustina, 2007). Assim, interpreta-se a ocorrência como uma expressão do Complexo Granulítico Uruaçu, descrito a sul da área de estudo.

#### **6.4. Eventos Deformacionais**

No contexto geral do Projeto Mara Rosa, o Domínio Campinorte apresenta diversos corredores deformacionais com direção N-S e inflexão NE-SW, seccionado por estruturas de caráter rúptil e dúctil que apresentam deformação E-W em sua porção norte. A configuração indica sobreposição de eventos deformacionais paleo (N-S) a neoproterozoicos (NE-SW e E-W) (Giustina, 2011), permitindo elencar o Domínio Campinorte como indicativo do episódio deformacional  $E_0$  da região. Já os domínios Mara Rosa e Transbrasiliano são controlados por deformação NE-SW, relacionada à falha Rio dos Bois e à tectônica brasiliana, representando os episódios  $E_1$  e  $E_2$ . Por fim, o Domínio Bom Jesus rotaciona as estruturas NE-SW do Domínio Mara Rosa de maneira dextral, conferindo comportamento sigmoidal à orientação regional, que varia de NE-SW a E-W, ainda associado a uma progressão do episódio  $E_2$ .

No contexto tectono-estrutural da Área X foram discretizados três eventos deformacionais distintos. O primeiro evento ( $E_0$ ) está relacionado com uma deformação pré-brasiliana, marcada pelas foliações N-S associadas ao Domínio Campinorte. A deformação caracteriza fase  $D_1$  que afeta majoritariamente as rochas de idade paleoproterozoica, estando associada a metamorfismo em fácies xisto verde inferior.

Já o segundo evento deformacional observado ( $E_1$ ), indica deformação brasiliana, fortemente condicionada em NE-SW ( $D_2$ ), relacionada a metamorfismo em fácies anfíbolito, caracterizado, na Área X, nas rochas integrantes do Domínio Mara Rosa. As foliações NE-SW foram, em seguida, interrompidas pelo evento dúctil-rúptil

E-W (D<sub>3</sub>), o qual promoveu a rotação em sentido dextral das estruturas pré-estabelecidas, configurando geometria sigmoidal regional.

Ainda associado ao evento E<sub>1</sub>, verifica-se o estabelecimento da zona de falha reversa Rio dos Bois, marcando o contato tectônico que superpõe o Arco Magmático Mara Rosa ao Arco Magmático Campinorte. Nesse cenário as rochas paleoproterozoicas, integrantes do Domínio Campinorte, foram intensamente afetadas pela deformação mais recente. Tanto a falha Rio dos Bois quanto as zonas de cisalhamento associadas apresentam inflexão para NE-SW, moldando-se ao padrão regional condicionado pelo evento E<sub>2</sub>, fase D<sub>3</sub>, correspondente à deformação brasileira. Nota-se, também, o desenvolvimento de foliações de crenulação, marcando a foliação S<sub>n+1</sub> nas rochas paleoproterozoicas.

Por fim, o terceiro evento (E<sub>3</sub>) está relacionado à tectônica pós-brasiliana. Nesse estágio, o alívio de pressão promove a ascensão e exumação do complexo de núcleo metamórfico, juntamente com a formação de falhas normais e pares de foliação S-C (D<sub>4</sub>). Em seguida, a fase D<sub>5</sub> configura a formação das estruturas rúpteis tardias, bem como a percolação de fluidos associados, resultando na geração de juntas, fraturas e veios de naturezas diversas.

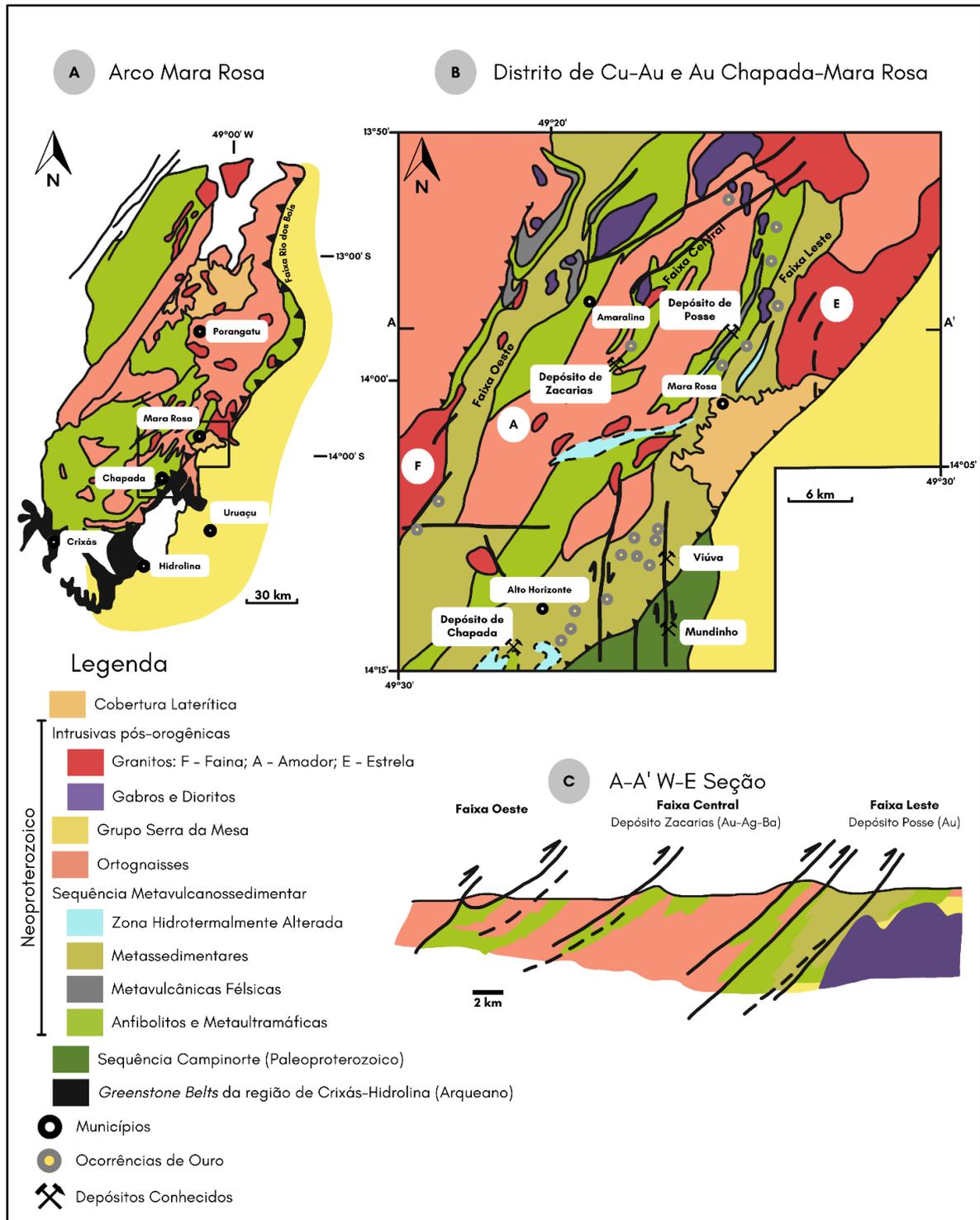
## 7. GEOLOGIA ECONÔMICA

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, com intensa atividade exploratória em andamento (Tabela 7.1; Figura 7.1). 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 sistema do tipo pórfiro (Richardson *et al.*, 1986; Oliveira *et al.*, 2016); (ii) Depósito Zacarias (Au-Ag-Ba), pertencente a sistema vulcanogênico disseminado, de natureza estratiforme (Poll, 1994; James, 2022); (iii) Depósito Posse (Au), descrito como 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).

**Tabela 7.1:** Principais depósitos do Distrito Auro-Cuprífero Mara Rosa (Oliveira *et al.*, 2007).

Depósito (Idade)	Descrição	Alteração Hidrotermal	Associação Mineral	Associação de Metais	Tipo do Depósito
Zacarias (908 Ma)	Sulfetos disseminados hospedados em barita quartzito e oellacherita-barita quartzito	Metassomatismo o magnesiano (flogopita, talco), argilização (?)	Ouro, pirita, (esfalerita, galena, calcopirita, magnetita, freibergita, boulangerita)	Au-(Ag-Ba)	VMS
Chapada (880 - 870 Ma)	Sulfetos disseminados hospedados em metadioritos	Propilítica, potássica, argílica	Calcopirita, pirita, (bornita, molibdenita, galena, magnetita)	Cu-Au-(Mo)	Pórfiro <sup>1</sup>
Posse (630 - ? Ma)	Sulfetos disseminados hospedados em gnaisses granodioritos deformados e alterados hidrotermalmente	Biotitização, sericitização, carbonatação, silicificação, sulfetação	Pirita, teluretos, (frohbergita, calaverita), ouro (calcopirita, pirrotita)	Au-(Te)	Au Orogênico
Mundinho (580 - 540 Ma)	Sulfetos disseminados e veios de quartzo concordantes hospedados em gnaisse tonalítico deformado e alterado hidrotermalmente	Biotitização, muscovitização, carbonatação, sulfetação	Pirita, (calcopirita, bismutinita, magnetita)	Au-(Cu-Bi)	Au Orogênico

<sup>1</sup>A interpretação mais atual para o Depósito Chapada envolve gênese mista, com uma mineralização singenética tipo Cu-Au Pórfiro e consequente remineralização orogênica em modelo genético do tipo Au orogênico/lode ou *Intrusion Related*, associado à Zona de Cisalhamento Rio dos Bois (Oliveira, 2009).



**Figura 7.1:** (A) Mapa geológico esquemático do Arco Magmático Mara Rosa (Modificado de Pimentel *et al.*, 1997). (B) Mapa geológico esquemático do distrito de Cu-Au e Au Chapada-Mara Rosa (Modificado de Arantes *et al.*, 1991), destacando as principais mineralizações conhecidas. (C) Seção estrutural esquemática W-E do Arco Magmático Mara Rosa (Modificado de Palermo *et al.*, 2000).

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 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**

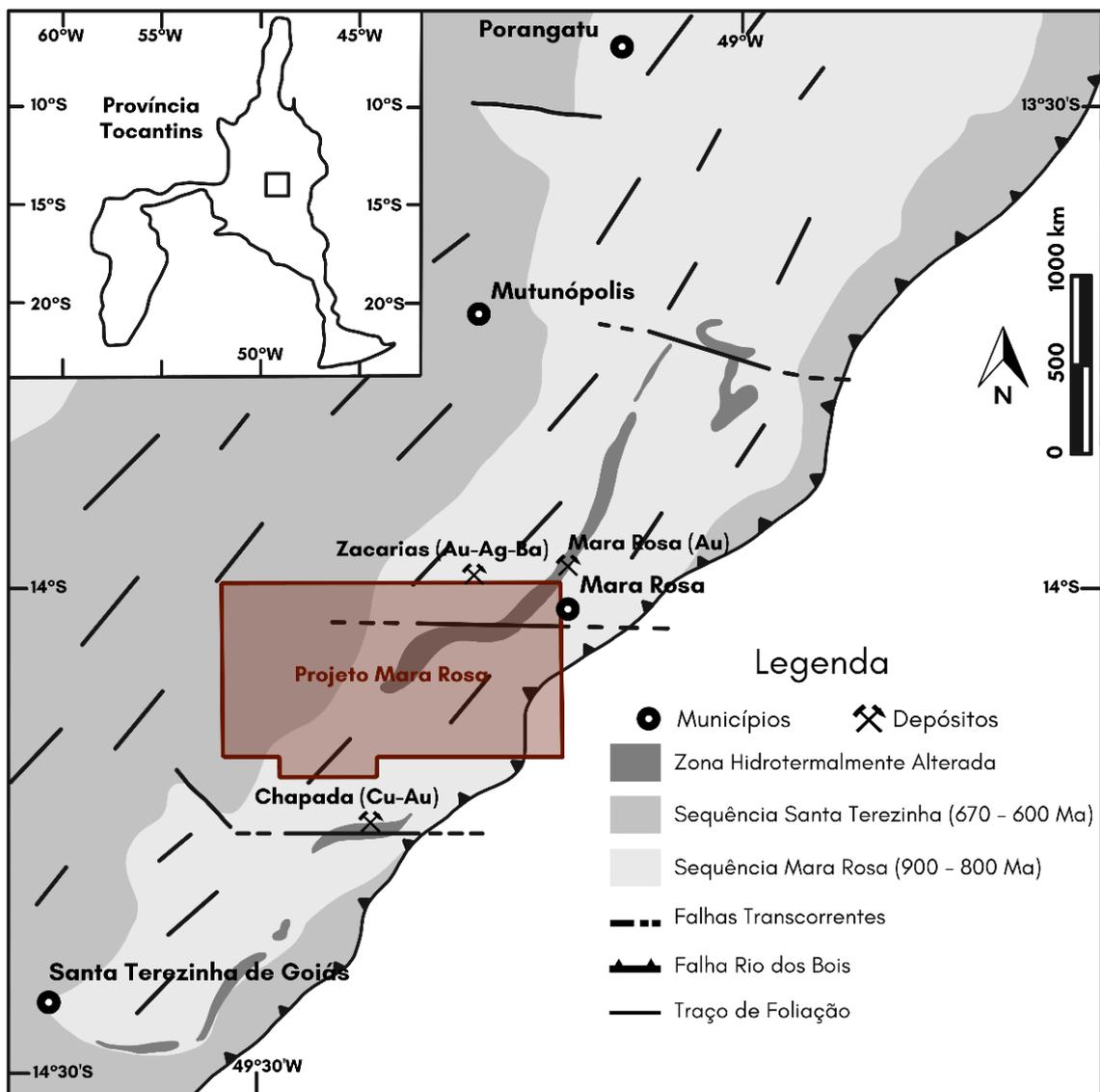
Com base no contexto metalogenético apresentado, esta seção detalha as ocorrências e potencialidades minerais descritas no âmbito das áreas mapeadas pelo Projeto Mara Rosa. Os recursos apresentados incluem ocorrências de natureza metálica e rochas e minerais industriais, sendo os metálicos agrupados 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 7.2).

#### **7.1.1. Sistema Pórfiro-Epitermal**

Diversas feições descritas nas áreas de estudo podem ser interpretadas como expressões de 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.

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. Essas rochas, conforme evidenciado no Capítulo 4, dispõem-se ao longo de uma 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.



**Figura 7.2:** Mapa geológico simplificado do Arco Mágico Mara Rosa destacando zonas hidrotermais e correlação com estruturas regionais. Há 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).

Dentre as associações de rochas calcissilicáticas descritas ao longo da região mapeada, destaca-se o conjunto observado na Área VIII, composto por biotita, clinopiroxênio, granada, hornblenda, clorita, epidoto e quartzo, exibindo feições típicas de zonação composicional. Essa associação de rochas se desenvolve em meio aos dioritos dos Ortognaisses Mara Rosa, sendo interpretadas como sistema *skarn*, gerado por fluido pervasivo, sem relação direta observada com pluton gerador. A 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 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 rochas metassedimentares psamo-pelíticas, 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 essas 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 gnditos 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, pontualmente ao longo de todas as subáreas do projeto. Essas 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. No 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.

Rochas ricas em cianita, descritas acima como halo hidrotermal do sistema pórfiro, são feições de suma importância para as potencialidades econômicas do Projeto Mara Rosa. Além de 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 meio 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).

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. Essas 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 X**

As ocorrências minerais encontradas na Área X incluem tanto mineralizações metálicas quanto rochas e minerais industriais. As ocorrências metálicas, associadas ao sistema aurífero orogênico, incluem o Garimpo Viúva e disseminações de pirita e calcopirita ao longo dos corredores de cisalhamento N-S, além de gonditos com potencial para formação de depósitos residuais, enriquecidos por processos supergênicos. Já o potencial industrial se baseia nas acumulações de sedimentos aluvionares (Rio dos Bois) e na aplicação das rochas intrusivas (Suíte Pau de Mel e Leucogranitos Bom Jesus) para fins ornamentais.

### **7.2.1. Sistema Aurífero Orogênico**

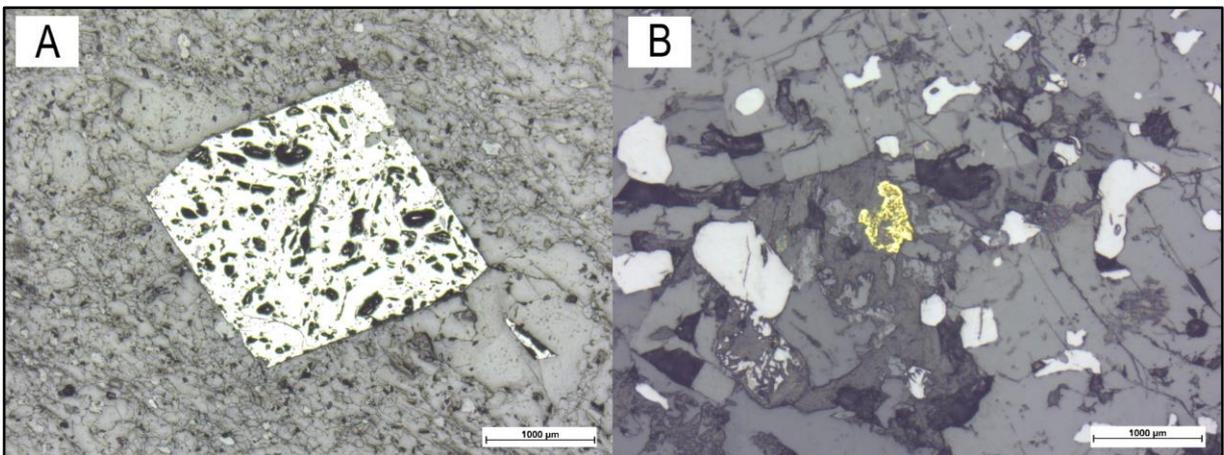
Dentre as unidades geológicas mapeadas na Área X, ocorrências relacionadas ao sistema orogênico se mostram mais expressivas em comparação ao sistema pórfiro, sendo este último mais expressivo em áreas adjacentes. A principal ocorrência do sistema orogênico neste contexto é representada pela mineralização aurífera do Garimpo Viúva, que ocorre associada a veios e segregações de quartzo ricas em sulfetos (pirita, calcopirita e bismutinita), magnetita e ilmenita (Oliveira, 2004; Abdallah, 2014), em meio às rochas metaplutônicas alongadas da Suíte Pau de Mel. Embora esteja atualmente fora de operação, e com suas galerias soterradas (Figura 7.3), seu histórico de extração de ouro atesta o potencial econômico local e de suas adjacências. Sua disposição ao longo da transcorrência N-S que secciona a Falha Rio do Bois, identificada na área, caracteriza forte controle estrutural e alinhamento regional com outras ocorrências auríferas conhecidas, incluindo os garimpos Mundinho, Zé Nunes e Pedro Coelho.

Além do Garimpo Viúva, disseminações de pirita e calcopirita foram descritas nas rochas da Área X, sendo encontradas predominantemente na porção sul da área, nas proximidades das zonas de cisalhamento N-S. A pirita ocorre especialmente nas rochas metavulcânicas ácidas da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte, na forma de porfiroblastos de granulação fina a média em meio à matriz submilimétrica recristalizada. A pirita representa até cerca de 3% da composição modal das rochas, porém é tipicamente vista como mineral acessório. Possui caráter pós-tectônico, tendo forma cúbica euedral típica e não modifica os planos de foliação das rochas (Figura 7.4A).



**Figura 7.3:** Cava principal do Garimpo Viúva, com vista para W. Embora apresente extenso histórico de extração de ouro, encontra-se desativado atualmente.

Já a calcopirita ocorre em menor quantidade, sendo descrita como mineral acessório, de tamanho submilimétrico a milimétrico, associada ao OPX granulito ao norte da Área X, a biotita xisto com segregações de quartzo, e a diabásio encontrado em blocos rolados ao longo do limite sul. Apresenta forma anedral e ocorre nos interstícios da trama mineral principal das rochas (Figura 7.4B).



**Figura 7.4:** Fotomicrografias ilustrativas da sulfetação associada ao sistema orogênico na Área X.. (A) Cristal euédrico de pirita da amostra TF22-X-88, associado a metadacito da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte. (B) Cristal anédrico de calcopirita da amostra TF22-X-201.

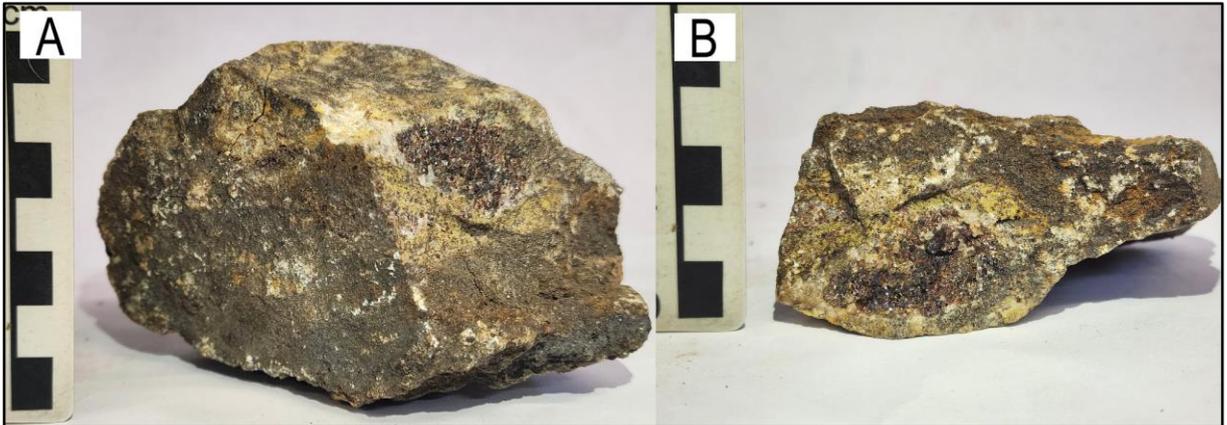
Rochas foliadas ricas em biotita, com segregações de quartzo e sulfetação associada, como as vistas no ponto TF22-X-69 (Figura 7.5), são exemplos para potenciais ocorrências mineralizadas em ouro para o sistema orogênico, assemelhando-se às rochas descritas em depósitos adjacentes, associados ao sistema de transcorrências N-S.



**Figura 7.5:** Amostra TF22-X-69, classificada como biotita xisto com segregações de quartzo e sulfetação associada. A rocha aflora ao longo de uma das zonas de cisalhamento N-S na Área X, caracterizando possível ocorrência mineralizada do sistema aurífero orogênico. Ainda que não seja mineralizada, atua como importante vetor prospectivo.

### 7.2.2. Sistema Residual/Supergênico

Ao longo da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte ocorrem, de maneira pontual, lentes de gondito com extensão chegando até poucos metros, não sendo abarcados pela escala representada em mapa. Essas rochas são constituídas essencialmente de quartzo e granada (espessartita), por vezes intercalados em camadas centimétricas. A maior parte das ocorrências descritas apresenta a granada totalmente alterada por processos intempéricos, sendo transformada em oxi-hidróxidos de manganês (Figura 7.6A), entretanto, foi vista uma ocorrência com cristais de granada preservados (Figura 7.6B).



**Figura 7.6:** Amostras de gondito (TF22-X-50) coletada na Área X. (A) e (B) Destaque para a porção com cristais de granada (espessartita) preservados, em meio ao oxi-hidróxidos de Mn neoformados.

Embora os gonditos não configurem, a princípio, ocorrências minerais com potencial econômico, caracterizam protominérios para a formação de depósitos supergênicos, após enriquecimento por processos intempéricos e formação de crostas lateríticas manganésíferas. Embora este tipo de mineralização não tenha sido diretamente observada na Área X, os gonditos representam importantes vetores prospectivos, tendo em vista a ocorrência recorrente de crostas lateríticas na área e na região como um todo (Figura 7.7).



**Figura 7.7:** Exemplo de concreção laterítica, recorrente ao longo da Área X, aflorando amplamente em platô na porção leste da área.

### 7.2.3. Sistema Pórfiro-Epitermal

Embora não tenha sido descrita sulfetação associada diretamente ao sistema pórfiro na Área X, ocorrências pontuais da associação de rochas calcissilicáticas foram encontradas, aflorando na forma de veios centimétricos de ocorrência restrita. A unidade representa importante indicador para as mineralizações associadas ao sistema de Cu-Au Pórfiro da região. Embora caracterize extensas unidades litológicas nas áreas adjacentes, essas rochas afloram na Área X associadas aos paragneisses e anfibolitos da Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa, ao longo de veios ricos em quartzo, epidoto e actinolita (Figura 7.8). É comum a formação de cristais aciculares de actinolita dispersos ao redor dos veios, em associação com quartzo e plagioclásio.



**Figura 7.8:** Veio de quartzo com epidoto e actinolita, enquadrado na associação de rochas calcissilicáticas (TF22-X-250). Destaque para o desenvolvimento de actinolita ao redor do veio.

#### 7.2.4. Minerais e Rochas Industriais

No contexto da Área X o Rio dos Bois caracteriza o canal de drenagem com maior potencial para a extração de **areia e seixos** industriais (Figura 7.9). A areia tende a se acumular ao longo das convexidades do canal, formando depósitos de composição quartzosa, com seleção moderada a alta e granulometria variando de areia fina a grossa. Eventualmente, acumulações de seixos bem arredondados são encontradas nas porções centrais do canal, tendo em vista a largura do canal e seu fluxo intenso, embora estejam associados à grande quantidade de areia quando em locais secos. Terraços aluvionares podem ser vistos ao longo das margens do Rio dos Bois, onde são depositados sedimentos finos durante períodos de cheia, em associação às frações médias a grossas internas ao canal.



**Figura 7.9:** Aspectos gerais do leito arenoso do Rio dos Bois. (A) Depósito de areia moderadamente selecionada, com afloramento das rochas da Suíte Pau de Mel ao fundo. Vista para norte. (B) Destaque para o canal de drenagem com deposição de areia, com vista para sul.

Devido à diversidade granulométrica e boa seleção, destaca-se o potencial para aproveitamento desse material como matéria-prima industrial, especialmente para as porções mais finas do sedimento, enquanto as porções mais grossas podem ser aplicadas em agregados para a construção civil. Além disso, os seixos arredondados, juntamente com o material arenoso grosso, podem ser utilizados para

fins ornamentais e paisagísticos. Por fim, levando em consideração o contexto de mineralizações auríferas da região, não se pode descartar a possibilidade de acumulação de ouro aluvionar em meio aos sedimentos fluviais da região.

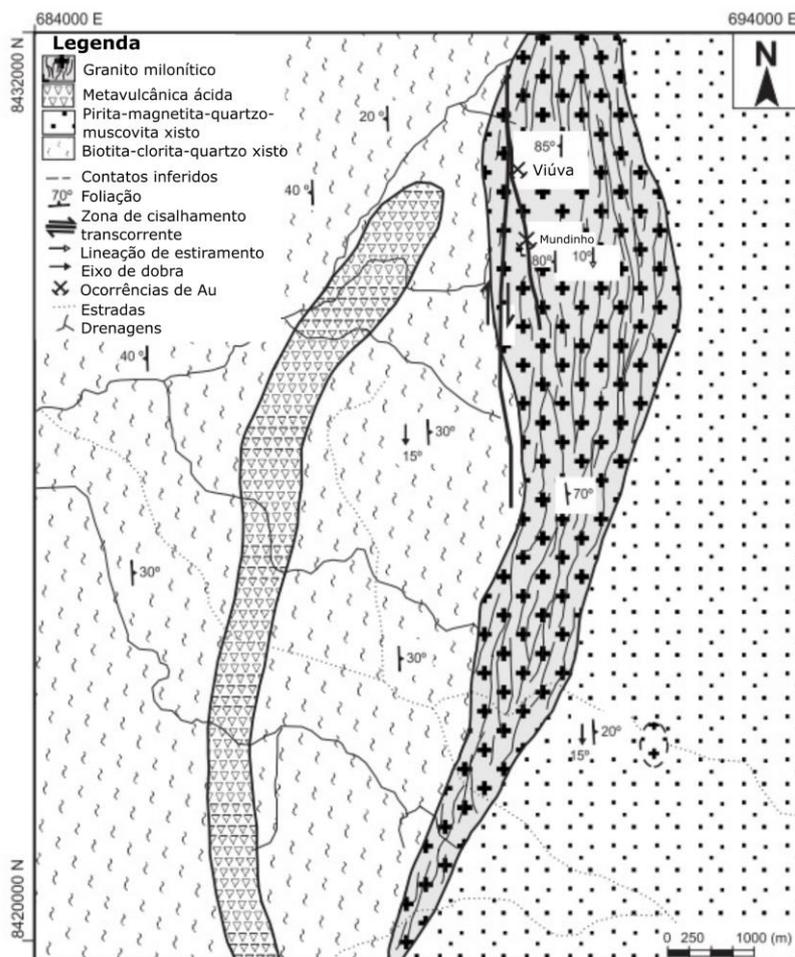
Dentre as rochas aflorantes na Área X, tanto os corpos intrusivos da Suíte Pau de Mel quanto os Leucogranitos Bom Jesus, apresentam potencial de aplicação como **rochas ornamentais**. Dentre os corpos miloníticos da Suíte Pau de Mel, destacam-se as fácies tonalíticas descritas subordinadamente em meio às porções graníticas do plúton, enquanto para os Leucogranitos Bom Jesus, as porções centrais do corpo apresentam maior potencialidade. Ambas as ocorrências se destacam por sua granulação média a grossa e cor branca, tendo sido descritos afloramentos pouco alterados por processos intempéricos em anomalias positivas de relevo, o que configura condições ideais para a exploração desse tipo de rochas. Os corpos da Suíte Pau de Mel se sobressaem nesse contexto, tendo em vista sua maior extensão lateral de afloramentos frescos, sua coloração branca, com eventuais porções micáceas, levemente esverdeadas, e foliação milonítica, conferindo a elas características distintas quando comparadas a outros granitóides ornamentais (Figura 7.10). Nesse cenário, os corpos tonalíticos da Suíte Pau de Mel, descritos na Área X, podem ser classificados como potenciais “Jazidas de Granito” (Alencar, 2013).



**Figura 7.10:** Amostra TF22-X-82, ilustrativa dos tonalitos da Suíte Pau de Mel, com potencial de aplicação para fins ornamentais.

### 7.3. Considerações Metalogenéticas

Do ponto de vista metalogenético, destaca-se na Área X a estruturação condicionada pela falha Rio dos Bois, a qual define o contato entre as rochas do Arco Magmático Mara Rosa e as rochas do Arco Magmático Campinorte. Essa estrutura, juntamente com as zonas de cisalhamento N-S, associa-se ao sistema de mineralização de ouro orogênico da região, responsável pela gênese dos depósitos Mundinho, Viúva, Zé Nunes e Pedro Coelho, todos alinhados ao longo dessas estruturas (Figura 7.11). Considerando que o mapeamento realizado pelo Projeto Mara Rosa evidenciou a presença de zonas de cisalhamento secundárias, associadas à estruturação regional principal, é possível expandir a área de interesse para a pesquisa mineral relacionada, tanto para as estruturas N-S mapeadas na Área X quanto em regiões adjacentes.



**Figura 7.11:** Sistema de mineralização de ouro orogênico associado as zonas de cisalhamento N-S. (Adaptado de Oliveira *et al.*, 2004).

As zonas de cisalhamento, as quais apresentam traço geral N-S, com inflexão NE-SW na porção norte da área, atuam como canais para percolação de fluídos hidrotermais (Kunz, 2018). Dessa forma, essas estruturas atuam como condicionantes para processos de sericitização, muscovitização, biotitização e cloritização, carbonatação e sulfetação das rochas associadas, incluindo a Suíte Pau de Mel e a Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte, como observado nos garimpos Viúva e Mundinho (Oliveira, 2009), bem como em grande parte das rochas associadas aos corredores de deformacionais. Dessa forma, investigações aprofundadas e caracterização detalhada das rochas associadas à falha Rio dos Bois e às estruturas atreladas pode resultar na descoberta de novos depósitos minerais e, conseqüentemente, ocasionar avanço na prospecção de recursos metálicos associados às rochas paleoproterozoicas da região.

Tratando ainda do potencial metalogenético das rochas paleoproterozoicas do Arco Magmático Campinorte, Filgueiras (2015) descreve mineralizações vulcanogênicas associadas a rochas metavulcanossedimentares paleoproterozoicas na região de Artulândia (GO), análogas às rochas da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte. Essa nova descoberta torna interessante a avaliação da fertilidade metalogenética, tanto das rochas vulcanossedimentares quanto dos corpos intrusivos da Suíte Pau de Mel, pois caracteriza ambiente propício para a gênese de mineralizações associadas a sistemas do tipo pórfiro, VMS (*Volcanogenic Massive Sulfide ore deposit*), *skarn*, e demais mineralizações geradas em ambientes de arco.

## 8. EVOLUÇÃO TECTÔNICA

Este capítulo tem como objetivo apresentar os estágios de desenvolvimento tectônico das unidades mapeadas no Projeto Mara Rosa, tendo como base modelos consagrados na literatura, aliados aos dados estruturais e petrográficos levantados ao longo do projeto. O contexto geotectônico do Projeto Mara Rosa está inserido na Província Estrutural Tocantins, mais especificamente na porção setentrional do Orógeno Brasília. Essa região é controlada por cinturões de dobras e cavalgamentos gerados durante a Orogênese Brasileira/Pan-Africana, de idade neoproterozoica (Almeida *et al.*, 1977; Hasui & Almeida, 1970; Fuck *et al.*, 2005), estando associada, especialmente, à colisão entre os crátons do São Francisco e Amazônico. Seu processo evolutivo inclui diversos ambientes geológicos, incluindo a evolução completa do Arco Magmático Mara Rosa, de idade neoproterozoica, juntamente com a acreção de unidades tectônicas paleoproterozoicas, associadas ao Maciço de Goiás (Uhlein *et al.*, 2012).

A área de estudo pode ser enquadrada no modelo proposto por Frasca (2015) para a evolução do Arco Magmático de Goiás, juntamente com a adição do Arco Magmático Campinorte, o qual representa o embasamento paleoproterozoico da região (Cordeiro & Oliveira, 2017). Desta forma, cinco estágios evolutivos podem ser definidos para o Projeto Mara Rosa: (i) Arco Paleoproterozoico; (ii) Arco Intra-Oceânico Neoproterozoico; (iii) Colisão Arco-Continente; (iv) Colisional a Pós-Colisional; e (v) Extensional Pós-Orogênico (Tabela 8.1).

**Tabela 8.1.** Principais estágios de evolução tectônica das unidades geológicas do Projeto Mara Rosa. A definição dos estágios se deu por Frasca (2015) e Cordeiro & Oliveira (2017) com base em critérios geocronológicos e tectono-estruturais, marcados por grandes estruturas regionais.

Estágio Tectônico	Idade
Arco Paleoproterozoico	Riáciano - Paleoproterozoico (2300-2000 Ma) (Cordeiro & Oliveira, 2017)
Arco Intra-Oceânico Neoproterozoico	Toniano - Neoproterozoico (900-800 Ma) (Oliveira <i>et al.</i> , 2004)
Colisão Arco-Continente	Criogeniano - Neoproterozoico (670-600 Ma) (Oliveira <i>et al.</i> , 2004)
Colisional a Pós-Colisional	Ediacarano - Neoproterozoico (590-560 Ma) (Oliveira <i>et al.</i> , 2004)
Extensional Pós-Orogênico	Fanerozoico (Frasca, 2015)

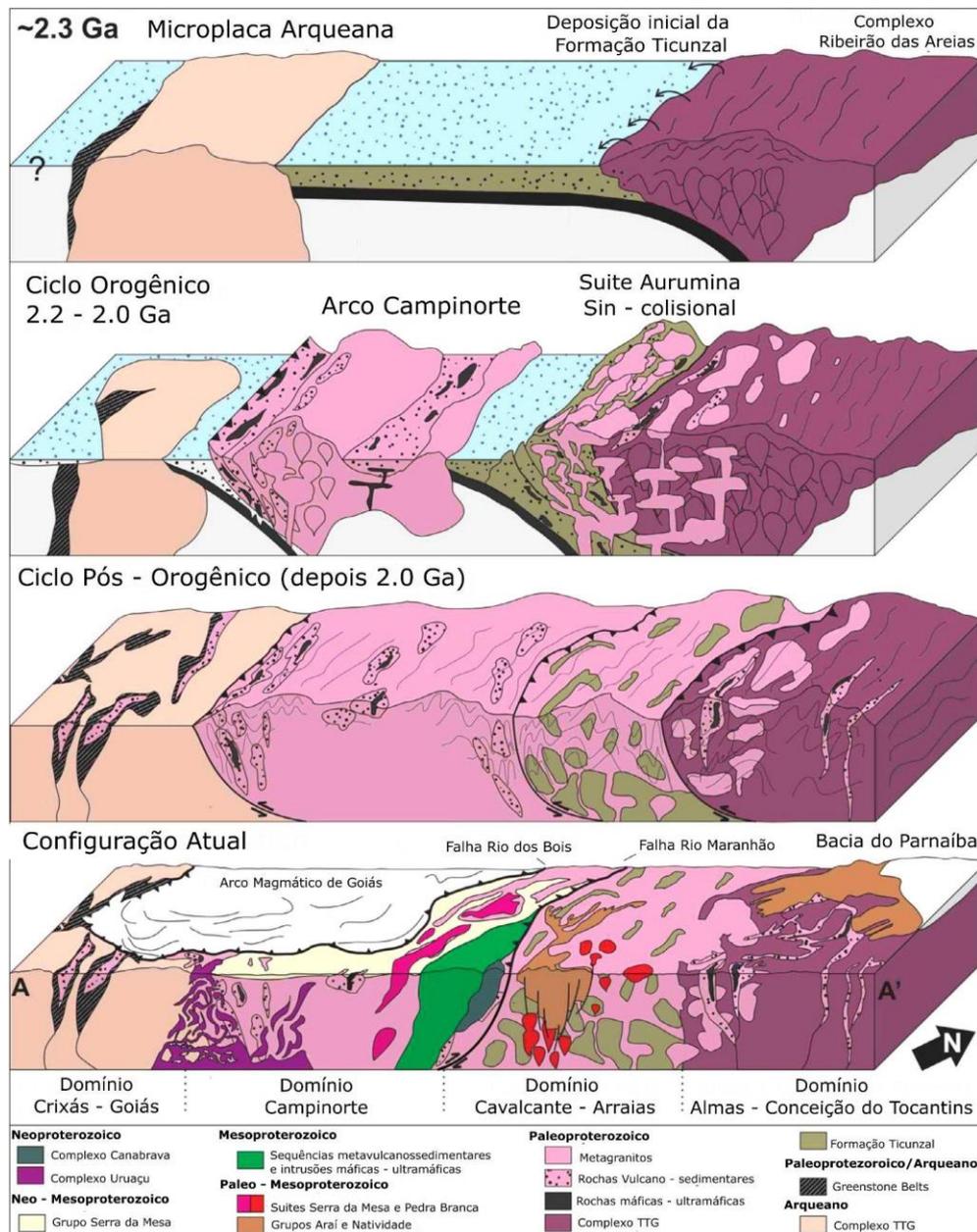
### 8.1. Estágio de Arco Paleoproterozoico

O Maciço de Goiás é amálgama de rochas cristalinas com idades arqueanas a mesoproterozoicas, localizadas a leste do Arco Magmático de Goiás. A interpretação sobre o significado tectônico desta unidade, dada por Cordeiro & Oliveira (2017), sugere que o maciço seja extensão pericratônica da margem oeste do Cráton do São Francisco. O Maciço de Goiás pode ser dividido em quatro domínios distintos: Crixás-Goiás, Campinorte, Cavalcante-Arraias e Almas-Conceição. O Arco Campinorte, associado ao Domínio Campinorte (Giustina *et al.*, 2009; Cordeiro *et al.*, 2014), é descrito pelas rochas da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte, os metagranitos e metatonalitos da Suíte Pau de Mel e os granulitos do Complexo Uruaçu (Cordeiro *et al.*, 2017). 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  $2179 \pm 4$  Ma (Giustina *et al.*, 2009).

Cordeiro *et al.* (2014) também dataram, por intermédio da análise de zircão 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  $\epsilon\text{Nd}(t)$  variando entre - 2.1 e + 3.4 descrevem maior participação de crosta paleoproterozoica em detrimento de arqueana nesse domínio (Giustina *et al.*, 2009). A partir disso, e levando em consideração as rochas descritas no Domínio Campinorte pelo Projeto Mara Rosa, é possível interpretar que esse domínio está associado a um ambiente deposicional marinho próximo a um arco magmático (Giustina *et al.*, 2009). As rochas incluem rochas metavulcânicas intermediárias a ácidas (p. ex. metadacitos e metariolitos), bem como metassedimentares psamo-pelíticas e químicas (p. ex muscovita-clorita xistos e gonditos, respectivamente) e granulitos, além de rochas associadas a intrusões graníticas, mais especificamente de composições graníticas a tonalíticas.

Dessa forma, a evolução geológica da área Projeto Mara Rosa teve início durante o Paleoproterozoico, mais especificamente, com a formação do Arco Campinorte, a qual ocorreu entre 2300 e 2000 Ma (Cordeiro *et al.*, 2017), uma vez que o Domínio Campinorte corresponde ao embasamento do projeto. Um modelo esquemático que ilustra a formação do Arco Campinorte, bem como as feições

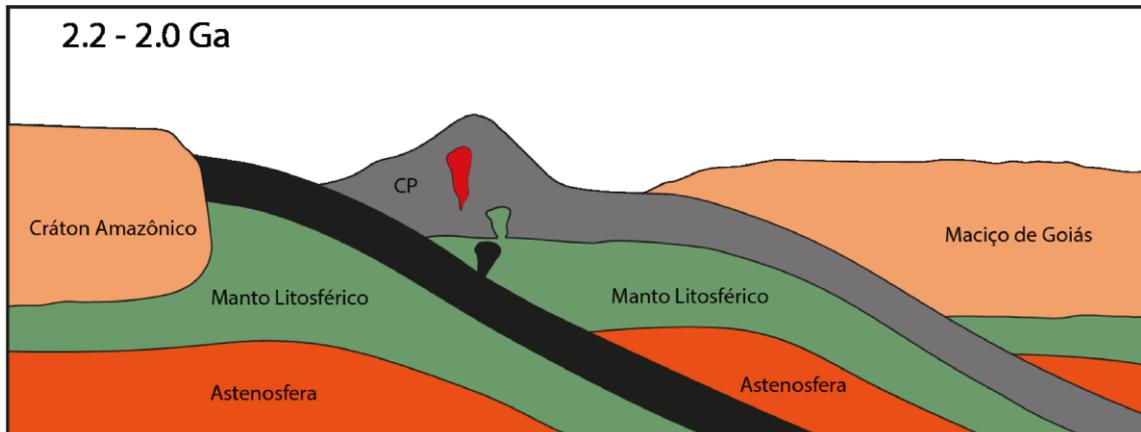
geotectônicas associadas ao magmatismo de um arco, é apresentado na Figura 8.1 e na Figura 8.2.



**Figura 8.1:** Modelo de evolução tectônica do Maciço de Goiás durante a fase do orógeno (2200 a 2000 Ma). 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, no contexto do PMR, possuem foliação milonítica N-S impressa, interpretada como evento E<sub>0</sub>, de idade pré-brasiliana. A análise dos dados estruturais permite sugerir que essas estruturas tenham sido geradas como resposta ao evento transcorrente, responsável pela formação das zonas de cisalhamento observadas no extremo SE da área do projeto,

mais especificamente na Área X. Associado a deformação do evento E<sub>0</sub>, há metamorfismo em fácies xisto verde.



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

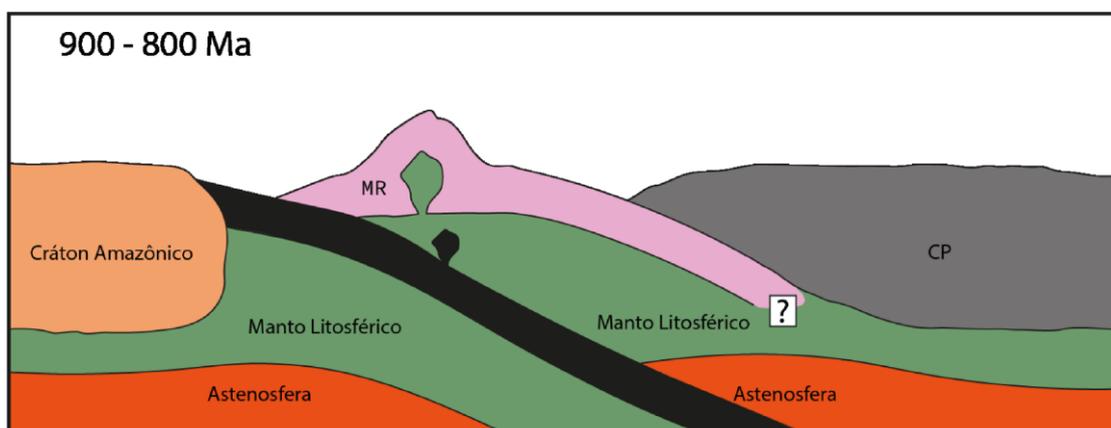
### 8.2. Estágio de Arco Intra-Oceânico Neoproterozoico

O início da formação do Arco Magmático de Goiás é marcado pelo consumo e fechamento do Oceano Goianides-Pharusian (Kröner & Cordani, 2003; Caby, 1994; Valeriano *et al.*, 2004) entre os crátons Amazônico e do São Francisco. A princípio, na forma de 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 localizado entre o Cráton Amazônico e o Maciço de Goiás, ocasionado por esforços compressivos gerados pela colisão dos crátons (Viana *et al.*, 1997). Tal processo gera sistema de arcos de ilhas intraoceânicos e bacias de retro-arco, caracterizados por rochas vulcânicas básicas e 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 <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>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 Projeto Mara Rosa a estrutura que marca a acresção da sequência metavulcanossedimentar Mara Rosa ao embasamento paleoproterozóico Campinorte é marcada pela Falha Rio dos Bois. As rochas formadas durante esse estágio são representadas pelo conjunto extenso de anfibolitos, paragneisses e xistos aluminosos, com eventuais associações de rochas metultramáficas, especialmente na porção norte da área. Subordinadamente, ocorrem rochas metasedimentares químicas, definidas por gonditos, metacherts e formações ferríferas. Além disso, na Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa encontram-se intrusões tardi a pós-tectônicas de composição granítica a tonalítica. Essas rochas encontram-se metamorfizadas em condições de fácies anfibolito, com retrometamorfismo em fácies xisto verde inferior.

A predominância da composição cálcio-alcalina das 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 E<sub>1</sub>, de idade neoproterozoica. O regime compressivo regional nesse estágio está relacionado à 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.

### 8.3. Estágio de Colisão Arco-Continente

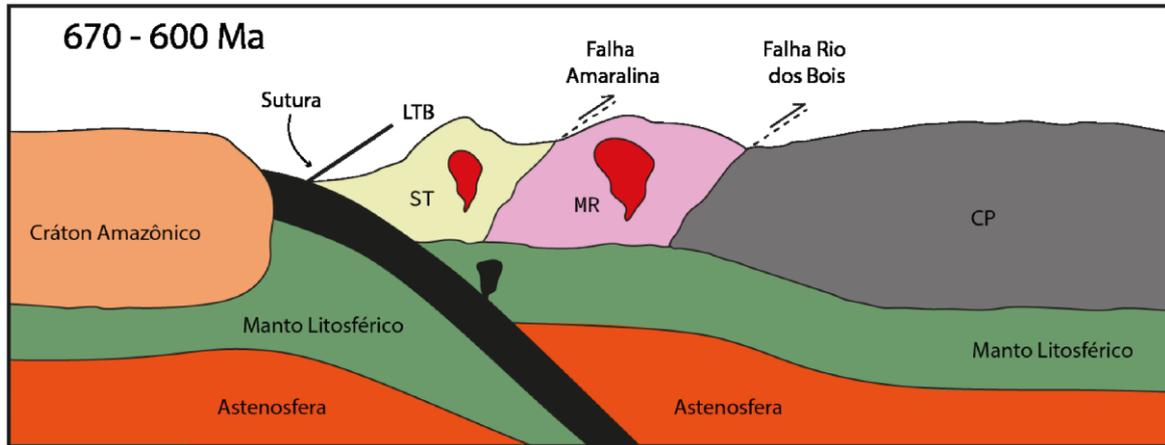
A evolução do estágio de arco intra-oceânico é marcada pelo desenvolvimento de margem continental ativa, onde há a formação do denominado Arco Magmático Santa Terezinha em 670-600 Ma (Figura 8.4). É nesse estágio que há a formação da Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha, originalmente proposta 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  $661 \pm 8$  Ma, atribuindo esta idade para a sequência como um todo.

Na área do Projeto Mara Rosa a estrutura que marca a acreção da Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha à Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa foi descrita por Chiarini (2007) como a discordância geofísica Porangatu-Mutunópolis-Amaralina. No presente projeto foi denominada como Falha Amaralina, a qual possui extensão quilométrica, passando pelas áreas III, VII e de Mapeamento Geológico 2, com direção NE. Essa zona de cisalhamento é importante limite tectônico, o qual justapõe dois estágios evolutivos do sistema de arco magmático.

À leste da zona de cisalhamento, predominam rochas com  $\epsilon Nd$  positivo (+0.01 e +8.01), que mostra a derivação a partir de crosta juvenil com pouca contaminação crustal. Essa assinatura está relacionada ao estágio de arco de ilha intra-oceânico (900-800 Ma) e corresponde à assinatura da Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa. A oeste, predominam rochas com  $\epsilon Nd$  negativo (-25.44 a -0.60), com sugestão de entrada de material juvenil e reciclagem crustal. Essa assinatura demonstra estágio de acreção 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 intra-oceânico, o estágio da colisão arco-continente ainda é representado pelo evento tectônico E<sub>1</sub>. O regime compressivo regional nesse estágio está relacionado à 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) interpretam que o metamorfismo de 604-610 Ma é de baixas condições P-T, a partir

de idades Sm-Nd e geotermobarometria em rochas metassedimentares do arco. Essa idade de metamorfismo foi observada no Projeto Mara Rosa em fácies anfíbolito, 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.

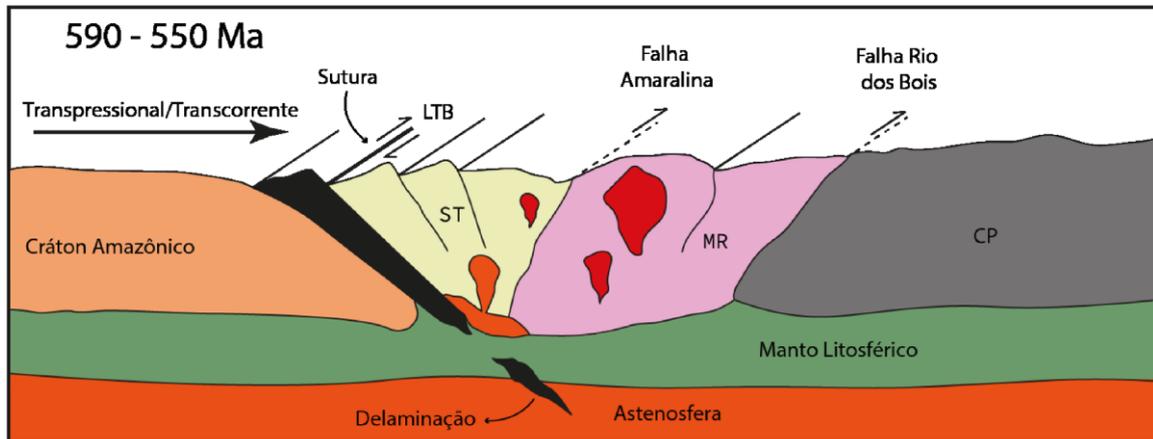
#### 8.4. Estágio Colisional a Pós-Colisional

O estágio colisional a pós-colisional do Arco Mara Rosa está inserido no contexto de amálgama do supercontinente Gondwana. O fechamento da Orogenia Brasiliana resultou na formação de uma estrutura de magnitude continental, de orientação NE-SW, que ocorreu na porção oeste do supercontinente Gondwana, a saber o Lineamento Transbrasiliano (Schobbenhaus, 1975).

O Lineamento Transbrasiliano é uma extensa faixa de falhas transcorrentes, formada durante o encurtamento crustal gerado no fim da orogenia neoproterozoica. Nesse contexto, insere-se o evento tectônico E<sub>2</sub>, o qual, no Projeto Mara Rosa, 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 em direção concordante ao Lineamento Transbrasiliano (Figura 8.5), mais especificamente, na porção oeste do Projeto Mara Rosa, nas Áreas I, II, III e VII. Tal geometria das zonas de cisalhamento é pronunciada em produtos geofísicos aeromagnetométricos. Além dessas zonas, o Lineamento Transbrasiliano 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 importante evento magmático Ediacarano (590-550 Ma), o qual registra aumento na contribuição de material crustal e diminuição de fontes mantélicas (Frasca, 2015). O aumento nas

concentrações de elementos como Pb e Th sugere aumento da entrada de sedimentos na zona de subducção, corroborada pela presença de rochas de afinidade peraluminosa e valores negativos de  $\epsilon\text{Nd}$  (Frasca, 2015).

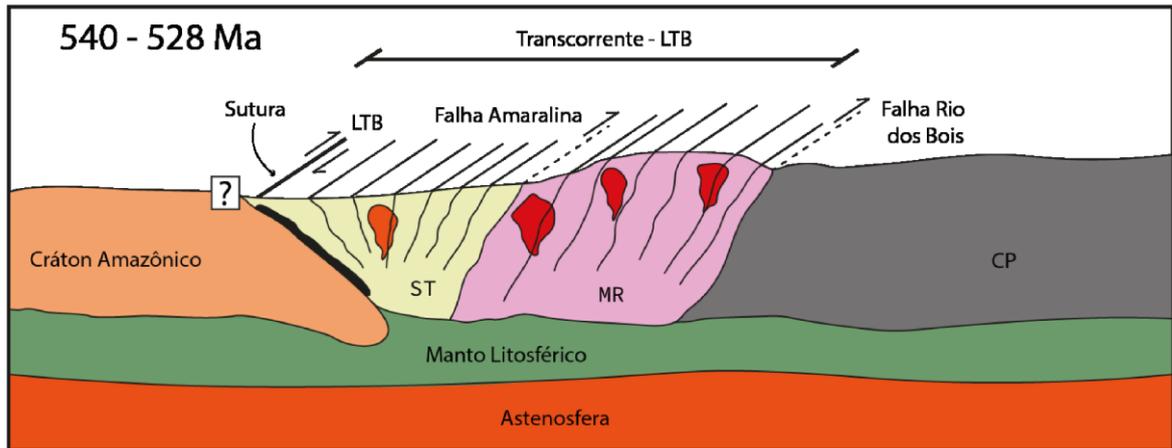


**Figura 8.5:** Estágio Colisional a Pós-Colisional. LTB = Lineamento Transbrasiliano; ST= Arco Santa Terezinha de Goiás; MR = Arco Mara Rosa; CP = Arco Campinorte.

### 8.5. Estágio Extensional Pós-Orogênico

O estágio extensional é caracterizado como o evento mais jovem do Projeto Mara Rosa, tendo idade fanerozóica e caráter pós-brasiliano (Frasca, 2015), representado por estruturas rúpteis multidirecionais. Esse estágio (E<sub>3</sub>) é observado, na região mapeada, na forma de sistemas de falhas e fraturas de direção NW-SE, E-W e N-S que se sobrepõem a todas as unidades estratigráficas do projeto.

Dentre essas estruturas, destaca-se a presença de falhas e juntas associadas à reativação de zonas de fraqueza do Lineamento Transbrasiliano. Essas estruturas rúpteis foram responsáveis por condicionar o padrão de drenagens atual, formando lineamentos de direção NW-SE. Esse estágio pode favorecer a acomodação de intrusões pós-tectônicas, como representado na área do Projeto Mara Rosa pelos Leucogranitos Bom Jesus, pouco deformados. Por fim, esse estágio é classificado como colapso pós-orogênico (Figura 8.6), o qual foi responsável pela geração de estruturas antitéticas de alívio. Entretanto, ainda não existem datações ou estudos detalhados referentes a essas estruturas.



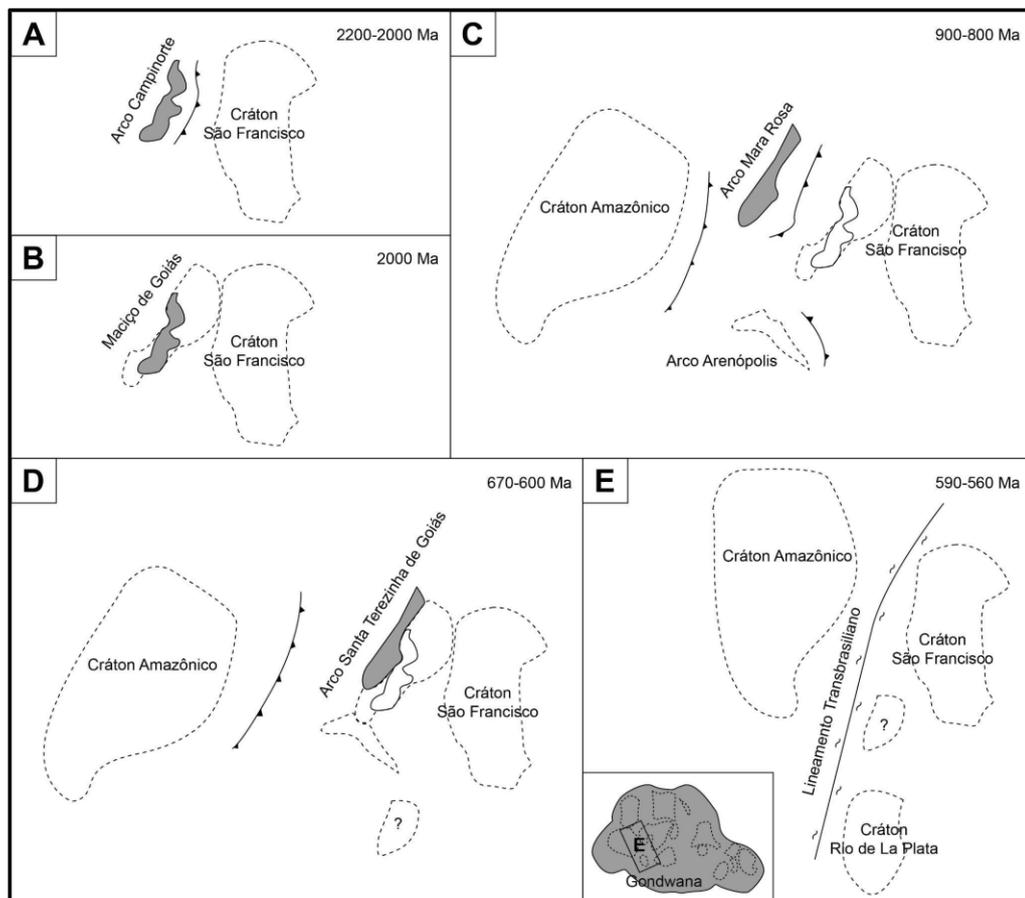
**Figura 8.6:** Estágio Extensional a Pós-Orogênico. Destaque para o colapso aproveitando as estruturas formadas durante o Transbrasiliano. LTB = Lineamento Transbrasiliano; ST= Arco Santa Terezinha de Goiás; MR = Arco Mara Rosa; CP = Arco Campinorte.

### 8.6. Modelo Evolutivo do Projeto Mara Rosa

A evolução tectônica do Projeto Mara Rosa (Figura 8.7) inicia-se entre 2200 e 2000 Ma com a acreção do Arco Magmático Campinorte ao Maciço de Goiás, sugerido como extensão pericratônica do Cráton São Francisco (Cordeiro & Oliveira, 2017). Em seguida, entre 900 e 800 Ma, houve estágio de subducção de arco intra-oceânico, correspondente ao Arco Magmático Mara Rosa (Oliveira *et al.*, 2004). Posteriormente, entre 670 e 600 Ma, ocorreu o estágio de colisão entre o Arco Magmático Mara Rosa e Arco Magmático Campinorte, marcando a transição do estágio insular para o estágio continental (Oliveira *et al.*, 2004). O estágio de arco continental estabeleceu a formação do Arco Magmático Santa Terezinha. Já o estágio colisional a pós-colisional, que ocorreu entre 590 e 560 Ma, marca o fechamento oceânico pela colisão dos crátons Amazônico e do São Francisco, estabelecendo a porção ocidental do supercontinente Gondwana (Oliveira *et al.*, 2004). Por fim, o colapso orogênico marca o período de tectônica extensional, ocorrido durante o Fanerozoico (Frasca, 2015). Poucos estudos foram realizados nas áreas associadas ao Projeto Mara Rosa com foco nas implicações desse estágio para a evolução tectônica da área.

Dois picos de metamorfismo são evidenciados na região de estudo. O primeiro, de 760 a 730 Ma, ocorreu em condições elevadas de P-T, associado à transição do arco de ilhas para arco continental. Já o segundo, datado em 630 Ma, apresenta condições de P-T mais baixas que o primeiro, estando associado à Orogênese Brasileira (Oliveira *et al.*, 2004, 2016).

Com relação ao magmatismo, Cordeiro & Oliveira (2017) destacam o evento relacionado à intrusão da Suíte Pau de Mel, de idade de cristalização em torno de 2170 a 2070 Ma (Giustina *et al.*, 2009; Cordeiro *et al.*, 2014), em meio às rochas da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte. Oliveira *et al.* (2016) e Ferreira (2020) estabelecem um segundo evento (870 Ma), relacionado ao estágio insular do Arco Magmático Mara Rosa, resultando na colocação dos Ortognaisses Mara Rosa, incluindo o corpo Amarolândia. O terceiro evento, descrito por Oliveira *et al.* (2007, 2016), foi datado em 576 Ma, associado à intrusão do Plúton Faina em meio à Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha, durante o estágio de arco continental (Junges *et al.*, 2002a, 2003). Já o estágio de magmatismo pós-tectônico colisional é caracterizado pela intrusão de corpos graníticos entre 590 a 560 Ma, enquanto o estágio extensional pós-orogênico causou a intrusão de leucogranitos e gabro-dioritos, ainda não datados (Oliveira *et al.*, 2004).



**Figura 8.7:** Estágios de evolução tectônica associada ao Projeto Mara Rosa. (A e B) Estágio de Arco Paleoproterozoico (2200-2000 Ma). (C) Estágio de Arco Intra-Oceânico Neoproterozoico (900-800 Ma). (D) Estágio de Colisão Arco-Continente (670-600 Ma) (E) Estágio Colisional a Pós-Colisional, destacando a influência do Lineamento Transbrasiliano no Orógeno Brasília após a formação do supercontinente Gondwana. Adaptado de Oliveira *et al.* (2004).

## 9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Projeto Mara Rosa teve como objetivo a realização do mapeamento geológico em escala 1:25.000 da região de estudo, bem como sua caracterização petrográfica, estrutural, metalogenética e evolutiva. Nesse cenário alcançou-se maior detalhamento cartográfico em comparação aos dados preexistentes (Figuras 9.1 e 9.2). As unidades geológicas cartografadas incluem rochas associadas ao Arco Magmático Campinorte, representativas do embasamento paleoproterozoico da região; Arco Magmático Mara Rosa, tido como o segmento norte do Arco Magmático de Goiás, de idade neoproterozoica; Grupo Serra da Mesa, o qual, embora de idade controversa, foi associado à cobertura metassedimentar neoproterozoica, depositada sobre as rochas do Arco Magmático Campinorte; e Rochas Intrusivas Tardi a Pós-Tectônicas, também de idades neoproterozoicas.

De maneira geral, a evolução cartográfica promovida pelo Projeto Mara Rosa inclui, em meio ao Arco Magmático Campinorte, de maior interesse da Área X, adição do Complexo Granulítico Uruaçu, maior detalhamento nos corpos da Suíte Pau de Mel e da subunidade metavulcânica da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte, bem como identificação de ocorrências pontuais de suas rochas metassedimentares químicas. Já em meio ao Arco Magmático Mara Rosa, obteve-se a delimitação em detalhe e melhor caracterização das rochas da Unidade Hidrotermal, tendo em vista sua significância para a geologia econômica da região. Além disso, foram delimitados com maior precisão: rochas das unidades metassedimentares químicas das Sequências Metavulcanossedimentares Mara Rosa e Santa Terezinha; fácies do Plúton Faina; ocorrências associadas ao Leucogranitos Bom Jesus. Considerando os objetivos específicos do projeto, o mapa geológico do Projeto Mara Rosa não contempla delimitação de depósitos aluvionares e/ou coberturas detríticas e lateríticas como unidades cartografáveis, sendo priorizado o mapeamento das rochas paleo a neoproterozoicas, relacionáveis à evolução tectônica-estrutural da região e ao seu potencial metalogenético.

Do ponto de vista tectônico-estrutural, cinco estágios evolutivos foram englobados pelo Projeto Mara Rosa, incluindo: Arco Paleoproterozoico (2200-2000 Ma); Arco Intra-Oceânico Neoproterozoico (900-800 Ma); Colisão Arco-Continente (670-600 Ma); Colisional a Pós-Colisional (590-560 Ma); e Extensional Pós-Orogênico. O estágio de Arco Paleoproterozoico representa o evento deformacional E<sub>0</sub> da região, enquanto o Arco Intra-Oceânico Neoproterozoico e a Colisão Arco-

Continente configuram o Evento E<sub>1</sub>. Já o estágio Colisional a Pós Colisional abrange o evento E<sub>2</sub> e o estágio Extensional Pós-Orogênico configura o evento E<sub>3</sub>.

Já o potencial metalogenético do Projeto Mara Rosa baseia-se em sistemas minerais do tipo pórfiro, vulcanogênicos, orogênicos e residuais/supergênicos. Embora a região apresente depósitos de grande expressão relacionados a todos os sistemas citados, o mapeamento realizado destaca maior expressão geral do sistema pórfiro, relacionado especialmente aos halos de alteração hidrotermal, estabelecidos pelas associações de rochas da Unidade Hidrotermal. Já o sistema orogênico, embora pouco caracterizado no contexto do projeto, mostra-se como a principal potencialidade para a Área X, associado aos corredores deformacionais N-S e aos depósitos Mundinho, Viúva, Zé Nunes, Pedro Coelho entre outros. Ocorrências relacionadas a minerais e rochas industriais podem ser amplamente exploradas na região, incluindo ocorrências de cianita, granada, grafita, talco, areia e seixos, com aplicações diversas, além de rochas ornamentais e minerais gemológicos.

Desta forma, recomenda-se, para a região mapeada, a realização de estudos com maior nível de detalhamento petrogenético e metalogenético, de modo a caracterizar os ambientes de formação e evolução do orógeno e seus depósitos minerais associados. Esses estudos podem incluir: caracterização da assinatura geoquímica/geocronológica das rochas pertencentes aos diferentes estágio de arco mapeados, tendo como base minerais acessórios como zircão e rutilo, os quais preservam suas assinaturas químicas originais, mesmo quando em rochas submetidas a processos de alteração hidrotermal; datação das idades de cristalização (U-Pb) dos Ortognaisses Mara Rosa, visando delimitar as diferentes gerações e seus potenciais de fertilidade para o sistema pórfiro;pórfiro; análises geoquímicas de precisão nas rochas da Unidade Hidrotermal (ICP/Microsonda Eletrônica), visando identificar concentrações anômalas de elementos de interesse prospectivo e/ou vetores prospectivos, indicativos de fertilidade metalogenética. Do ponto de vista prospectivo, recomenda-se a determinação do *footprint* exploratório, tendo como base aplicação de métodos geofísicos de maior resolução espacial, aliados a análises geoquímicas/geocronológicas.

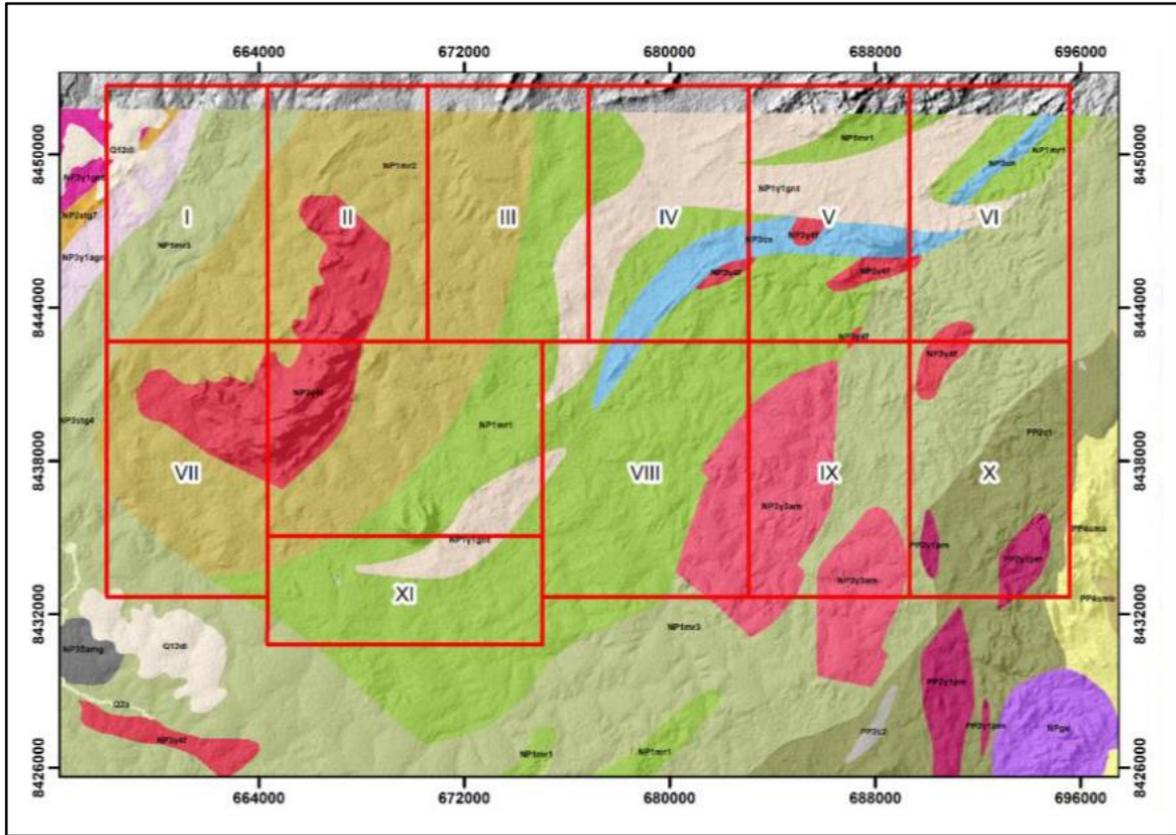


Figura 9.1: Unidades litoestratigráficas da Folha Campinorte (CPRM - Oliveira *et al.*, 2006).

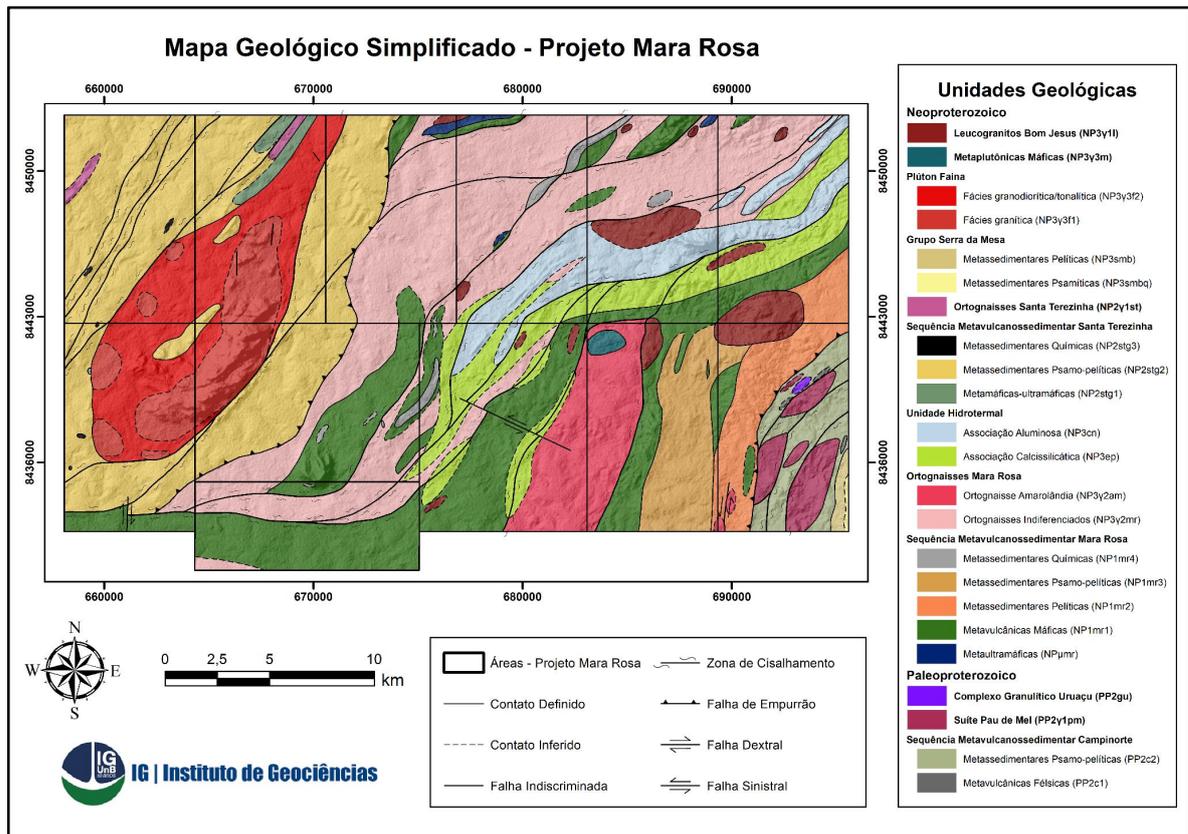


Figura 9.2: Unidades litoestratigráficas mapeadas pelo Projeto Mara Rosa.

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ALENCAR, C. R. A. (2013). Manual de caracterização, aplicação, uso e manutenção das principais rochas comerciais no Espírito Santo: rochas ornamentais. Instituto Euvaldo Lodi-Regional do Espírito Santo. Cachoeiro de Itapemirim/ES: IEL.

ALMEIDA F.F.M. de. 1977. O Cráton do São Francisco. *Rev. Bras. Geoc.*, 7(4):349-364.

ALMEIDA, F. F. M. DE, HASUI, Y., DE BRITO NEVES, B. B., FUCK, R. A. (1981). Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth-Science Reviews*, 17(1-2), 1-29.

ALVARENGA, CARLOS JOSÉ SOUZA DE; OLIVEIRA, CLAUDINEI GOUVEIA DE; OLIVEIRA, FREDERICO BEDRAN; DANTAS, ELTON LUIZ; FUCK, REINHARDT ADOLFO. (2007). MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA CPRM-SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL: Geologia da Folha Campinorte, Arco Magmático de Goiás.

ARANTES, D., BUCK, P.S., OSBOURNE, G.A., PORTO, C.G., 1991. A Sequência vulcano-sedimentar de Mara Rosa e mineralizações auríferas associadas. *Boletim Informativo da SBG, Núcleo Centro-Oeste*, pp. 27–40.

ARAÚJO FILHO, JOSÉ OSWALDO DE. The Pirineus Syntaxis: An example of the intersection of two Brasiliano fold-thrust belts in central Brazil and its implications for the tectonic evolution of western Gondwana. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 30, n. 1, p. 144-148, 2000.

BARBOSA, O. Guia de Excursões do IX Congresso da Sociedade Brasileira de Geologia. *Noticiário nº 3, Sociedade brasileira de Geologia*, Rio de Janeiro, 1955.

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

BLOCK, L. & ROYDEN, L.H., 1990, Core complex geometries and regional scale flow in the lower crust. *Tectonics*, 9, 557-567.

BRITO NEVES, B.B.; CAMPOS NETO, M.D.C.; FUCK, R.A. From Rodinia to Western Gondwana: An approach to the Brasiliano-Pan African cycle and orogenic collage. *Episodes*, v.22, n. 3, p. 155–166, 1999.

BUCK, W.R., 1988, Flexural rotation of normal faults. *Tectonics*, 7, 959-973.

CABY, RENAUD. and implications for plate tectonics in the trans-Saharan segment of the Pan-African belt. *Eur. J. Mineral*, v. 6, p. 235-244, 1994.

CAMPOS NETO, MARIO DA COSTA; CIOFFI, CAUÊ RODRIGUES. Texturas metamórficas de granulitos de alta pressão da Klippe Carvalhos, borda sul do Cráton do São Francisco. *Anais*, 2008.

CAMPOS-NETO M. 1979. Contribution à l'étude des Brasilides. Litostratigraphie et structure des Groupes Canastra, Paranoá e Bambuí dans l'ouest-nord-ouest de l'Etat de Minas Gerais, Brésil. Thèse de 3e. Cycle, Univ. de Paris VI, France 155pg.

Cardoso, M. R. D., Marcuzzo, F. F. N., & Barros, J. R. (2014). Classificação climática de Köppen-Geiger para o estado de Goiás e o Distrito Federal.

CHIARINI, MARCUS FLÁVIO NOGUEIRA. Contribuição da aerogeofísica na caracterização de suturas e de sistemas transcorrentes: o exemplo de Porangatu, Brasil Central. 2007. 134 f. Dissertação (Mestrado em Geologia)-Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

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". *Climatempo*, 2022. Disponível em: <<https://www.climatempo.com.br/climatologia/4945/mararosa-br>>. Acesso em: 29, agosto de 2022.

CONEY, P.J. & HARMS, T.A., 1984, Cordilleran metamorphic core complexes: Cenozoic extensional relics of Mesozoic compression. *Geology*, 12, 550-554.

CONEY, P.J., 1980, Cordilleran metamorphic core complexes. In: Crittenden, M.D., Coney, P.J., and Davis, G.H., (Eds.), *Cordilleran Metamorphic Core Complexes*, GSA Memoir 153, Geological Society of America, Boulder, 7-34.

CORDANI, U. G., PIMENTEL, M. M., DE ARAÚJO, C. E. G., FUCK, R. A. 2013. The significance of the Transbrasiliano-Kandi Tectonic corridor for the amalgamation of west gondwana. *Brazilian Journal of Geology*, 43(3), 583-597.

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

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, PEDRO FILIPE DE OLIVEIRA; OLIVEIRA, CLAUDINEI GOUVEIA DE. The Goiás Massif: Implications for a pre-Columbia 2.2–2.0 Ga continent-wide amalgamation cycle in central Brazil. *Precambrian Research*, v. 298, p. 403-420, 2017.

D'EL-REY SILVA L.J.H, OLIVEIRA I.L., POHREN, C.B., TAMIZAKI, M.L.N., CARNEIRO, R.C., FERNANDES G.L.F., ARAGÃO, P.E. 2011. Coeval perpendicular shortenings in the Brasilia belt: collision of irregular plate margins leading to oroclinal bending in the neoproterozoic of Central Brazil. *Journal South Am. Earth Sciences* 32: 1-13.

D'EL-REY SILVA, L.J.H., DE VASCONCELOS, M.A.R., SILVA, D.V.G., 2008. Timing and role of the Maranhão River Thrust in the evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt and Tocantins Province, central Brazil. *Gond. Res.* 13, 352–374.

DANTAS, E. L., JOST, H., FUCK, R. A., BROD, J. A., PIMENTEL, M. M.; MENESES, P. R., 2001. Proveniência e idade deposicional de sequências vulcano-sedimentares da região de Santa Terezinha de Goiás, baseada em dados isotópicos Sm-Nd e U-Pb em monocristal de zircão. *Revista Brasileira de Geociências* 31(3): p. 329-33.

DANTAS, ELTON; FILHO, JOSÉ; OLIVEIRA, CLAUDINEI; CHIARINI, MARCUS; FUCK, REINHARDT; SORDI, DIOGO. (2007). MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA CPRM-SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL: Geologia da Folha Porangatu, Arco Magmático de Goiás.

DARDENNE, M. A. 1981. Os grupos Paranoá e Bambuí na faixa dobrada Brasília. *SBG, Simp. Cráton São Francisco*, 1, 104-157. 36.

DARDENNE M.A. 2000. The Brasília Fold Belt. In: U.G. Cordani, E.J. Milani, A. Thomaz Filho & D.A. Campos. 2000. Tectonic evolution of South America. 31 st International Geological Congress, Rio de Janeiro, SBG. p. 231-263.

DIRETORIA DE GEOCIÊNCIAS (IBGE/DGC), “Mapa de Solos da Folha SD.22 – Goiás”; Atualização 12 de junho de 2018; Disponível em:<[https://dados.gov.br/dataset/cren\\_vegetacaosd22](https://dados.gov.br/dataset/cren_vegetacaosd22)>; Acesso em: 27 de agosto de 2022.

DIRETORIA DE GEOCIÊNCIAS (IBGE/DGC), “Mapa de Vegetação da Folha SD.22 – Goiás”; Atualização 12 de junho de 2018; Disponível em:<[https://dados.gov.br/dataset/cren\\_vegetacaosd22](https://dados.gov.br/dataset/cren_vegetacaosd22)>; Acesso em: 27 de agosto de 2022.

DIRETORIA DE GEOCIÊNCIAS (IBGE/DGC), “Mapa Geomorfológico da Folha SD.22 – Goiás”; Atualização 12 de junho de 2018; Disponível em:<[https://dados.gov.br/dataset/cren\\_vegetacaosd22](https://dados.gov.br/dataset/cren_vegetacaosd22)>; Acesso em: 27 de agosto de 2022.

EMBRAPA, 2022. ALOS - Advanced Land Observing Satellite. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/alos>. Acesso em: 17 de julho de 2022.

EMBRAPA, 2022. ALOS - Advanced Land Observing Satellite. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/alos>. Acesso em: 17 de julho de 2022.

FERREIRA F. J. F., WEIHERMANN J. D., BARÃO L. M., FEDALTO G., CASTRO L. G., STEVANATO R. 2016. Gamaespectrometria Aérea e sua Aplicação na Cartografia Geológica. In: Nadalin R. J. (eds.) Tópicos Especiais em Cartografia Geológica. 2ª ed, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 303-335 p.

FERREIRA FILHO, C. F., DE MORAES, R., FAWCETT, J. J., & NALDRETT, A. J. (1998). Amphibolite to granulite progressive metamorphism in the Niquelândia Complex, central Brazil: regional tectonic implications. *Journal of South American Earth Sciences*, 11(1), 35-50.

Ferreira, A. T. R. (2020). Magmatismo toniano do arco intra-oceânico Mara Rosa, província Tocantins, Brasil: significado tectônico e implicação na mineralização de Cu-Au pórfiro.

FILGUEIRAS, B. D. C. (2015). Depósito vulcanogênico polimetálico (Zn, Pb, Cu±(Ag-Bi)) Artulândia, Arco Magmático Paleoproterozóico Campinorte, Brasil Central.

FOSSÉN, HAAKON. Geologia estrutural. São Paulo: Oficina dos textos, 2012, p. 428-429.

FRASCA, Antonio Augusto Soares. Amálgamas do W-Gondwana na província Tocantins. 2015. Tese de Doutorado.

FREITAS-SILVA, F.H. 1991. Enquadramento lito-estratigráfico e estrutural do depósito de ouro de Morro do Ouro, Paracatu/MG. Dissertação de Mestrado, UnB-IG, 151p.

FUCK R. A. DANTAS, E.L.; PIMENTEL, M.M.; JUNGES, S.L.; MORAES, R., 2002. Nd Isotopes, U-Pb Single Grain and SHRIMP Zircon Ages From Basement Rocks of the Tocantins Province. In: SSAGI, 4, Pucón, Chile, CD.81.

FUCK R. A., PIMENTEL M. M., SOARES J. E. P., DANTAS E. L. 2005. Compartimentação da Faixa Brasília. Em: IX Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, 9, Anais..., SBG p.26-27.

FUCK R.A.; PIMENTEL M.M. & D'EL - REY SILVA L .J. 1994. Compartimentação Tectônica na porção oriental da Província Tocantins. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 38, Camboriú (SC), Anais, p.215-216.

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

FUCK, R. A., DANTAS, E. L., SORDI, D. A. D., CHIARINI, M. F. N., OLIVEIRA, C. G. D., & ALVARENGA, C. J. S. D. (2007). Geologia da folha Santa Terezinha de Goiás SD. 22-ZA-III.

FUCK, R. A., PIMENTEL, M. M., ALVARENGA, C. J., & DANTAS, E. L. (2017). The northern Brasília belt. São Francisco Craton, Eastern Brazil: Tectonic Genealogy of a Miniature Continent, 205-220.

FUCK, R.A., DANTAS, E.L., PIMENTEL, M.M., LAUX, J.H., JUNGES, S.L., OLIVEIRA, C.G., SORDI, A.D., CHIARINI, M.F.N., 2006. The Santa Terezinha sequence, Goiás magmatic arc, central Brazil: constraints from U-Pb and Sm-Nd data. Short Papers and V South American Symposium on Isotope Geology, Punta del Este.

FUCK, REINHARDT ADOLFO; PIMENTEL, MARCIO MARTINS; NEVES, BENJAMIM BLEY DE BRITO. The Brasiliano collage in South America: a review. Brazilian Journal of Geology, v. 44, p. 493-518, 2014.

GANS, P.B., 1987, An open-system, two-layer crustal stretching model for the eastern Great Basin. Tectonics, 6, 1-12.

GEOSGB. Geologia.GIS, CPRM, 2022. Disponível em: <https://geosgb.cprm.gov.br/>. Acesso em: agosto de 2022.

GIUSTINA, M. E., DELLA, OLIVEIRA, C. G., PIMENTEL, M. M., DE 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., PIMENTEL, M.M., FERREIRA FILHO, C.F., FUCK, R.A., ANDRADE, S., 2011. U-Pb-Hf-trace element systematics and geochronology of zircon from à granulite-facies metamorphosed mafic-ultramafic layered complex in Central Brazil. Precambr. Res. 189, 176–192.

GIUSTINA, MARIA EMILIA SCHUTESKY DELLA. Geologia e geocronologia da sequência Vulcano-sedimentar Campinorte e do Complexo Uruaçu, província Tocantins. 2007. 106 f. Dissertação (Mestrado em Geologia)-Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

GUNN, P. J.; DENTITH, M. C. Magnetic responses associated with mineral deposits. AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics, v. 17, p. 145-158, 1997.

HASUI Y., ALMEIDA F.F.M. De 1970. Geocronologia do Centro Oeste Brasileiro, Rev. Bras. Geociências 19 (1): 6-26.

HAUSER, E.C., GEPHART, T., LATHAM, T., BOWN, L., KAUFMAN, S., OLIVER, J., AND LUCCHITTA, I., 1987, COCORP Arizona transect: Strong crustal reflection data: GSA Bulletin, 99, 833-844.

INPE, 2020. Lançamento CBERS 04A. Disponível em: <http://www.cbbers.inpe.br/lancamentos/cbbers04a.php>. Acesso em: 17 de julho de 2022.

INPE, 2020. Lançamento CBERS 04A. Disponível em: <http://www.cbbers.inpe.br/lancamentos/cbbers04a.php>. Acesso em: 17 de julho de 2022.

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

JAQUES A.L., WELLMAN P., WHITAKER A., WYBORN D. 1997. High-resolution Geophysics in Modern Geological Mapping. AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics, 17(2): 159- 173.

JUNGES, S. L., PIMENTEL, M. M., DANTAS, E. L., & LAUX, J. H. (2002). Idades U-Pb de granitos sin-a tardi-tectônicos do Arco de Mara Rosa, Goiás. In 41 Congresso Brasileiro de Geologia, João Pessoa (p. 312).

JONGES, S. L., PIMENTEL, M. M., DANTAS, E. L., & LAUX, J. H. (2003). New ID-TIMS U-Pb ages in the western portion of the Mara Rosa Arc: two hundred million years of arc building. In Symposium on Isotope Geology.

JUNGES, SÉRGIO LUIS; PIMENTEL, MÁRCIO MARTINS; DE MORAES, RENATO. Nd isotopic study of the Neoproterozoic Mara Rosa Arc, central Brazil: implications for the evolution of the Brasília Belt. Precambrian Research, v. 117, n. 1-2, p. 101-118, 2002.

KEAREY, P., BROOKS, M., & HILL, I. (2009). Geofísica de Exploração. Ed. São Paulo: Oficina de Textos.

KRÖNER, ALFRED; CORDANI, UMBERTO. African, southern Indian and South American cratons were not part of the Rodinia supercontinent: evidence from field relationships and geochronology. Tectonophysics, v. 375, n. 1-4, p. 325-352, 2003.

KUNZ, K.F.; PEREIRA H.T.S. Zonas de Cisalhamento: Canais de percolação de fluidos hidrotermais mineralizantes em rochas do embasamento da Faixa Seridó,

Província Borborema. 49º Congresso Brasileiro de Geologia, 20 a 24 de agosto de 2018 – Rio de Janeiro.

KUYUMJIAN, R. M., OLIVEIRA, C. G., CAMPOS, J. E. G. & QUEIROZ, C. L. 2004. Geologia do limite entre os terrenos arqueanos e o arco magmático de Goiás na região de Chapada-Campinorte, Goiás. *Revista Brasileira de Geociências*, 34(3), 329–334.

LACERDA, H. (1986). As mineralizações auríferas da região de Mara Rosa, GO. *Revista Brasileira de Geociências*, 16(3), 274-284.

LACERDA FILHO, JOFFRE VALMÓRIO DE; REZENDE, ABELSON; SILVA, AURELENE DA. Geologia e recursos minerais do estado de Goiás e Distrito Federal: texto explicativo dos mapas geológico e de recursos minerais do estado de Goiás e Distrito Federal. Goiânia: CPRM; METAGO; UNB, 1999. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB.

LAUX, J.H. (2004). Evolução do Arco Magmático de Goiás com base em dados geocronológicos U-Pb e Sm-Nd. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Brasília.

LAUX, J. H., PIMENTEL, M. M., DANTAS, E. L., ARMSTRONG, R., & JUNGES, S. L. (2005). Two Neoproterozoic crustal accretion events in the Brasília belt, central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 18(2), 183-198.

Levantamento Aerogeofísico do Estado de Goiás – 1ª Etapa – Convênio SGM/TM / MME / SIC / SGM / FUNMINERAL – Arco Magmático de Mara Rosa – Relatório Final do Levantamento e Processamento dos dados Magnetométricos e Gamaespectrométricos – Volume I – Texto Técnico – 2004. LASA Engenharia e Prospecções. 159p.

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

MAMEDE, L., NASCIMENTO, M. A. L.S . do. Geomorfologia. In: BRASIL. MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. SECRETARIA-GERAL. Projeto RADAMBRASIL. Folha SD.22 - Goiás. Rio de Janeiro:RadamBrasil, 1981. (Levantamento de Recursos Naturais, 25).

MARINI, O. J., FUCK, R. A., DARDENNE, M. A., & FARIA, A. D. (1977). Contribuição à geologia do Pré-Cambriano da porção central de Goiás. *Rev. Bras. Geoc*, 7(4), 304-324.

MARINI, O.J., FUCK, R.A., DARDENNE, M.A., DANNI, J.C.M., 1984. Província Tocantins: setores Central e Sudeste. In: Almeida, F.F.M., Hasui, Y. (Eds.), *O Pré-cambriano do Brasil*. E. Blücher, São Paulo, pp. 205–264.

MARQUES, G.C., 2009. Geologia dos Grupos Araí e Serra da Mesa e seu embasamento no sul de Tocantins. MSc Thesis. IG-UnB, p. 116.

MARQUES, GUSTAVO CAMPOS. Evolução tectônica e metalogenética no contexto do depósito aurífero de Fazenda Nova, Arco Magmático de Arenópolis, Goiás. 2017. xii, 169 f., il. Tese (Doutorado em Geologia)—Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

MARQUES, GUSTAVO CAMPOS. Geologia dos grupos Araí e Serra da Mesa e seu embasamento no sul do Tocantins. 2009.

Martins-Ferreira, M. A. C., Chemale Jr, F., Dias, A. N. C., & Campos, J. E. G. (2018). Proterozoic intracontinental basin succession in the western margin of the São Francisco Craton: constraints from detrital zircon geochronology. *Journal of South American Earth Sciences*, 81, 165-176.

MATTEINI, M., JUNGES, S. L., DANTAS, E. L., PIMENTEL, M. M., & BÜHN, B. (2010). In situ zircon U–Pb and Lu–Hf isotope systematic on magmatic rocks: insights on the crustal evolution of the Neoproterozoic Goiás Magmatic Arc, Brasília belt, Central Brazil. *Gondwana Research*, 17(1), 1-12.

MAURO, C. A. de; DANTAS, M.; ROSO, F. A. Geomorfologia. In: BRASIL. MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. SECRETARIA-GERAL. Projeto RADAMBRASIL. Folha SD.23-Brasília. Rio de Janeiro, RadamBrasil. 660p. (Levantamento de Recursos Naturais, 29) p. 205-96. 1982.

MEERT, J. G. 2003. A synopsis of events related to the assembly of eastern Gondwana. *Tectonophysics*, 362, 1–40.

MELO, L. V. 2006. Compartimentação geocronológica dos depósitos de Cu-Au e Au do Distrito Chapada-Mara Rosa-Campinorte no Arc Magmático de Goiás, Brasil

Central 2006. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília.

NASCIMENTO, MARIA AMÉLIA S. DO. Geomorfologia do Estado de Goiás, Boletim Goiano de Geografia. 12(1):1-22, Janeiro/Dezembro. 1992.

OLIVEIRA, C. G. DE, 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 metallogensis of a Neoproterozoic large porphyry-type deposit. *Ore Geology Reviews*, 72, 1-21.

OLIVEIRA, C. G., DE QUEIROZ, C. L., & PIMENTEL, M. M. (2000). The Arenópolis-Mara Rosa gold-copper belt, neoproterozoic goiás magmatic arc. *Revista Brasileira Geociências*, 30, 219-221.

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., PIMENTEL, M. M., DE MELO, L. V., & FUCK, R. A. (2004). The copper–gold and gold deposits of the Neoproterozoic Mara Rosa magmatic arc, central Brazil. *Ore Geology Reviews*, 25(3-4), 285-299.

OLIVEIRA, C.G., OLIVEIRA, F.B., DANTAS, E.L., FUCK, R.A., 2006. Programa Geologia do Brasil– Folha Campinorte. FUB/CPRM, Brasília, pp. 124.

OLIVEIRA, FREDERICO BREDAN. Características epigenéticas do depósito de Cu-Au Chapada, arco magmático de Goiás. 2009.

PALERMO, N., 1996. Le Gissement aurifère précambrien de Posse (Goiás, Bresil) dans sou cache géologique. These de doctorat, ENSPM, Paris, 175p+annexes.

PALERMO, NELY; PORTO, CLAUDIO GERHEIM; COSTA JUNIOR, C. N. The Mara Rosa gold district, central Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 30, n. 2, p. 256-260, 2000.

PEREIRA, L.F. 1992. Relações tectono-estratigráficas entre as unidades Canastra e Ibiá na região de Coromandel, MG. Dissertação de Mestrado, UnB-IG, 73p.

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 FILHO 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.) *Tectonic Evolution of South America. International Geological Congress, 31st, Rio de Janeiro*, p. 195-230.

PIMENTEL, M. M., FUCK, R. A., JOST, H., FERREIRA FILHO, C. F., ARAÚJO, S. D. (2000). The basement of the Brasília fold belt and the Goiás magmatic arc. In *Tectonic Evolution of South America. 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro (Vol. 195-229)*.

PIMENTEL, M. M., JOST, H. & FUCK, R. A. 2004. O embasamento da Faixa Brasília e o Arco Magmático de Goiás. In: MANTESSO NETO, V BARTORELLI, A., CARNEIRO, C. D. R. & BRITO-NEVES, B. B. (eds) *Geologia do Continente Sul-Americano: evolução e obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Beca, São Paulo, 355–368.

PIMENTEL, M. M., RODRIGUES, J. B., DELLAGIUSTINA, M. E. S., JUNGES, S., MATTEINI, M., ARMSTRONG, R. (2011). The tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil, based on SHRIMP and LA-ICPMS U–Pb sedimentary provenance data: a review. *Journal of South American Earth Sciences*, 31(4), 345-357.

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

PIMENTEL, M.M., JOST, H., FUCK, R.A., ARMSTRONG, R.A., DANTAS, E.L., POTREL, A., 2003. Neoproterozoic Anatexis of 2.9 Ga old granitoids in the Goiás-Crixás Archean Block, Central Brazil: evidence from new SHRIMP U-Pb data and Sm-Nd isotopes. *Geol. USP - Série Científica* 3, 1–12.

PIMENTEL, M. M., WHITEHOUSE, M. J., VIANA, M. D. G., FUCK, R. A., & NUNO, M. (1997). The Mara Rosa arch in the Tocantins province: Further evidence for

neoproterozoic crustal accretion in Central Brazil. *Precambrian Research*, 81(3-4), 299-310.

PIMENTEL, MÁRCIO MARTINS. The tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil: a geochronological and isotopic approach. *Brazilian Journal of Geology*, v. 46, p. 67-82, 2016.

PIMENTEL, MÁRCIO MARTINS; FUCK, REINHARDT ADOLFO. Neoproterozoic crustal accretion in central Brazil. *Geology*, v. 20, n. 4, p. 375-379, 1992.

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

REYNOLDS, S. J., REHRIG, W. A., CRITTENDEN, M. D., CONEY, P. J., & DAVIS, G. H. (1980). Mid-Tertiary plutonism and mylonitization, South Mountains, central Arizona. In *Cordilleran metamorphic core complexes* (Vol. 153, pp. 159-175). Geological Society of America Memoir Boulder.

RICHARDSON, S. V., KESLER, S. E., ESSENE, E. J., & JONES, L. M. (1986). Origin and geochemistry of the Chapada Cu-Au deposit, Goias, 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.

ROSA, MARIA LUIZA CORREA DA CAMARA; TOMAZELLI, L. J., COSTA, A. F. U., & BARBOZA, E. G. Integração de métodos potenciais (gravimetria e magnetometria) na caracterização do embasamento da região sudoeste da Bacia de Pelotas, sul do Brasil. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 27, n. 4, p. 641-657, 2009.

RUDORRF, B.F.T. *Produtos de Sensoriamento Remoto*. INPE, 2022. Disponível em: <http://www3.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>. Acesso em: 17 de julho de 2022.

SADOWSKI, Georg Robert. Complexos de núcleos metamórficos: possíveis exemplos no pré-cambriano brasileiro. *Boletim IG-USP. Publicação Especial*, 1991, no 9, p. 63-65.

SANO, E. E., DAMBRÓS L.A., CÉSAR DE OLIVEIRA G., BRITES R.S. 2007. Padrões de cobertura de solos do Estado de Goiás. In: *Cânone Editoração Ltda* (eds.) A

encruzilhada socioambiental biodiversidade, economia e sustentabilidade no cerrado. Goiânia, 85-100p.

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.

SASS, JOHN H.; LACHENBRUCH, ARTHUR H. Heat flow and conduction-dominated thermal regimes. Assessment of Geothermal Resources of the United States. United States Geological Survey Circular, v. 790, p. 8-11, 1978.

SCHOBENHAUS, C., & BRITO NEVES, B. B. D. (2003). A geologia do Brasil no contexto da Plataforma Sul-Americana. Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. Brasília, CPRM, 5-25.. In: BIZZI, L. A., SCHOBENHAUS, C., VIDOTTI, R. M. & GONÇALVES, J. H. (Editores.) Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. CPRM-SGB - Brasília, 2003, 674p; p. 449- 499. 2003.

SONDERS, LESLIE J. , AND CRAIG H. JONES, 1999, Western United States Extension: How the West was Widened, Annu. Rev Earth Planet. Sci, 27, pg. 417-62.

SOUZA, J. O.; LEÃO NETO, R. Projeto estudo dos garimpos brasileiros: mapeamento geológico da área do garimpo de esmeralda de Santa Terezinha de Goiás, GO. Relatório Preliminar, DNPM/CPRM, Goiânia, 1984.

SPENCER, J.E. 1984. Role of tectonic denudation in warping and uplift of low-angle normal faults. Geology, 12, 95-98.

STRECKEISEN, Albert L. Classification and nomenclature of igneous rocks. N. Jb. Miner., v. 107, p. 144-240, 1967.

THOMPSON, G.A. & MCCARTHY, J. 1990. A gravity constraint on the origin of highly extended terranes. Tectonophysics, 174, 197-206.

UHLEIN, A., FONSECA, M. A., SEER, H. J., & DARDENNE, M. A. (2012). TECTÔNICA DA FAIXA DE DOBRAMENTOS BRASÍLIA–SETORES SETENTRIONAL E MERIDIONAL. Geonomos.

UHLEIN, A., FONSECA, M. A., SEER, H. J., & DARDENNE, M. A. (2012). TECTÔNICA DA FAIXA DE DOBRAMENTOS BRASÍLIA–SETORES SETENTRIONAL E MERIDIONAL. Geonomos.

VALERIANO C.M., DARDENNE M.A., FONSECA M.A., SIMÕES L.S.A., SEER H.J. 2004. A evolução tectônica da Faixa Brasília. In: V. Mantesso-Neto A. Bartorelli C.D.R. Carneiro B.B. Brito Neves (eds). Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. Beca, São Paulo, p.575-593.

VALERIANO C.M., PIMENTEL M.M., HEILBRON M., ALMEIDA J.C.H., TROUW R.A.J. 2008. Tectonic evolution of the Brasília Belt, Central Brazil, and early assembly of Gondwana. In: R.J. Pankhurst, R.A.J. Trouw, B.B. Brito Neves, M.J. De Wit (eds) West Gondwana: pre Cenozoic correlations Across the South Atlantic region. Geological Society, London, Special Publication, 294:197-210.

VALERIANO, C. D. M., PIMENTEL, M. M., HEILBRON, M., ALMEIDA, J. C. H., TROUW, R. A. J. (2008). Tectonic evolution of the Brasília Belt, Central Brazil, and early assembly of Gondwana. Geological Society, London, Special Publications, 294(1), 197-210.

VALERIANO, C. M., MACHADO, N., SIMONETTI, A., VALLADARES, C. S., SEER, H. J., SIMÕES, L. S. A. (2004). U–Pb geochronology of the southern Brasília belt (SE-Brazil): sedimentary provenance, Neoproterozoic orogeny and assembly of West Gondwana. Precambrian Research, 130(1-4), 27-55.

VIANA, M.G., PIMENTEL, M.M., WHITEHOUSE, M.J., FUCK, R.A., MACHADO, N., 1995. O arco magmático de Mara Rosa, Goiás: geoquímica e geocronologia e suas implicações regionais. Rev. Brasil. Geociên. 25 (2), 111–123.

VIANA, M. D. G., PIMENTEL, M. M., WHITEHOUSE, M. J., FUCK, R. A., & MACHADO, N. (1995). O arco magmático de Mara Rosa, Goiás: dados geoquímicos e geocronológicos e suas implicações regionais. Brazilian Journal of Geology, 25(2), 111-123.

WERNICKE, B. & AXEN, G.J., 1988. On the role of isostasy in the evolution of normal fault systems. Geology, 16, 848-851.

WERNICKE, B. 1985. Theory of large-scale, uniform-sense normal simple shear of the continental lithosphere. *Canada J. Earth Sci.*, 22, 108-125.