

Isabella Conelian Fabbron Joyce de Souza Ribeiro Matheus José Moreira

# Mapeamento Geológico 1:25.000 Projeto Mara Rosa Área II

Brasília 2023

# Universidade de Brasília - UnB

Instituto de Geociências Curso de Graduação em Geologia

Isabella Conelian Fabbron – 16/0125651 Joyce de Souza Ribeiro – 16/0128617 Matheus José Moreira - 16/0138221

# Projeto Mara Rosa

# Área II

Orientadores:

Claudinei Gouveia de Oliveira (coordenador) Maria Emília Schutesky Della Giustina Natália Hauser Roberta Vidotti Elton Luiz Dantas Gustavo Viegas Guilherme Gonçalves Valmir Silva Souza Banca Examinadora:

Profa. Dra. Natalia Hauser Profa. Dra. Paola Ferreira Barbosa Prof. Dr. Caio Arthur Santos

Brasília 2023

# DEDICATÓRA

Ao Laercio e à Helena



A vida vem em ondas, como um mar. Num indo e vindo infinito. - Lulu Santos

#### AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus e a minha família, meus pais Laércio (*in memoriam*) e Helena (*in memoriam*), os quais partiram a menos de um ano, e sempre me deram todo apoio e incentivo necessário, e tudo que fizeram por mim foi essencial para que eu chegasse aonde sonharam me ver, sempre irei amar vocês. Aos meus irmãos, agradeço a união, companheirismo, e por me apoiarem em todas as minhas decisões, em especial ao Bruno, por todo apoio no último ano.

Com amor, agradeço a minha namorada Maria Clara, que foi quem me apoiou e esteve do meu lado nos piores momentos. Foram longos anos, e seu apoio foi fundamental nessa caminhada, obrigado por toda ajuda e companheirismo durante esse tempo.

Agradeço as minhas amigas da vida e de TF (Isabella e Joyce), por me estenderem a mão quando mais precisei (nunca esquecerei disso), e por compartilharem tantos momentos incríveis e de amizade durante esse Trabalho Final. Foi um prazer compartilhar esses momentos com vocês, sempre seremos o trio 122!!

Agradeço aos professores que passaram pela minha graduação, e na coordenação deste trabalho, todos tiveram a sua importância no meu aprendizado e crescimento, em especial a Professora Natália Hauser, pelo apoio durante a produção deste relatório, e pelos conselhos e conversas sobre a vida, seu lado humano é um diferencial como professora.

Aos motoristas do IG, agradeço por nos conduzir durante toda a graduação em nossos trabalhos de campo. Aos meus amigos e colegas que sabem da sua importância, meu muito obrigado.

Que seja o início de uma nova jornada, de sucesso e prosperidade.

Matheus José Moreira

Muito difícil descrever o sentimento de estar encerrando um ciclo tão importante para minha vida. Não é um ciclo qualquer, é um sonho virando realidade, tornar-me geóloga. Apesar dessa conquista ser minha, ela não seria possível sem o apoio das pessoas que estiveram comigo nessa jornada, seja de perto ou de longe.

Assim, gostaria de agradecer enormemente meus pais, Cláudio e Valéria e minha irmã, Laura, por terem confiado na minha escolha profissional e por terem me dado todo suporte que precisei. Agradeço também a família que construí em Brasília e as amizades sinceras. Com isso, fico muito lisonjeada de poder fechar esse último trabalho ao lado de dois parceiros de vida, Matheus e Joyce.

Faço um apelo especial para a pessoa mais importante durante o processo todo, minha amiga Joyce de Souza Ribeiro. Desde o primeiro dia de aula estamos juntas e é maravilhoso ver nossa evolução tanto pessoal quanto profissional. Sou eternamente agradecida pelas trocas, pelo cuidado e pelo impulso. Eu sei que o futuro será próspero para nós. Para ela eu tenho certeza.

Enfim, eu sou sinceramente grata por tudo o que a geologia me proporcionou. Pelos lugares que passei e deixei um pedaço de mim. Pelas pessoas que conheci que me mudaram a forma de ver o mundo. E claro, por todo conhecimento geológico adquirido através de professores excelentes, em especial àqueles preocupados com a formação acadêmica, divulgação científica e ciência de qualidade. Devo minha graduação em geologia pela Universidade de Brasília aos brasileiros que me bancaram durante todos esses anos, pretendo um dia retribuir. Viva o ensino público de qualidade!

Hoje, mais do que nunca, eu tenho convicção de que os seres humanos, por mais que tentem muito, e até descubram alguns funcionamentos da natureza, nunca compreenderão os mistérios do planeta. Eu seguirei tentando, mesmo que em vão, desvendá-los.

É, talvez a sensação de finalizar a graduação seja felicidade mesmo. Com uma pitada de nostalgia e ansiedade!

Pronta para novos desafios, agora como geóloga!

Isabella Conelian Fabbron

Mesmo quando tudo pede um pouco mais de calma, a vida não para. Minha graduação foi marcada por dois anos de instabilidades e incertezas. Apesar de desejar que o mundo tivesse tomado outro rumo, não posso conceber uma outra realidade se não a em que existo. Então, o apreço por quem tornou essa jornada menos árdua de alguma forma é tudo que posso fazer.

Agradeço a Deus pelo dom da vida e por me permitir conhecer um pouco mais o planeta Terra. Agradeço também aos meus pais, Rosely e Mario, irmão, Arthur, por me ensinarem a fazer o justo, com a certeza de que estou amparada. Em especial, destaco o primeiro geólogo que conheci e que me apresentou o caminho das rochas, meu irmão Vinícius. A todos meus amigos que choraram quando chorei e sorriram quando sorri, obrigada por me trazerem até aqui.

Agradeço também aos meus amigos de vida, Matheus José Moreira e Isabella Conelian Fabbron, com quem cresci ao longo do último ano. Encerrar esse ciclo com quem conheci no primeiro dia de aula é uma enorme honra. O Matheus tem uma chama de paz e carinho no seu coração. Obrigada por compartilhar comigo, meu amigo.

Sei que não existem palavras suficientes para agradecer a Isabella por sua amizade e parceria nos últimos 6 anos. Quando nos conhecemos éramos duas crianças com vontade de desvendar o mundo. Tenho orgulho das mulheres e geólogas que nos tornamos. Obrigada por estar comigo nos momentos alegres e, especialmente, nos difíceis. Mal posso esperar para vermos juntas o que o futuro nos reserva!

Ainda, sou grata a Universidade de Brasília e aos milhões de brasileiros que sustentaram meu ensino de excelência. Obrigada aos professores, técnicos e servidores do Instituto de Geociências que me moldaram enquanto cientista e me impulsionaram nesse caminho. Acima de tudo, àqueles que, cingidos de respeito e empatia, se empenham no seu compromisso com o país.

A vida é imprevisível, que possamos desfrutá-la em tempos de paz e preservála em tempos difíceis.

Joyce de Souza Ribeiro

#### **RESUMO**

O Projeto Mara representa o trabalho final de graduação em geologia da Universidade de Brasília em 2022, e envolveu cartografia geológica, na escala de detalhe 1:25 000, realizado no noroeste de Goiás, em região que abrange principalmente o município de Mara Rosa. A área do projeto foi dividida em 10 subáreas de 60 km<sup>2</sup> e uma de 80 km<sup>2</sup>. O presente relatório corresponde aos resultados da Área II. Dois grandes domínios geotectônicos, Maciço de Goiás e o Arco Magmático Goiás, foram cartografados durante o mapeamento. As unidades que compõem o Macico de Goiás Complexo Granulítico foram individualizadas em: Uruaçu; Sequência metavulcanossedimentar Campinorte; Suíte Pau de Mel, que estão recobertos por rochas metassedimentares meso-neoproterozoicas do Grupo Serra da Mesa. O Arco Magmático Goiás (AMG) recobre a maior parte do Projeto e é representado pelas Sequências metavulcanossedimentares Mara Rosa (estágio de arco insular) e Sequência metavulcanossedimentar Santa Terezinha (estágio de arco continental). O enquadramento litoestratigráfico da ampla diversidade de rochas plutônicas que ocorrem na área do AMG, seguiu critérios metamórficos e deformacionais, o que resultou no agrupamento nos seguintes domínios: Plutônicas pré- a sin-tectônicas; e Plutônicas tardi- a pós-tectônicas. As Unidades observadas na Área II, tratadas com maior detalhe neste relatório, são representadas pelas Máfica-Ultramáfica e Metassedimentar Psamo-Pelítica da Sequência Santa Terezinha; pelos Ortognaisses Santa Teresinha e pela intrusiva tardia Plúton Faina. Na Área II essas unidades são justapostas por falhas de empurrão e por sistema de transcorrências. Os objetivos atingidos com a realização do mapeamento geológico do Projeto Mara Rosa (2022) confirmaram que se trata e uma área complexa com a superposição de diversos estágios evolutivos associados ao Arco Magmático de Goiás, segmento Mara Rosa. Foi corroborado que é uma área potencialidade econômica fundamentada, sobretudo, em importantes ocorrências de rochas ricas em cianita e pirita que são interpretadas como litocapas dos depósitos tipo pórfiro de Cu-Au. Dessa forma, a área do Projeto Mara Rosa se torna um alvo importante para a pesquisa de metais que se associam a ambientes geológicos de arcos magmáticos.

**Palavras-chave:** Maciço de Goiás; Arco Magmático Goiás; Sequência Mara Rosa; Sequência Santa Terezinha; Cu-Au pórfiro; Faixa Brasília;

# ÍNDICE

Capítulo 1. Introdução	0
1.1 Objetivos	1
1.1.1 Objetivos Específicos	2
1.2 Localização e Vias de Acesso	2
1.3. Materiais e Métodos	3
1.3.1. Etapa Pré-Campo	3
1.3.2. Etapa de Campo	4
1.3.3. Etapa Pós-campo	5
1.3.4 Padronização	5
1.3.5 Mapeamentos auxiliares	6
1.4. Aspectos Fisiográficos	7
1.4.1 Clima	7
1.4.2 Pedologia	7
1.4.3 Geomorfologia	8
1.4.4 Cobertura Vegetal	9
1.4.5 Hidrografia	_ 10
Capítulo 2. Contexto Geológico	_ 11
2.1 Maciço de Goiás	14
2.2 Segmento Mara Rosa	_16
2.2.1 Sequência Mara Rosa	_16
2.2.2 Sequência Santa Terezinha de Goiás	_17
2.2.3 Rochas intrusivas tardias neoproterozoicas	_ 18
2.2.4 Estruturação, evolução e metalogênese do Segmento Mara Rosa	_18
Capítulo 3. Ferramentas Complementares a Cartografia Geológica	_ 20
3.1 Sensoriamento Remoto	_21
3.1.1 Propriedade dos Dados	_ 22
3.1.2 Processamento dos Dados	24
3.1.3 Elaboração do Mapa Base	_ 28
3.1.4 Interpretações	_ 29
3.2 Aerogeofísica	_ 31
3.2.1 Embasamento Teórico	_ 31
3.2.2 Processamento	_ 32
3.2.3 Análise e Interpretação dos Dados	_40
Capítulo 4. Geologia do Projeto	_ 46

4.1 Arco Magmático Campinorte	49
4.2 Arco Magmático Mara Rosa	49
4.2.1 Unidade Metavulcanossedimentar	49
4.2.2 Unidade Metassedimentar	50
4.2.3 Rochas Intrusivas Pré a Sin-tectônicas	51
4.2.4 Unidade Hidrotermal	51
4.3 Grupo Serra da Mesa	52
4.4 Rochas Intrusivas Tardi a Pós-tectônicas	52
Capítulo 5. Geologia Local	54
5.1 Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha de Goiás	57
5.1.1.1 Unidade Metamáfica-ultramáfica (NP2stg1)	57
5.1.1.2 Unidade Metassedimentar (NP2st2)	60
5.1.1.3 Ortognaisses Santa Terezinha (NP2γ1st)	66
5.2 Intrusivas Sin a Tardi Tectônicas - Plúton Faina (NP3γ3f)	67
Fácies Granítica (NP3y3f1)	68
Fácies granodiorítica-tonalítica (NP3y3f2)	68
Capítulo 6. Geologia Estrutural	74
6.1 Geologia Estrutural do Projeto	75
6.1.1 Domínio I - Transbrasiliano	77
6.1.2 Domínio II - Mara Rosa	77
6.1.3 Domínio III - Bom Jesus	79
6.1.4 Domínio IV - Campinorte	80
5.2 Geologia Estrutural Local	81
5.2.1 Fases Deformacionais	90
Capítulo 7. Geologia Econômica	92
7.1 Recursos Minerais do Projeto Mara Rosa	93
7.1.1 Sistema Pórfiro-Epitermal	93
7.1.2 Sistema Aurífero Orogênico	94
7.1.3 Sistema Residual/Supergênico	94
7.1.4 Minerais e Rochas Industriais	95
7.2 Recursos Minerais da Área II	97
7.2.1 Ocorrências manganesíferas associadas a gonditos	97
7.2.2 Talco	98
7.2.3 Rochas Ornamentais	99
7.2.4 Laterita	100

Capítulo 8.	Evolução Tectônica	 101
Capítulo 9.	Discussões e Conclusões	 108
Capítulo 10	. Referências Bibliográficas	 113

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta o resultado do mapeamento geológico sistemático na escala 1:25.000 da porção oeste do munícipio de Mara Rosa (GO), e faz parte do Projeto Mara Rosa, o trabalho de conclusão do curso de graduação em geologia do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília de 2022. Esta nota explicativa foi realizada sob a orientação da equipe de professores composta por: Claudinei de Oliveira (Coordenador), Elton Dantas, Guilherme Gonçalves, Luís Gustavo Viegas, Maria Emília Giustina, Natália Hauser, Roberta Vidotti e Valmir Souza.

O mapeamento proposto consiste na caracterização de variações litológicas e relações de campo estabelecidas pelas unidades do segmento norte do Arco Magmático Goiás que incluem ortognaisses, sequências supracrustais (sequência Mara Rosa e Santa Terezinha), intrusivas tardias e, também, por rochas relativas ao Maciço de Goiás. Do ponto de vista geotectônico, o estudo da área coopera no entendimento da evolução da Faixa Brasília Setentrional, visto que o Arco Magmático Goiás registra duas etapas cruciais no desenvolvimento da faixa: a primeira relativa à formação de arcos de ilha intraoceânicos e a segunda relacionada à geração de arcos continentais e ao fechamento do oceano Goiás-Pharusian (Laux et al. 2005). Ainda, destaca-se que a área está inserida em um contexto metalogenético importante com potencialidade para depósitos de Cu-Au tipo pórfiro, VMS, skarn e Au orogênico (Oliveira et al, 2016).

Nesse contexto, visto que a área de estudo abrange uma região com carência de cartografia geológica básica em escala de maior detalhe, é imprescindível que essa lacuna no conhecimento geológico seja preenchida. Ao longo do relatório será dado enfoque às feições observadas e descritas na Área II, uma das 11 subáreas definidas para o desenvolvimento do Projeto Mara Rosa.

# 1.1 Objetivos

A execução do Projeto Mara Rosa tem como objetivo central o mapeamento geológico de uma área de 700 km<sup>2</sup>, em escala 1:25.000, compartimentada em 10 subáreas de 62 km<sup>2</sup> e uma de 80 km<sup>2</sup>. Cada dupla ou trio de alunos foi responsável pelo mapeamento de uma das frações, seguindo metodologia tradicionalmente empregada nos trabalhos de campo do curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília.

Ao término do trabalho, foi apresentado um mapa integrado, na escala 1:25.000, e notas explicativas correspondentes a cada fração de área mapeada pelas equipes de estudantes. A nota explicativa contempla: revisão bibliográfica; interpretação geofísica; interpretação de imagens por sensoriamento remoto; petrografia; análise estrutural; potencialidade econômica; e evolução tectono-estrutural.

#### 1.1.1 Objetivos Específicos

Os objetivos Específicos do Projeto Mara Rosa consistem em:

1) Comparação entre unidades cartografadas em trabalhos de mapeamentos anteriores que abarcam a área de estudo.

 Reconhecimento de estruturas e relações de campo que auxiliem no entendimento geológico da área no que se refere a evolução tectônica da porção norte da Faixa Brasília;

# 1.2 Localização e Vias de Acesso

A área referente ao Projeto Mara Rosa está localizada na porção noroeste do estado de Goiás e é definida por um polígono que abrange as cidades de Mara Rosa (sede do projeto) e Alto Horizonte (Figura 1.1). A distância entre Brasília e Mara Rosa é de 347 km e o trajeto entre as duas localidades se dá através da BR-414 até a cidade de Uruaçu, seguida da BR-153 até a cidade de Campinorte. Em torno de 45 km, adentra-se a rodovia GO-239 sentido Mara Rosa. Dentro da área do Projeto Mara Rosa, existem boas estradas não pavimentadas como as GO-573, 347 e 154 que permitem o acesso fácil a todas as áreas.



Figura 1.1. Localização e principais vias de acesso do Projeto Mara Rosa.

# 1.3. Materiais e Métodos

O desenvolvimento do Trabalho Final de Graduação de 2022 (Projeto Mara Rosa) foi realizado entre junho de 2022 a fevereiro de 2023, e foi dividido em três etapas principais: etapas pré-campo, campo e pós-campo. Esta diferenciação tem como base o tipo de atividade realizada e a cronologia das atividades (Tabela 1.1).

Tabala 1 1 Cromograma	de stivide des de Dreiste	Mana Daga da jumba da	2022 a forcemaine de 2022
Tabela 1.1. Cronograma	de auvidades do Profeto	wiara Kosa de julino de	$z_{022}$ a reverence de $z_{025}$ .
		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	

Etapas	Atividades	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev
	Revisão Bibliográfica									
PRÉ	Cap. Interpretação de dados Aerogeofísicos e Sensoriamento Remoto									
CA	Cap. Geologia Regional									
M	Cap. Introdução									
Õ	Mapa Base Integrado									
	Mapa geológico-geofísico integrado e interpretado									
CAMPO	Mapeamento Geológico e confecção do mapa Geológico Preliminar									
	Confecção do mapa Geológico									
	Cap. de Petrografia									
РĆ	Refinamento do mapa geológico									
)S - C	Cap. de Geologia do Projeto Mara Rosa									
AM	Cap. de Geologia Local									
РО	Cap. de Geologia Estrutural									
	Cap. de Geologia Econômica									
	Cap. de Evolução Tectônica									
	Cap. de Conclusões									
	Volume Final									

# 1.3.1. Etapa Pré-Campo

A etapa pré-campo teve início no primeiro semestre letivo de 2022, a partir da segunda quinzena de junho, estendendo-se até o final de setembro de 2022 e contemplou as atividades previstas pela disciplina Preparação do Mapeamento Geológico Final. As atividades realizadas nessa etapa têm como objetivo a preparação e o planejamento para o trabalho de campo.

Para tanto, foi realizada extensa revisão bibliográfica dos trabalhos produzidos na região com foco na assimilação do conhecimento geológico disponível. Esta revisão bibliográfica resultou na confecção do Capítulo 2. Paralelamente, foram realizadas reuniões semanais nas quais foram ministradas palestras e discutidos temas relacionados a geologia da área de estudo, bem como sobre o contexto geológico e geotectônico regional. As reuniões e a revisão bibliográfica nos conduziram a questionamentos e discussões a respeito de hipóteses para a evolução tectônica da área de estudo.

Concomitantemente ao estudo bibliográfico, houve o processamento dos dados provenientes de sensores remotos e aerogeofísicos e a subsequente análise e interpretação dos produtos gerados. Os procedimentos para processamentos dos dados e a metodologia utilizada para o desenvolvimento dos produtos estão apresentados no Capítulo 3.

A análise dos dados oriundos de sensores remotos permitiu o desenvolvimento de dois produtos principais: mapa base e mapa de lineamentos estruturais. O Mapa Base, foi confeccionado a partir da análise de imagens obtidas pelos sensores OLI da missão Landsat 8 e CBERS4A, e pelas imagens da plataforma Google Earth. Esse mapa consiste na extração de informações sobre estradas, rodovias e demais vias de acesso, rede de drenagem, municípios e outros atributos importantes. Já o mapa de lineamentos estruturais, foi efetuado a partir da análise e interpretação do Modelo Digital de Elevação gerado pelo sensor ALOS PALSAR. Esse mapa foi desenvolvido a partir da extração dos lineamentos de drenagem e lineamentos de relevo da região. O processamento dos dados utilizados no sensoriamento remoto foi executado através do *software* ArcGis Pro 2.9.

Os trabalhos envolvendo geofísica incluem processamento e análise dos dados provenientes do aerolevantamento magnetométrico e gamaespectrométrico oriundos do Projeto Aerogeofísico do Estado de Goiás 1ª Etapa: Arco Magmático Mara Rosa. O processamento dos dados foi realizado a partir da utilização do *software* Oasis Montaj versão 2021.2.1. A análise e interpretação dos dados processados levaram a confecção de uma série de mapas que contribuíram tanto para a caracterização da geologia, no caso dos dados gamaespectrométricos, como para a caracterização do arcabouço estrutural do Projeto Mara Rosa, no caso da interpretação dos dados magnéticos.

Por fim, todos os produtos gerados durante esta etapa foram levados ao campo com intuito de viabilizar melhor planejamento durante o campo, assim como auxiliar na análise e definição de unidades e limites litológicos.

#### 1.3.2. Etapa de Campo

A etapa de campo foi realizada entre os dias 16 de setembro a 1 de outubro e constituiu uma série de caminhamentos com o objetivo de mapear a área de estudo em escala 1:25.000, e produzir, assim, um mapa geológico integrado. Para tanto, contou-se com o auxílio de uma van, uma picape, uma kombi e um micro-ônibus, que foram responsáveis pelo translado de alunos e professores entre suas respectivas áreas e o hotel, bem como apoio durante a realização das atividades de campo.

Os perfis realizados na área II foram realizados a pé e, menos frequentemente com o auxílio de uma picape e acompanhamento de um professor. Os caminhamentos escolhidos visaram descrever o maior número de litologias possíveis e foram cuidadosamente planejados com o auxílio dos produtos aerogeofísicos e de sensoriamento remoto previamente gerados durante o primeiro semestre do ano. Assim, os perfis priorizaram caminhamentos perpendiculares às principais feições estruturais da região e visitas a regiões de anomalias gamaespectrométricas e magnéticas.

Durante os perfis foi feita a descrição sistemática dos afloramentos e feições relevantes para execução do trabalho, como geobotânica, pedologia e geomorfologia; extração de medidas estruturais; registros fotográficos; coleta de amostras e produção de perfis geológicos esquemáticos. Para auxiliar os procedimentos de campo utilizou-se como material de apoio os produtos confeccionados etapa pré-campo, bússola, GPS, caderneta, martelo, marreta, lupa, imã e equipamento de proteção individual. Outro material crucial para o desenvolvimento em

campo foi o *smartphone*, através dos aplicativos *Avenza Maps* e *Map Plus* para navegação e o *Clino* para medidas estruturais.

Ao fim de cada dia de campo foram realizadas reuniões com o intuito de discutir litologias e estruturas encontradas pelos grupos e definir a logística de transporte para o dia seguinte. Individualmente, cada grupo realizava, também, a atualização dos pontos executados, compilação de fotos, confecção de mapas, catalogação de amostras e produção da caderneta digital.

Ao longo da etapa de campo, foram visitados 131 pontos na área II (Anexo 1 – Mapa de pontos). A sistemática adotada para descrever e arquivar os dados coletados em campo, que incluem a utilização de tabela de pontos padronizada para todas as áreas e etiquetação das amostras coletadas, foram fundamentais para o desenvolvimento da etapa pós-campo.

# 1.3.3. Etapa Pós-campo

Esta etapa iniciou-se no primeiro dia letivo do segundo semestre de 2022, em outubro, e terminou na primeira quinzena de fevereiro, com a apresentação e defesa dos relatórios. O principal objetivo desta etapa foi organizar e integrar os dados coletados em campo de modo a refinar o mapa geológico. Para cumprir com esse objetivo, foi feita a integração dos dados obtidos nas etapas pré-campo e campo. Nesse momento, os dados de aerogeofísica, sensoriamento remoto e geologia regional foram confrontados com as unidades litológicas cartografadas e com as medidas estruturais obtidas.

Outro fator que contribuiu muito para o refinamento do mapa geológico foi a descrição e caracterização das amostras coletadas a partir das suas descrições macroscópicas e microscópicas, possibilitando o detalhamento das unidades litológicas mapeadas. Foram selecionadas, então, 13 amostras representativas das unidades mapeadas na área II com relevância para a compreensão da geologia estrutural e evolução geológica da região. Estas amostras foram encaminhadas para o laboratório *Geolab* e as seções delgadas produzidas foram descritas em microscópios petrográficos de luz transmitida e refletida utilizando-se técnicas e critérios tradicionais de petrografia. Além disso, foi realizada análise EDS em microssonda eletrônica de um mineral no Laboratório da Microssonda Eletrônica da UnB.

Finalmente, a partir da integração dos dados e descrição das lâminas, foram produzidos os capítulos da Geologia do Projeto Mara Rosa, Geologia Local, Geologia Econômica e Evolução Geotectônica.

# 1.3.4 Padronização

No presente relatório, utilizou-se a nomenclatura de acordo com padrão da International Union of Geological Sciences (IUGS) para as rochas ígneas (Le bas et, al. 1991). Devido à ausência de padrões sistemáticos bem estabelecidos para a classificação de rochas metamórficas, estas foram classificadas de acordo com sua mineralogia primária e minerais de alteração, textura, estrutura, paragênese mineral, grau metamórfico e protólito, utilizando como glossário o Atlas de Rochas Metamórficas e suas texturas (Yardley & MacKenzie 1990). As notações utilizadas na coleta e tratamento de dados estruturais foram: dipdirection/dip (direção de mergulho/ângulo de mergulho) para planos, e dip/dip-direction para medidas de linhas. Para classificação das estruturas tectônicas foi utilizado como referência o livro Geologia Estrutural (Fossen, 2012) e no que tange as microestruturas a referência foi o livro Microtectonics (Paschier C.W e Trouw, R.A, 2005).

#### 1.3.5 Mapeamentos auxiliares

Trabalhos anteriores de mapeamento geológico que englobam a área do Projeto Mara Rosa foram cruciais para nortear sua execução.

Na década de 2000, o Serviço Geológico do Brasil (SGB) realizou mapeamentos geológicos na escala 1:100.000 na região através do Programa Geologia do Brasil (PGB). Os trabalhos que compreendem a área de estudo são os mapeamentos das folhas Santa Terezinha de Goiás SD.22-Z-A-III, Campinorte SD.22-Z-B-I e Bonópolis SD.22-X-C-VI. Ademais, o Instituto de Geociências da UnB desenvolveu mapas na escala 1:25.000 na região de Mutunópolis em 2006 e nas cercanias do Projeto Mara Rosa com a dis ciplina Mapeamento 2 em 2022 (Figura 1.2).



Figura 1.2. Cartografias prévias feitas na região pelo SGB na escala 1:100.000 e pelo IG-UnB na escala 1:25.000.

# 1.4. Aspectos Fisiográficos

Os aspectos fisiográficos envolvem a geografia física através da descrição dos aspectos ou fenômenos naturais, detalhando a natureza por meio do relevo, solos, vegetação, clima e hidrografia, tendo grande importância no trabalho de mapeamento geológico em qualquer escala de trabalho. Tais variáveis são importantes para o compreendimento dos processos de intemperismo atuantes em qualquer região sendo estes parâmetros usados para a individualização e o discernimento de macro unidades geológicas.

# 1.4.1 Clima

O clima da região pode ser classificado de acordo com Koppen-Geiger como tropical de savana (Aw), e caracteriza-se por duas estações bem definidas: verões chuvosos e invernos secos. A temperatura média anual na região é de aproximadamente de 24°C e, conforme registros obtidos na Estação Pluviométrica de Goianésia (estação mais próxima) para o período entre 1981 e 2010, a precipitação média acumulada anual é de aproximadamente 1520 mm com uma estação chuvosa de outubro a abril, e outra seca de maio a setembro (INMET).

# 1.4.2 Pedologia

Na área do Projeto Mara Rosa, a cobertura de solos (Figura 1.3), ao terceiro nível categórico, é composta por Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd), Latossolo Vermelho distrófico (LVd), Cambissolo Háplico Tb distrófico (CXbd), Neossolo Litólico distrófico (RLd), Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (PVAd) e Plintossolo Pétrico concrecionário (FFc) (SIEG-GO, 2022). De maneira geral, predominam os solos FFc, LVd e CXbd.

Em relação aos solos da área II, há prevalência de LVd na porção centro-leste, FFc na porção oeste, faixas irregulares de RLd que abrangem porções sul-sudoeste e centro-norte,



Figura 1.3. Mapa pedológico sobreposto ao *hillshade* do relevo do Projeto Mara Rosa com destaque para a Área II. Fonte: Sistema Estadual de Geoinformação do Goiás.

além de uma ocorrência discreta de CXbd a extremo noroeste. Localmente ocorrem gleissolos em drenagens.

#### 1.4.3 Geomorfologia

Dois sistemas morfológicos, um agradacional (ou deposicional) e outro denudacional (ou erosivo), são atuantes na região do Projeto Mara Rosa (Figura 1.4). O sistema agradacional é restrito na área estudada, compreende o subsistema de planície aluvial meandrante (PFm). Já o sistema denudacional apresenta subsistemas de dissecação e de aplainamento. Os subsistemas de dissecação contêm relevos de morros e colinas com dissecação fraca (MC e MC (fr)) e hogbacks com estruturas dobradas (HB-ED). Associado aos subsistemas de dissecação, existe o subsistema de aplainamento no qual abrange quatro superfícies regionais de aplainamento (SRA) (Latrubesse & Carvalho 2006).

No extremo sudeste da área, a SRAIIIA (fr)é representada por ser uma superfície desenvolvida sobre rochas do embasamento cristalino com cotas entre 550 e 850 metros que mostra padrões de relevo escarpados com dissecação fraca. No domínio nordeste, a SRAIVA (fr) é caracterizada por uma superfície entre as cotas de 400 a 500 metros com padrões de dissecação fracos e formas de relevo muito aplainados, desenvolvida sobre uma variedade de rochas do embasamento com níveis lateríticos bem desenvolvidos. Localizada na porção central da área, a SRAIVC1 (fr) apresenta-se sobre rochas pré-cambrianas com cobertura laterítica bem desenvolvida e situa-se entre cotas de 250 a 400 metros. A extremo oeste, predomina também a SRAIVC1 (m) porém agora as dissecações de relevo são moderadas (Latrubesse & Carvalho 2006).



Figura 1.4. Mapa geomorfológico sobreposto ao *hillshade* do relevo do Projeto Mara Rosa com destaque para a Área II. Fonte: Sistema Estadual de Geoinformação do Goiás.

#### 1.4.4 Cobertura Vegetal

A área do projeto está contida no bioma Cerrado, este, sendo reconhecido como o segundo maior bioma do Brasil em área de ocupação e possuindo uma formação vegetal de grande biodiversidade.

A partir da análise do mapa de cobertura vegetal (Figura 1.5), foi possível constatar que a maior parte da área referente ao Projeto Mara Rosa apresenta vegetação do tipo pecuária (pastos), o que representa uma informação relevante, já que o cultivo de gado em extensas áreas pode dificultar o reconhecimento de unidades geológica e assim comprometer o mapeamento geológico nas regiões. O restante da área apresenta dois tipos principais de vegetação: Savanas arborizadas com e sem florestas de galeria (Saf) e (Sas). Na área II, são encontrados os três tipos de vegetação citados.

As savanas (cerrados) correspondem a uma vegetação xeromorfa, preferencialmente de clima estacional (Sano et al. 2007). A savana arborizada corresponde a uma das formações savanicas do cerrado e caracteriza-se pelo predomínio de vegetação herbácea, principalmente gramíneas, e pequenas árvores e arbustos espaçados entre si e corresponde ao tipo 9 fitofisionômico proposto por Ribeiro & Walter (1998), denominados Cerrado Sentido Restrito, e, em especial, aos subtipos Cerrado Denso e Cerrado Típico (Sano et al. 2007). As florestas de galerias, embora constituam formações florestais com estrutura típica, não são separadas no sistema de classificação proposto por (Sano et, al. 2007). Elas são consideradas como componentes da savana, ou seja, a presença ou ausência delas define subformações vegetais, retratado pelas subformações savânicas Saf e Sas no mapa.



Figura 1.5. Mapa de cobertura vegetal sobreposto ao *hillshade* do relevo do Projeto Mara Rosa com destaque para a Área II. Fonte: Sistema Estadual de Geoinformação do Goiás.

# 1.4.5 Hidrografia

A área do projeto Mara Rosa (GO) está localizada na Região Hidrográfica do Rio Araguaia-Tocantins, e compreende parte das bacias hidrográficas do Rio Formiga, Rio do ouro e Rib. Sta. Maria (Figura 1.6). Uma região hidrográfica é definida, segundo Macuzzo (2017) como uma área que compreende uma ou mais bacias, ou sub-bacias hidrográficas imediatas e que tenha em comum características naturais, sociais e econômicas similares, com o objetivo de orientar o planejamento e o gerenciamento dos recursos hídricos.



Figura 1.6. Mapa de bacias hidrográficas sobreposto ao *hillshade* do relevo do Projeto Mara Rosa com destaque para a Área II. Fonte: Sistema Estadual de Geoinformação do Goiás. Abreviações: BH: Bacia Hidrogáfica; RH: Região Hidrográfica.

A subárea II está inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Formiga e Bacia Hidrográfica Rib. Sta. Maria e em seu perímetro as principais drenagens referem-se a córregos intermitentes, como o córrego Sapé. CAPÍTULO 2. CONTEXTO GEOLÓGICO

A área do Projeto Mara Rosa está inserida no contexto da Província Tocantins, na porção setentrional da Faixa Brasília, abrangendo rochas do segmento norte do Arco Magmático Goiás e parte do Maciço de Goiás.

A Província Tocantins (Almeida et al., 1981) situa-se na porção centro-ocidental do Brasil, abrange principalmente os estados de Goiás, Tocantins e o Distrito Federal. Esta província representa uma entidade orogênica neoproterozoica resultante da amalgamação do W-Gondwana no Ciclo Brasiliano/Pan-Africano. É balizada pelo Cráton Amazônico a oeste, o Cráton São Francisco-Congo a leste, e o Bloco Paranapanema a sul. Constitui-se por três faixas orogênicas de evolução diacrônica: Brasília na margem oeste e sul do CSF, Araguaia e Paraguai nas margens oeste e sul do CA respectivamente (Figura 2.1A).

A Faixa Brasília (Figura 2.1B) é considerada por Pimentel et. al. (2000) como uma das maiores e mais bem preservadas faixas orogênicas neoproterozóicas, onde são claras a evidência de um ciclo de Wilson, com fechamento de longa duração (900-630 Ma). Trata-se de uma faixa suavemente curva, com 1.000 km de extensão na direção N-S, que é dividida em segmento setentrional e meridional (Valeriano et. al, 2008). O segmento norte da Faixa Brasília registra a colisão entre os CA e CSF, que é expressa por estruturas de direção geral NNE com vergência para o Cráton São Francisco e pelo aumento do metamorfismo progressivo de leste a oeste. Com base nessa arquitetura, estudos anteriores propuseram uma compartimentação tectonoestratigráfico da Faixa Brasília em zona cratônica, zona externa e zona interna (Fuck et al., 1994, 2014, 2017; Dardenne, 2000; Pimentel et al., 2000, 2004, 2016; Valeriano et al., 2004, 2008).

A zona cratônica corresponde a porção do CSF coberta por sedimentos neoproterozoicos da Bacia do São Francisco. É caracterizada por um domínio autóctone, compreendendo sedimentos indeformados, e um domínio para-autóctone que abrange um cinturão de dobras e cavalgamentos de deformação do tipo *thin-skinned* relacionado a uma bacia do tipo *foreland* (Fuck et al., 2017). A zona externa da faixa é entendida como um cinturão de dobras e cavalgamentos do tipo *thick skinned* que envolve o embasamento arqueano/paleoproterozoico e metassedimentos de baixo grau paleo- a mesoproterozoicos do tipo rifte (Grupos Araí e Natividade) e meso- a neoproterozoicos de margem passiva (Grupos Paranoá, Vazante, Canastra e Ibiá) (Fuck et al., 2017; Dardenne, 2000; Valeriano et al., 2008).

Finalmente, a zona interna da faixa pode ser subdividida em três componentes distintos: o núcleo metamórfico da faixa, o Maciço de Goiás, e o Arco Magmático Goiás. O núcleo metamórfico envolve sistemas de *nappes* em rochas metassedimentares de fácies xisto verde superior a anfibolito do Grupo Araxá e rochas de fácies granulito a ultra alta temperatura do Complexo Anápolis-Itauçu (Fuck et al., 2017; Valeriano et al., 2008). Já o Maciço de Goiás se trata de uma colagem de terrenos arqueanos a paleoproterozoicos recobertos por metassedimentos que representam o pericraton ocidental do São Francisco (Cordeiro & Oliveira, 2017). Por fim, o Arco Magmático Goiás (AMG) consiste em um arco intraoceânico a continental composto principalmente por ortognaisses dioríticos a tonalíticos e sequências metavulcanossedimentares associadas (Pimentel & Fuck, 1992; Pimentel et al., 2000; Dantas et al., 2001).



Figura 2.1. A) Mapa simplificado da Província Tocantins. CSF - Cráton São Francisco; CA Cráton Amazônico; BP – Bloco Paranapanema; FP – Faixa Paraguai; FA – Faixa Araguaia; FB - Faixa Brasília. Modificado de Almeida et, al., 1981. B) Unidades tectônicas da Faixa Brasília. **Zona cratônica**. 1 - Cobertura metassedimentar autóctone/para-autóctone. **Zona externa**; 2 - Associação granito-greenstone e gnaisse-migmatito; 3 - Greenstone belts (Almas); 4 - Sucessões do tipo rifte (Grupos Araí e Natividade); Sucessões do tipo margem passiva: 5 - Grupo Vazante; 6 - Grupo Paranoá; 7 - Grupo Canastra; 8 - Grupo Ibiá**. Zona interna**: **Maciço de Goiás**: 9 - Complexos granito-gnaisse migmatiticos e 10 – Greenstone belts (Crixás-Faina); Coberturas metassedimentares: 11 - Grupo Serra Dourada; 12 - Grupo Serra da Mesa;13 - Sequências vulcanossedimentares (Palmeirópolis, Juscelândia);14 - Complexos máfico-ultramáficos (Cana Brava, Barro alto e Niquelândia); **Núcleo Metamórfico**: 15 - Grupos Araxá e Andrelândia, e máficas toleiíticas, complexos de mélanges ofiolíticas do embasamento e leucogranitos sin-colisionais associados; 16 - Nappes granulíticas (Complexo Anápolis Itauçu); **Arco Magmático de Goiás**: (17) Ortognaisses e granitóides (18) Sequências supracrustais (metavulcanicas/sedimentares). Retirado e adaptado de Fuck et. al. (2017) e Valeriano et al. (2008).

# 2.1 Maciço de Goiás

O embasamento da Faixa Brasília contempla uma aglutinação de terrenos do Arqueano ao Paleoproterozóico equivalentes ao pericraton ocidental do São Francisco (Cordeiro & Oliveira, 2017). Essas, que são rochas variavelmente deformadas e geralmente pouco expostas, já foram denominadas de Complexo Basal (Almeida, 1967), Complexo Basal Goiano (Marini et al., 1984), Complexo Granito-gnaisse (Cordani e Hasui, 1975), Maciço Mediano de Goiás (Almeida, 1976) e, mais amplamente utilizado, Maciço de Goiás (Almeida, 1984). Com base nas características litológicas e geocronológicas, Cordeiro e Oliveira (2017) categorizaram o embasamento em quatro domínios, de sudoeste a nordeste: Crixás-Goiás, Campinorte, Cavalcante-Arraias e Almas-Conceição do Tocantins (Figura 2.2). Os domínios Crixás-Goiás e Campinorte estão inseridos na zona interna da Faixa Brasília enquanto os demais estão na zona externa.



Figura 2.2. Domínios do Maciço de Goiás (embasamento arqueano a paleoproterozoico do Orógeno Brasília) separados por linhas tracejadas e falhas de empurrão. Os domínios são sobrepostos pelos locais/idades de nossas amostras e os de Fuck et al. (2014) para comparação. Destaque para área do Projeto Mara Rosa em preto. Fonte: Cordeiro & Oliveira (2017).

O domínio Crixás-Goiás é composto por complexos arqueanos TTG de 2,8-2,6 Ga englobados por *greenstone belts*. Por não haver outras rochas contemporâneas em toda a parte central do Brasil, Jost et al. (2013) consideram que sua proveniência seja possivelmente de um microcontinente alóctone. Este domínio é delimitado a norte pela falha Rio dos Bois, a oeste pelo Lineamento Transbrasiliano e é encoberto ao sul e a leste pelo Grupo Serra da Mesa. Já o domínio Campinorte (2,19-2,07 Ga), definido pela Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte, é intrudido por metatonalitos e metagranitos da Suíte Pau de Mel, além de apresentar uma unidade de granulitos. Este domínio seria proveniente do Arco de Ilha Campinorte, que teve seu desenvolvimento e alojamento em um período inferior a 100 Ma (Cordeiro et al., 2014).

A evolução do Maciço de Goiás, bem sumarizada por Cordeiro & Oliveira (2017), se iniciou em 3,1-2,7 Ga, com a amalgamação das rochas do domínio Crixás-Goiás em um bloco único. A formação de um arco vulcânico (2,5-2,2 Ga) e a consequente amalgamação do maciço (2,2 a 2,0 Ga) gerou as rochas do domínio Almas-Conceição do Tocantins, os *greenstone belts* do domínio Crixás-Goiás, o Arco Campinorte e da Suíte Aurumina do domínio Cavalcante-Arraias. O pico metamórfico foi atingido em 2,08 a 2,03 Ga e gerou os granulitos do domínio Campinorte, consolidando o maciço. Um evento regional de rifteamento ocorreu de 1,78-1,75 Ga que é evidenciado pela Suíte Pedra Branca e pelo Grupo Araí. Em 1,57-1,50 Ga os granitos tipo A das suítes Serra da Mesa e Pedra Branca intrudiram os domínios Campinorte e Cavalcante-Arraias. Em 1,28-1,25 Ga uma quebra continental seguida de vulcanismo bimodal com litosfera oceânica, formação de bacia e magmatismo máfico-ultramáfico ocorreram no domínio Campinorte. Por fim, em 0,8-0,77 Ga o Maciço de Goiás colidiu contra o Arco Magmático do Goiás, gerando a falha Rio dos Bois. Esse evento provocou magmatismo máfico-ultramáfico no *back-arc* representados pelos Complexos Barro Alto, Niquelândia e Canabrava.

Na área do Projeto Mara Rosa afloram rochas do domínio Campinorte representadas pela Sequência Campinorte, Suíte Pau de Mel, além de rochas metassedimentares do Grupo Serra da Mesa.

A Sequência Campinorte inclui metapsamitos, metapelitos e rochas metassedimentares químicas. Metavulcânicas ácidas a intermediárias (riolitos e riodacitos) são esporádicas, intercaladas nas rochas metassedimentares. Também se encontram intercalações de rochas metaultramáficas, anfibolito fino e epidoto anfibolito subordinadas (Oliveira et al., 2006). A unidade de granulitos aflora como janelas estruturais no Grupo Serra da Mesa. É composta por paragranulito de granulação média e textura granoblástica contendo silimanita, hercynita, cordierita e granada, sugerindo paragênese de alta temperatura (Cordeiro et. al., 2014).

A Suíte Plutônica Pau de Mel abrange uma diversidade de rochas plutônicas ácidas calci-alcalinas, como 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 vulcânicas ácidas da Sequência Campinorte (Oliveira et al., 2006).

Os metassedimentos do Grupo Serra da Mesa são compostos por uma intercalação de quartzitos médios a grossos, mica xistos com granada (por vezes, silimanita), quartzitos finos a médios, lentes de calcixistos, mármore e rochas calcissilicáticas. Foram interpretados como sedimentos de plataforma marinha mista (sílico carbonatada) que apresentam metamorfismo

em fácies anfibolito e deformação na forma de dobramento apertado e assimétrico (Marques, 2009).

#### 2.2 Segmento Mara Rosa

O AMG se estende desde a região de Arenópolis e Bom Jardim de Goiás até Mara Rosa-Porangatu, no estado de Goiás e sul de Tocantins. É uma unidade tectônica importante pois representa um dos episódios mais expressivos de acreção crustal juvenil reconhecidos na assembleia do Gondwana (Pimentel & Fuck 1992, Pimentel 2016). Essa unidade aflora no extremo oeste da faixa, e compreende dois segmentos separados por terrenos do Maciço de Goiás: o segmento sul conhecido como Arenópolis, e o segmento norte como Mara Rosa. Ambos são representados por corpos alongados em direção NE-SW de ortognaisses tonalíticos a dioríticos expostos entre faixas de rochas metavulcanossedimentares metamorfizadas em fácies anfibolito com retrometamorfismo para fácies xisto verde (Pimentel & Fuck 1992; Pimentel et. al., 2000b; Junges et. al., 2002; Laux et al. 2005).

O segmento norte do Arco Magmático Goiás é composto pelas sequências metavulcanossedimentares Mara Rosa e Santa Terezinha, além das intrusões neoproterozoicas tardi a pós-tectônicas e ortognaisses (Figura 2.3; Oliveira et al., 2016; Ferreira, 2020).

#### 2.2.1 Sequência Mara Rosa

A sequência Mara Rosa (SMR) é composta por rochas metavulcanossedimentares que abrangem anfibolitos, xistos, metabasaltos, metandesitos, metariolitos, metaufos, quartzitos, metagrauvacas, metacherts, formações ferríferas e gonditos (Junges, 2002; Arantes et al., 1991; Oliveira et al., 2016). Em geral, essas litologias apresentam foliação NE-SW com mergulho moderado a alto para oeste (Oliveira et al., 2016). As rochas da SMR apresentam idade U-Pb em zircão de 930-890 Ma, idade modelo (TDM<sub>Nd</sub>) de 920-1210 Ma e  $\epsilon$ Nd positivo de +2,2 a +5,9 (Matteini et al., 2010; Oliveira et al., 2016).

Associados aos anfibolitos também ocorrem ortognaisses tonalíticos (biotita gnaisses), além de ortognaisses dioríticos e granodioríticos (Viana et al., 1995; Oliveira et al., 2006). Estas rochas apresentam bandamento gnáissico, que pode ou não estar bem pronunciado. Segundo Oliveira et al. (2006) estes gnaisses englobam grande volume de xenólitos de anfibolitos. Quanto às datações realizadas nessa unidade, as rochas apresentam idade U-Pb em zircão de 890-848 Ma e idade modelo (TDM<sub>Nd</sub>) de 810 1120 Ma com  $\epsilon$ Nd entre +2,3 a +6,9 (Viana et al., 1995; Oliveira et al., 2016; Ferreira, 2020).

Projeto Mara Rosa – Área II



Figura 2.3. Mapa geológico simplificado do Arco Magmático Mara Rosa com as principais unidades e estruturas. A área do Projeto Mara Rosa está indicada pelo retângulo azul. (adaptado de Oliveira et al., 2016).

O ambiente tectônico desta sequência foi sugerido por Richardson et al. (1986) e Kuyumjiann (1989), que caracterizaram anfibolitos com assinatura geoquímica de arco intraoceânico e bacias de *back-arc*. Em 1996, Palermo corroborou com essa tese ao descrever anfibolitos que ocorrem associados a rochas metassedimentares químicas que apresentam características de boninito (rocha formada em ambiente de arco intraoceânico) por seus altos teores de MgO e Cr ( $\geq 6\%$  e  $\geq 900$  ppm, respectivamente) e baixo teor de TiO<sub>2</sub>. Além disso, Viana et al. (1995) atribuem para os ortognaisses um caráter metaluminoso e calci-alcalino que podem ser relacionados a granitoides primitivos tipo M de arco intraocêanico.

#### 2.2.2 Sequência Santa Terezinha de Goiás

A sequência Santa Terezinha de Goiás (SST), também composta por rochas metavulcanossedimentares, apresentam rochas metavulcânicas máficas e félsicas, quartzitos, clorita-muscovita xistos, clorita xistos, anfibólios xistos, xistos feldspáticos, restritos depósitos

químicos. Ocorrem também rochas metaplutônicas como tonalitos, granodioritos, gabros, dioritos e granitos a deformados e gnaissificados (Dantas et al., 2001; Junges et al., 2002; Fuck et al., 2006). A unidade é sugerida por Barros (2000) como uma grande unidade arqueada com concavidade voltada para NNE. A idade U-Pb em zircão realizada para rochas metavulcânicas, ortognaisses e metagranitoides foi de 670 a 630 Ma (Dantas et al., 2001; Junges et al., 2002, 2003; Fuck et al., 2006).

Essas rochas apresentam  $\epsilon$ Nd negativos em sua maioria e idade modelo (TDM<sub>Nd</sub>) ~1.1 Ga, sugerindo o envolvimento de margem continental ativa que foi posteriormente interpretada como um ambiente de arco continental (Frasca, 2015). O arco, nomeado Arco Santa Terezinha de Goiás, foi envolvido na colisão e tem seu principal evento magmático contemporâneo a ela. Dados indicam que o principal evento de subducção terminou entre o intervalo de 630-600 Ma, e que o principal pico metamórfico regional, ocorreu por volta de 630 Ma, conforme registrado em rochas granulíticas (Piuzana et al., 2003b; Della Giustina et al., 2009).

#### 2.2.3 Rochas intrusivas tardias neoproterozoicas

A sequência Mara Rosa e Santa Terezinha de Goiás foram intrudidas por rochas graníticas e gabro-dioríticas, além de corpos tonalíticos. Apresentam-se pouco deformadaos com foliação desenvolvida próximo às margens da intrusão (Junges et al., 2002). Na área do projeto, os principais exemplos dessa unidade são a Suíte Amarolândia e o Granito Faina. A Suíte Amarolândia é caracterizada como pequenos corpos a intrusões batolíticas de composição tonalítica pouco ou não deformadas cuja idade de U-Pb em zircão é de  $635 \pm 2,4$  Ma (Melo, 2006). O Granito Faina, por sua vez, possui idade de U-Pb em zircão de  $576\pm 6$  Ma (Junges et al., 2002), enquanto suas idades modelos variam entre 1,1 e 1,5 Ga (Viana et al., 1995, Junges et al., 2002). Segundo Junges et al., 2002, esse granito é calci-alcalino, pós-orgonênico e apresenta caráter peraluminoso.

#### 2.2.4 Estruturação, evolução e metalogênese do Segmento Mara Rosa

O principal grupo de estruturas observados na Faixa Brasília corresponde a um sistema de falhas reversas oblíquas e de empurrão com vergência para o CSF (Fuck et al., 1994). No Segmento Mara Rosa, essas estruturas são representadas por dois sistemas de zonas de cisalhamento. O primeiro abrange zonas de cisalhamento reversas oblíquas e/ou de empurrões de alto ângulo (falha Rio dos Bois), com disposição geral NE e mergulho para NW, que são responsáveis pela justaposição do bloco neoproterozóico aos terrenos granito-*greenstone* arqueanos da região de Crixás-Hidrolina e à sequência de rochas metassedimentares paleoproterozóicas do Grupo Serra da Mesa. O segundo sistema trata-se de uma zona de cisalhamento transcorrente dextral Lineamento Transbrasiliano, de direção NNE. Ambas as estruturas são cortadas por falhas transcorrentes de direção N-S, E-W e NW que controlam a colocação de intrusões pós-colisionais (Oliveira et. al., 2006; Oliveira et al., 2016). Além dessas estruturas, o segmento Mara Rosa possui uma estruturação interna marcada pela Descontinuidade Geofísica Porangatu-Mutunópolis-Amaralina (DG-PUMA; Chiarini, 2007) a qual pode ser interpretada como uma falha de empurrão que delimita a Sequência Santa Terezinha da Sequência Mara Rosa (Ferreira et al., 2020).

A evolução tectônica do AMG se deu em dois principais episódios magmáticos: o primeiro, entre 900 e 800 Ma, se desenvolveu em ambiente de arcos de ilha intraoceânicos, evento este associado com a sequência metavulcanossedimentar Mara Rosa (Pimentel et al., 2000; Laux et al., 2005; Oliveira et al., 2006, 2016). O segundo, entre 700 e 600 Ma, se desenvolveu em ambiente de arco magmático continental, correlacionado a formação da sequência metavulcanossedimentar Santa Teresinha (Dantas et al., 2001; Junges et al., 2002; Laux et al., 2005; Frasca, 2015), seguidos por intrusões bimodais de gabros, dioritos, tonalitos a granitos, acompanhados de deformação e metamorfismo (Laux et al., 2005).

Os principais depósitos de Au e Cu-Au do arco Magmático Mara Rosa (Figura 2.3) podem ser relacionados no tempo e no espaço com a evolução de orógenos acrescionários (Groves et al., 2021), que envolvem: (i) subducção na formação de arco em estágio inicial e extensão crustal em um ambiente de *back-arc* oceânico, entre 900 e 800 Ma, que deu origem aos depósitos VMS Au-Ag-barita Zacarias e pórfiro Cu-Au Chapada; (ii) estágio de magmatismo colisional sintectônico; (iii) estágio pós-tectônico entre 630 e 560 Ma, com a formação do depósito de Au Mara Rosa; e (iv) estágio de extensão pós-orogênica (Viana et al., 1995; Oliveira et al., 2006; Oliveira et al., 2016; Ferreira, 2020).

CAPÍTULO 3. FERRAMENTAS COMPLEMENTARES A CARTOGRAFIA GEOLÓGICA O presente capítulo abordará as ferramentas de sensoriamento remoto e geofísica utilizadas para assessorar a atividade de campo, bem como para promover um conhecimento prévio da área a ser mapeada. Serão apresentadas as principais metodologias abordadas e seus produtos decorrentes, além de uma breve interpretação.

#### 3.1 Sensoriamento Remoto

O Sensoriamento remoto consiste em conjunto de técnicas e procedimentos tecnológicos que visa à representação e coleta de dados da superfície terrestre sem a necessidade de um contato direto, incluindo processos de tratamento, armazenamento e análise dos dados para que se conheça melhor os fenômenos que se apresentam na superfície (Meneses et al., 2019, p. 14).

Com o contínuo avanço tecnológico as imagens dos sensores de satélite se tornaram fundamentais para estudos em diversas áreas (INPE, 2022). Hoje existe um grande número destes satélites em órbita ao redor da Terra, eles obtêm imagens com características distintas que dependem tanto do satélite quanto do sensor. É importante conhecer algumas das características básicas dos satélites e dos sensores para se entender a finalidade a que se destina cada produto ou imagem de sensoriamento remoto, como por exemplo:

- Resolução Espectral - a obtenção simultânea de imagens em múltiplas bandas espectrais é, uma das propriedades mais importantes dos sensores imageadores. O termo resolução espectral envolve pelo menos três parâmetros de medida: o número de bandas que o sensor possui; a largura em comprimento de onda das bandas; e as posições que as bandas estão situadas no espectro eletromagnético (Meneses et al., 2012).

Resolução Espacial - é um importante parâmetro do sensor porque ela determina o tamanho do menor objeto que pode ser identificado em uma imagem (Meneses et al., 2012). Um objeto somente pode ser detectado quando o tamanho deste é, no mínimo, igual ou maior do que o tamanho do elemento de resolução no terreno, isto é, da resolução espacial. A Tabela 3.1 apresenta as resoluções espaciais dos principais sensores utilizados no mundo.

Escala	Resolução espacial (m)	Sensor
1: <10.000	1	Ikonos pancromático
1: 10.000	2,5	Spot pancromático
1:20.000	5	Ikonos XS
1: 40.000	10	Spot HRG
1: 75.000	20	CBERS
1: 100.000	30	Landsat (faixa óptica)
1. 200.000	60	Landsar TIR (termal)
1.350.000	90	Aster TIR (termal)

Tabela 3.1. Escalas aproximadas de visualização de imagens multiespectrais em função da resolução espacial.

- Resolução Temporal - diz respeito à frequência que o sensor revisita uma área e obtém imagens periódicas ao longo de sua vida útil, ou seja, refere-se ao período de tempo compreendido entre duas coletas de dados sobre uma mesma superfície do terreno. Diz-se que um sensor possui maiores resoluções temporais, quanto menores forem os períodos entre coletas de dados (Meneses et al., 2012).

A presente seção deste capítulo apresenta os dados alcançados por meio dos satélites Landsat-8, CBERS04A e ALOS, onde foram extraídos elementos texturais, estruturais e geomorfológico das imagens referentes ao Projeto Mara Rosa (GO).

# 3.1.1 Propriedade dos Dados

#### Landsat 8

O LANDSAT 8 (*Land Remote Sensing Satellite*) é um satélite de observação da Terra construído, lançado e operado por uma colaboração da NASA e USGS. O levantamento de dados é realizado por dois sensores principais que são ajustados em bandas de Landsat 8 prescritas. O satélite opera em luz visível, no infravermelho próximo, no infravermelho de ondas curtas e no infravermelho termal (onda longa).

O satélite engloba os sensores OLI (*Operational Land Imager*) e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*), que captam imagens em 11 bandas espectrais, diferenciadas pelo comprimento de onda de sua visão, sendo 9 por meio do sensor OLI e 2 pelos canais termais TIRS (Tabela 3.2). Para o presente trabalho a aquisição das imagens foi feita pelo site da USGS (Serviço Geológico dos Estados Unidos) (https://earthexplorer.usgs.gov/), sendo selecionada a cena LC08\_222070\_20210726\_20210804\_02\_T1.

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

Tabela 3.2. Características espectrais, intervalos de comprimento de onda e resoluções espaciais dos sensores OLI e TIRS do satélite Landsat 8. Fonte Landsat 8.

#### **CBERS 04A**

O CBERS04A é um satélite de sensoriamento remoto de média resolução, dotado de cargas úteis ópticas operando no espectro visível com resoluções na faixa de 2 a 60 metros.

Ele possui 3 câmeras distintas, sendo elas; a Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (WPM), a Câmera Multiespectral (MUX), e a Câmera Imageadora de Campo Largo (WFI) (INPE, 2019). Todas as câmeras têm bandas espectrais RGB + NIR. Apenas a câmera WPM possui a banda pancromática (PAN) responsável pela resolução espacial de 2m (após a fusão com as outras bandas). As bandas utilizadas foram Bandas RGB: Banda 0 (PAN), Banda 1 (Azul), Banda 2 (Verde), Banda 3 (Vermelho), Banda 04 (NIR). A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta as informações a respeito das câmeras do sensor.

Câmer as	Resolução	Faixa de varredura	Revisitas
WPM	8 m / 2 m	92 km	31 dias
MUX	16,5 m	95 km	31 dias
WFI	55 m	684 km	5 dias

Tabela 3.3. Características das câmeras do sensor CBERS 04.

#### ALOS

O satélite ALOS é fornecido pela *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA), ele é capacitado de três sensores, sendo eles:

- Radiômetro PRISM (*Panchromatic Remote - Sensing Instrument for Stereo Mapping*), que objetiva adquirir imagens detalhadas da superfície terrestre de forma tridimensional.

- Radiômetro multiespectral AVNIR-2 (*Advanced Visible and Near Infrared Radiometer-type 2*), capaz de mapear o uso e cobertura de solo.

- Sensor micro-ondas PALSAR (*Phased Array Type L-band Synthetic Aperture Radar*), que foi utilizado para a confecção do modelo digital de elevação (MDE) da área II, devido a sua alta resolução espacial (12,5 metros) e pelo potencial do sensor de obter imagens diurnas e noturnas sem interferência da nebulosidade (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

As imagens foram obtidas por meio do site do *Alaska Satellite Facility* (ASF), sendo utilizada a cena AP\_26927\_FBS\_F6900\_RT1. Características do sensor PALSAR do satélite ALOS.

Sensor	Canais-Bandas espectrais	Frequência	Ângulo de visada
PALSAR	Fine - single		<u>8° 60°</u>
	SAR Fine - dual 1270 MHz ScanSAR (Banda L)		8 - 00
			18° - 43°
	Polarimetric		8°- 30°

Tabela 3.4. Características do sensor PALSAR do satélite ALOS.
## 3.1.2 Processamento dos Dados

Tendo à disposição os dados primários, foram aplicadas metodologias de geoprocessamento, com o intuito de extrair informações de interesse para o trabalho. Assim, as imagens dos sensores CBERS 04A, Landsat 8 OLI e ALOS PALSAR foram processadas separadamente, com seus resultados sendo posteriormente integrados para a geração dos produtos interpretados.

As imagens orbitais, como também os demais dados vetoriais e matriciais empregados no Projeto Mara Rosa, foram trabalhados em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas). Para tal, foram utilizados alguns softwares de geoprocessamento, sendo eles o Google Earth Pro e QGIS (versão 3.20.2), os dois de utilização livre e gratuita, e, também o ArcGis Pro (versão 2.9), licenciado por meio do uso institucional fornecido pela Universidade de Brasília.

### Landsat 8 OLI

Para esse processamento, foi realizado um empilhamento inicial de bandas, assim como aplicado às imagens CBERS, concatenando as bandas 1 a 7 em uma única imagem. Em sequência, a imagem empilhada foi utilizada para a confecção de composições coloridas, todavia a baixa resolução espacial inviabilizou seu uso para a identificação dos elementos cartográficos.

### **CBERS 04A**

Primeiramente, as imagens passaram por um empilhamento das bandas 1 a 4 (*layer stacking*), com intuito de uni-las em um único arquivo Raster e possibilitar suas combinações em composições coloridas. Posteriormente, foi realizada uma fusão da imagem empilhada com a banda 0 (pancromática), por meio da ferramenta *pansharpening*, onde 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, gerando em uma imagem multiespectral com 4 bandas (B, G, R e NIR), ambas com pixels de 2 x 2 metros.

Deste modo, a imagem reamostrada foi utilizada para a confecção das composições coloridas 321, 342, 432 e 423, como também para a extração e análise de componentes principais (PCA - *Principal Component Analysis*). No entanto, os principais produtos utilizados foram os resultantes das composições 321 e 342 (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). A combinação de bandas RGB (321) simula as cores reais da imagem com o fim de vetorizar as estradas não pavimentadas e as propriedades. Já a composição RGB (341) evidencia regiões com vegetação fotossinteticamente ativas portanto, foi utilizada para acentuar as matas ciliares e por fim, vetorizar as drenagens.



Figura 3.1. Composições coloridas realizadas com as bandas do satélite CBERS. (A) RGB (321); (B) RGB (342).

### MDE ALOS PALSAR

Utilizando a cena AP\_26927\_FBS\_F6900\_RT1, utilizou-se o software ArcGis Pro 2.9 para processar os dados, gerando um modelo digital de elevação da área através da ferramenta hillshade e de extração de curvas de nível (contour) com espaçamento de 30 m, com seus parâmetros de entrada demonstrados na (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Tal processo resultou na geração de um dado matricial de relevo simulado e um dado vetorial de

Hillshade					
Fator Z	2,5				
Azimute	300				
Ângulo de inclinação	40				
Escala de cores	Branco a Cinza 50%				
Contour					
Espaçamento	30 m				
Suavização					
Interações	3				
Deslocamento	0,25				
Ângulo máximo de nó para suavizar	180				

Tabela 3.5.	Parâmetros	de entrada dos	algoritmos	Hillshade
e Contour				

elevação do terreno, sendo assim, o MDE (Figura 3.2) foi utilizado como referência na extração de lineamentos de relevo da área com base nos parâmetros descritos na Tabela 3.6.

Hillshade					
Fator Z	2,5				
Azimute	300				
Ângulo de inclinação	40				
Escala de cores	Branco a Cinza 50%				
Contour					
Espaçamento	30 m				
Suavização					
Interações	3				
Deslocamento	0,25				
Ângulo máximo de nó para suavizar	180				

Tabela 3.6. Parâmetros de entrada dos algoritmos Hillshade e Contour.

Projeto Mara Rosa – Área II



Figura 3.2. Modelo Digital de Elevação (MDE) do Projeto Mara Rosa criado a partir dos dados do sensor Alos Palsar com sombreamento simulando incidência da luz solar vinda da direção de azimute 300° com elevação de 40° e exagero vertical de 2,5 com destaque para a área II.

## 3.1.3 Elaboração do Mapa Base

O mapa base (Figura 3.3.3) foi confeccionado com base na análise dos elementos cartográficos observados nas imagens de sensores remotos com auxílio do software ArcGis Pro 2.9. As imagens utilizadas foram: RGB (321) e RGB (341) do satélite CBERS04A e o MDE Alos Palsar. Além disso, a imagem da plataforma *Google Earth* também foi consultada para melhor interpretar os elementos.

Ademais, a malha viária do Goiás obtida no Sistema Estadual de Geoinformação do Goiás (SIEG-GO) foi empregada visto que há uma rodovia estadual que atravessa a porção norte da subárea II. Foram delimitadas as principais rodovias de acesso, pavimentadas e não pavimentadas, as principais drenagens e as propriedades presentes na área a ser mapeada.

Todos os procedimentos realizados para a confecção do mapa base podem ser resumidos no fluxograma da Figura 3.3.



Figura 3.3. Mapa da base cartográfica da área II com propriedades, estradas não-pavimentadas, a rodovia GO-573, drenagens e curvas de nível com espaçamento de 30 m. Dest

Projeto Mara Rosa – Área II



Figura 3.4. Fluxograma do processamento dos dados de sensoriamento remoto para a confecção do mapa base e dos mapas auxiliares.

### 3.1.4 Interpretações

Através das imagens com sombreamento simulando a incidência solar do MDE, foi possível demarcar os lineamentos de relevo, por meio das quebras positivas, e os lineamentos de drenagem (Figura 3.5). Ao plotar os sentidos em diagramas de roseta, é notório que os lineamentos de relevo (Figura 3.5A) apresentam forte *trend* NE-SW com direção preferencial 26°, e os lineamentos de drenagem (Figura 3.5B) apresentam *trends* NE-SW e NW-SE. O padrão NE-SW também é observado no relevo, onde os morros estão orientados segundo a mesma direção. Essa tendência pode estar associada a falhas transcorrentes dextrais. Além disso, a direção NW-SE dos lineamentos de drenagens pode estar influenciada pela estruturação da área.



Figura 3.5. Mapa de lineamentos de relevo e drenagem do Projeto Mara Rosa. A) Roseta de lineamentos de relevo com direção principal 26° (NE-SW) e 95% de confiabilidade em número de amostragem (n) de 128. B) Roseta de lineamentos de drenagem com direção média de 355° (N-S) e n=272 com 95% de confiabilidade. Apesar da direção média ser 355°, as principais direções são NE-SW (35°) e NW-SE (330°).

## 3.2 Aerogeofísica

Os métodos aerogeofísicos têm sido utilizados como ferramentas geológicas, uma vez que proporcionam dados litoestruturais detalhados, mesmo em regiões onde há escassez de afloramentos (Jaques, 1997). As informações magnéticas contribuem para delimitação do arcabouço estrutural, enquanto as gamaespectrométricas permitem visualizar a composição litogeoquímica da superfície a partir dos elementos K, eTh e eU (Jaques, 1997).

Considerando que o Projeto Mara Rosa se situa em regiões com espessa cobertura intempérica, carecendo de exposições rochosas, as técnicas de magnetometria e gamaespectrometria propiciaram interpretação geológica consistente e abrangente para toda a área de estudo.

Essa seção tem como objetivo explicar a utilização da aerogeofísica no trabalho de mapeamento geológico final. Para tanto, serão apresentados: i) o embasamento teórico dos métodos empregados; ii) processamento dos dados; e iii) análise e interpretação dos produtos.

### 3.2.1 Embasamento Teórico

### Magnetometria

O campo magnético da Terra, originado em seu núcleo, magnetiza rochas susceptíveis na crosta terrestre. A susceptibilidade magnética é uma propriedade física das rochas que indica o grau de magnetização a ser induzida quando inseridas a um campo magnético externo e é uma indicadora confiável do conteúdo mineral magnético presente nas rochas (Isles & Rankin, 2013).

Os levantamentos aeromagnéticos medem a força (escalar) do campo local da Terra (Reeves, 2005), esta medida é uma combinação do campo central da Terra (conhecido mundialmente como o Campo de Referência Geomagnético Internacional, IGRF) e o campo induzido em rochas crustais. O produto básico de um levantamento aeromagnético, portanto, representa medidas da diferença entre o campo medido e o IGRF, essas medidas são denominadas Anomalias Magnéticas (Isles & Rankin, 2013). A intensidade dos campos é medida em nanoTesla (nT), podendo variar de 70.000 nT perto dos polos e 25.000 nT nas regiões equatoriais. As anomalias magnéticas comumente registradas têm amplitudes de dezenas, centenas e (menos frequentemente) milhares de nT (Reeves, 2005).

Dessa forma, as variações magnéticas que se procura observar em levantamentos aeromagnéticos são provenientes da crosta média e superior, e são controladas pela força e direção local do campo da Terra, bem como pela quantidade de mineral magnético nas rochas (Isles & Rankin, 2013). De fato, poucos minerais exibem propriedades magnéticas significativas. Os óxidos de ferro e titânio (Fe e Ti) e um sulfeto, a pirrotita A magnetita ferrimagnética é responsável por apenas cerca de 1,5 por cento dos minerais da crosta e é o mineral magnético mais importante no mapeamento geofísico (Clark e Emerson, 1991).

A concentração de minerais magnéticos está comumente associada a superfícies de descontinuidade ou ruptura (Gunn et al. 1997), logo, a análise e interpretação de dados aeromagnéticos permite identificar feições estruturais crustais.

### Gamaespectrometria

O planeta Terra é formado por diversos elementos radioativos, entre eles o potássio, o tório e o urânio são vastamente utilizados na gamaespectrometria por sua abundância. A

desintegração natural do <sup>40</sup>K, dos elementos da série do <sup>238</sup>U e da série do <sup>232</sup>Th emite radiação gama e sua intensidade irá depender da composição química do material no qual estão inseridos. Considerando que 90% da radiação gama corresponde aos primeiros 30-40 cm da superfície, a aerogamaespetrometria detectará as variações geoquímicas das rochas, solos e coberturas intempéricas (Dickson & Scott, 1997; Wilford et al., 1997). Portanto, esta ferramenta foi utilizada no mapeamento geológico visto que o contraste de radioatividade natural está vinculado a variação litológica e de suas respectivas coberturas intempéricas (Ferreira et al., 2016).

Os dados são medidos na unidade elétron-volt (eV), que corresponde à energia cinética adquirida por um elétron sob a ação do potencial de um volt. Comumente, utiliza-se variações desta unidade como quiloelétrons-volts (keV) e milhões de elétrons-volts (MeV). Cada elemento é associado a picos de energia específicos que serão contados e convertidos para concentração, sendo em porcentagem para o K e em ppm para o U e Th (Ferreira et al., 2016).

Dentre os três radioelementos considerados, o K é o elemento mais abundante na crosta terrestre (aproximadamente 2,32%) e se concentra especialmente em feldspatos potássicos e minerais micáceos. Por este motivo, sua ocorrência está relacionada a rochas ígneas félsicas, rochas metamórficas micáceas, feldspáticas e quartzo-feldspáticas, e, também, a algumas rochas sedimentares, como folhelhos e argilitos. Uma característica importante do K, refere-se a sua alta mobilidade durante o intemperismo e em ambientes hidrotermais, podendo ser facilmente lixiviado e transportado, sobretudo em regiões de clima tropicais (Ferreira et al. 2016). Por outro lado, as concentrações de Th e U na crosta terrestre são mínimas, (10,5 e 2,7 ppm, respectivamente) e são relacionadas a minerais acessórios como monazita, xenotima, zircão, alanita e apatita (Ferreira et al. 2016). O comportamento do Th e do U perante o intemperismo é distinto daquele do K. Ambos os elementos tendem a ser imóveis, porém o U pode ser lixiviado na sua forma hexavalente (quando em ambiente oxidante), o que não ocorre com o Th, que apresenta a maior estabilidade geoquímica dentre os três elementos (Ferreira et al. 2016).

## 3.2.2 Processamento

## Características do Aerolevantamento

Os dados aerogeofísicos magnetométricos e gamaespectométricos utilizados no trabalho, são provenientes do Projeto Levantamento Aerogeofísico do Estado de Goiás 1ª Etapa: Arco Magmático de Mara Rosa, que abrangeu a porção norte do estado de Goiás (Figura 3.6).

O projeto foi fomentado pelo convênio entre a Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral (SGMTM), o Ministério de Minas e Energia (MME), o Serviço Geológico do Brasil (CPRM), a Secretaria de Indústria e Comércio da Superintendência de Geologia e Mineração do Estado de Goiás (SIC/SGM) e o Fundo de Fomento à Mineração (FUNMINERAL) e executado pela empresa LASA Engenharia e Prospecções S/A.

O levantamento aerogeofísico, realizado no ano de 2004, recobriu uma área de 15.890 km<sup>2</sup> com 36.559,73 km de perfis aeromagnetométricos e aerogamaespectrométricos de alta resolução (LASA, 2004). As linhas de vôo e controle do aerolevantamento foram orientadas nas direções N-S e E-W e espaçadas a cada 0,5 km e 5,0 km, respectivamente. A altura do vôo



foi definida em 100 m sobre o terreno e o intervalo entre leituras geofísicas equivalentes a 0,1 s para o magnetômetro e 1,0 s para o gamaespectrômetro (LASA, 2004).

Figura 3.6. Localização do Projeto Levantamento Magnético Aerogeofísico do Estado de Goiás 1ª Etapa: Arco Magmático de Mara Rosa e do Projeto Mara Rosa.

### **Processamento dos Dados**

Todos os procedimentos realizados durante o processamento dos dados aerogeofsicos foram efetuados no software Geosoft Oasis Montaj versão 2021.2.1, disponível nos laboratórios de informática do Instituto de Geociências, sob orientação da professora Dra. Roberta Mary Vidotti. A confecção dos mapas de interpolação, para os dois métodos, foi feita com células unitárias de tamanho correspondente a ¼ do espaçamento das linhas de vôo, ou seja, 125 metros. Dessa maneira, mapas interpolados em malha quadrada de 125 X 125 m foram gerados.

## Método Magnético

A interpolação em malhar regular dos dados de magnetometria foi realizada pelo método de interpolação bidirecional (Bigrid). A Figura 3.7 apresenta o fluxograma de processamento dos dados. A partir dos dados de anomalias magnéticas (AM), foram gerados os produtos: derivadas de primeira ordem vertical (1Dz) e horizontais (1Dx e 1Dy), Sinal Analítico nas três dimensões (SA3D; Figura 3.8) e Gradiente Horizontal Total (GHT; Figura 3.9).

### • Derivadas de primeira ordem

As derivadas de primeira ordem nas direções x,y e z realçam anomalias de alta frequência (Nabighian et al., 2005). O filtro de primeira derivada vertical calcula a variação do campo magnético na vertical. O produto resultante ressalta estruturas rasas e estreita a largura da anomalia, localizando assim fontes de forma mais precisa (Cooper & Cowan, 2004).



Figura 3.7. Fluxograma referente às etapas e produtos gerados pelo processamento dos dados aerogeofísicos magnetométricos. AM-Anomalias Magnéticas; 1Dx-Primeira Derivada horizontal do AM no eixo X; 1Dy-Primeira Derivada horizontal do AM no eixo Y; 1Dz-Primeira derivada vertical do AM; SA3D-Sinal analítico em três dimensões x,y e z; GHT-Gradiente Horizontal Total.

De forma semelhante, as duas primeiras derivadas horizontais representam a variação do campo na horizontal. A primeira derivada horizontal em x (1Dx) realça feições de orientação norte-sul, enquanto as feições de orientação lesteoeste pela primeira derivada em y (1Dy).

#### Gradiente Horizontal Total

O gradiente horizontal total é definido como a raiz quadrada da soma dos quadrados das primeiras derivadas horizontais de forma a representar as taxas de variação lateral nos dados e assim realçar limites das fontes magnéticas (Cordell & Grauch 1982, 1985).

### • Sinal Analítico 3D

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



Figura 3.8. Mapas de Anomalia Magnética (A), Primeira Derivada Vertical (B) e Sinal Analítico (C) do Projeto Mara Rosa.



Figura 3.9. Mapa de Gradiente Horizontal Total do Projeto Mara Rosa, com destaque para a Área II.

## Método Gamaespectométrico

O método de interpolação usado para o processamento dos dados gamaespectométricos foi o da mínima curvatura (Rangrid). A Figura 3.10 apresenta uma síntese do processamento dos dados gamaespectométricos. Os principais produtos utilizados nesse trabalho foram gerados a partir dos canais radiométricos individuais e da contagem total dos elementos radioativos que forneceram as imagens de Percentual de Potássio (K), Equivalente de Tório (eTh), Equivalente de Urânio (eU) e Contagem Total (CT) (Figura 3.11). Com base nos dados dos canais individuais, foram obtidas composições ternárias RGB (K, eTh, eU) e CMY (K, eTh, eU) (Figura 3.12).



Figura 3.10. Fluxograma referente às etapas e produtos gerados pelo processamento dos dados aerogeofísicos gamaespectrométricos sendo K(%): porcentagem de Potássio; eTh e eU: Equivalente em Tório (ppm) e Urânio (ppm), respectivamente; RGB (K eTh eU): composição ternária RGB (K, eTh, eU) e CMY (K, eTh, eU): composição ternária CMY (K, eTh, eU); e CT( $\mu$ R/h): contagem total em microRontgen por hora.

• Canais Individuais

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

• Contagem Total

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

• Mapas de Composição Ternária

Os mapas de composição ternária representam a proporção dos valores de concentração dos radioelementos K, eTh e eU. Cada radioelemento representa um vértice de um triângulo equilátero e a eles são atribuídas cores específicas. Utiliza-se como padrão as cores RGB (*red, green, blue*) e CMY (cyan, magenta, yellow), sendo o potássio (%) representado pelas cores vermelho e ciano (R e C), o tório equivalente pelas cores verde e magenta (G e M) e o urânio equivalente pelas cores azul e amarelo (B e Y). Dessa maneira, a cor branco representa altas concentrações dos três radioelementos e cor preta está associada à baixas concentrações dos mesmos (Ferreira et al. 2016).



Capítulo 3 - Ferramentas Complementares a Cartografia Geológica

Figura 3.11. Mapas de Contagem Total (CT), Equivalente Tório (eTh), Porcentagem de K (K%) e Equivalente Urânio (eU) do Projeto Mara Rosa.



Figura 3.12. Mapa de composição ternária RGB do Projeto Mara Rosa, com destaque para Área II.

### 3.2.3 Análise e Interpretação dos Dados

#### **Dados Magnéticos**

Os produtos gerados a partir dos dados magnetométricos foram utilizados para refinar o arcabouço estrutural regional da área do Projeto Mara Rosa e local da Área II. Optou-se, inicialmente, pela extração de lineamentos nos vales magnéticos por meio do produto primeira derivada vertical (1Dz). Em seguida, o produto gradiente horizontal total (GHT) auxiliou na delimitação de domínios com assinaturas magnéticas distintas, levando em consideração os gradientes magnéticos e o arranjo geométrico. Posteriormente, os dados foram analisados e interpretados. De forma geral, os lineamentos magnéticos na área do projeto apresentam direção principal NE-SW e ENE-WSW, ora inflectindo para E-W. De forma menos expressiva ocorrem NNE-SSW e NW-SE. Entretanto, vale destacar a presença do lineamento NW-SE de dezenas de quilômetros na porção centro-oeste da área.

Na região do projeto, são observados 14 domínios magnéticos diferentes (Figura 3.13). O domínio 1 apresenta médios a altos gradientes magnéticos e estruturação unidirecional NE-SW. Apesar de semelhante perante sua estruturação NE-SW, o domínio 2 evidencia também arranjo ENE--WSW (porção sul) e possui gradientes magnéticos altos a muito altos. O domínio 3 é caracterizado por altos gradientes magnéticos com formato elongado em direção NE-SW. O domínio 4 apresenta a mesma estruturação do 3, porém é mais homogêneo e os gradientes são baixos a médios. Gradientes médios a altos, com estruturação levemente marcada por direções NE-SW e ENE-WSW caracterizam o domínio 5.

Já o domínio 6 mostra forte estruturação tabular NW-SE e gradientes magnéticos muito altos. Os domínios 7 e 13 possuem gradientes médios a altos e não tem arranjo geométrico bem definido. O domínio 8 é definido por gradientes altos a muito altos e estruturação bem definida NE-SW e E-W com ramificações na porção sul de direções NE-SW e NNE-SSW. Por apresentar gradientes altos sem arranjo bem definido, o domínio 9 foi estabelecido. O domínio 10 possui gradientes baixos a médios, é homogêneo, e tem arranjo unidirecional NE-SW. O domínio 11 também apresenta gradientes baixos a médios e é homogêneo, porém sua estruturação se assemelha com a do domínio 12, sem considerar as ramificações. Por fim, arranjo unidirecional NE-SW e gradientes médios a altos marcam o domínio 13.

Parte-se do princípio de que elevados gradientes magnéticos representam unidades de rochas compostas por minerais magnéticos. Além disso, os contrastes entre domínios podem representar contatos geológicos, ou a ocorrência de zonas de ruptura caracterizadas por altas concentração de minerais magnéticos em função de processos de remobilização e precipitação desses minerais. Tendo vista isso, o contraste marcado entre os domínios 8 e 11 é interpretado como zona de cisalhamento. Todos os outros podem ser interpretados, com cautela, como contatos entre unidades ou falhas de empurrão.

Dessa forma, entende-se que o arcabouço estrutural da área é caracterizado por unidades dispostas em sigmoides alongados direção principal NE-SW. As grandes unidades delimitadas pelos domínios magnéticos, foram afetadas por estruturas de direção E-W e por isso inflectem, como evidenciado nos domínios 8 e 11. Essas estruturas podem estar relacionadas com falhas transcorrentes dextrais de regime deformacional dúctil-rúptil. Posteriormente, estruturas NW-SE e N-S cortam outras unidades, representando um regime rúptil posterior.



Figura 3.13. Mapas de Lineamentos magnéticos e domínios magnéticos do Projeto Mara Rosa.



Figura 3.14.Comparação de mapas de Lineamentos magnéticos e de Domínios magnéticos não interpretados e interpretados da Área II.

## **Dados Gamaespectométricos**

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

Para o Projeto Mara Rosa, foram individualizados 22 domínios com assinaturas gamaespectrométricas distintas (Figura 3.15). A caracterização qualitativa desses domínios encontra-se sintetizada na Tabela 3.7. Os domínios 1 a 9 apresentam altos teores dos radioelementos e foram correlacionados às rochas de estágio de arco continental

De forma mais detalhada, a área II é englobada pelos domínios magnéticos 2, 3, 4 e 5 e os lineamentos seguem a direção regional principal NE-SW e ENE-WSW (Figura 3.14). Além disso, os lineamentos E-W estão presentes, indicando que há contribuição das transcorrências dextrais deformando as unidades. Quanto aos domínios magnéticos, o domínio 2 representa as rochas com mais minerais magnéticos da Área II. Em geral, o domínio 4 mostra rochas com menos minerais magnéticos que os domínios adjacentes (2, 3 e 5). Ademais, os limites entre os domínios magnéticos podem indicar contato entre unidades geológicas distintas.

Como 0 método magnetométrico pode obter dados referentes até a base da crosta, alguns dos domínios magnéticos identificados podem estar somente em subsuperfície. Portanto, faz-se necessário a atividade de campo tanto para a comprovação do arcabouço estrutural apresentado quanto para a averiguação de sua expressão em superfície.

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

Tabela 3.7. Domínios gamaespectrométricos do Projeto Mara Rosa individualizados por seus valores qualitativos de abundância dos radioelementos K (%), eTh , Eu. Além disso, foi feita uma associação possível da origem das rochas contempladas baseado no contexto regional.

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



Figura 3.15. Comparação de Mapa de domínios gamaespectrométricos do Projeto Mara Rosa não interpretado e interpretado.



Figura 3.16. A) Mapa ternário da Área II. B) Domínios gamaespectrométricos da Área II, individualizados segundo os valores qualitativos de abundância dos radioelementos K (%), eTh e eU.

Os domínios 4 e 5 são marcados por padrão de cores difuso. Apesar da semelhança, o domínio 5 pode ser distinguido pela ausência de cores magentas e pelo predomínio da cor ciano com tons esverdeados, indicando altos teores de eTh e eU e concentração moderada de K. Vale ressaltar que o domínio 5 ocupa a maior parte da área II (Figura 3.16), ocorre como faixa irregular heterogênea e pode ser interpretado como região de coberturas detrito-lateríticas, uma vez que o elemento K é o menos abundante, indicando processos de lixiviação. Localmente, dada sua heterogeneidade, são possíveis ocorrências de xistos da Sequência Santa Terezinha. Já o domínio 4, mais bem distinguido na visão regional, pode ser interpretado como clorita xistos, quartzo xistos da Sequência Santa Terezinha de composições variadas devido aos altos

teores de K e eU.

O domínio 6, situado na porção centro-norte da área, apresenta altas concentrações de K e moderadas de Th e U e está orientado segundo a direção NE-SW. A coloração rosa clara é marcante, mas existem locais pontuais com tons alaranjados e arroxeados. Possivelmente, as rochas aflorantes estão relacionadas a xistos de composição variada e/ou quartzitos micáceos da Sequência Santa Terezinha que apresentam tipicamente altos teores de K em função da presença de minerais micáceos.

O domínio 7, elongado também na direção NE-SW, contempla valores altos para K, médios a altos para o Th e baixos a altos para o U, portanto possuem coloração vermelha amarelada. A presença de regiões de cor vermelha deve ser interpretada com cautela, uma vez que o potássio é um elemento solúvel e consequentemente móvel durante o intemperismo. Nas porções onde o relevo é acentuado, existem regiões mais rosadas e, nesse caso, a assinatura gamaespectométrica deve estar relacionada a rochas relativamente ricas em potássio com resistência elevada. Granitóides podem representar a rocha dominante nessa área. Por outro lado, as demais regiões relacionadas a esse domínio apresentam relevo dissecado e maior densidade de drenagem do que seus arredores, o que pode justificar o acúmulo de potássio nessas áreas.

Por fim, o domínio 8 é caracterizado pelo relevo mais acentuado da região, e por altos teores de K e eTh representado por cores rosas amareladas. Entende-se que em regiões de relevo acentuado, a rocha que o sustenta é resistente ao intemperismo. Nesse caso a forma de relevo convexa e as respostas gamaespectrometricas condizem com um domínio de rochas ígneas ácidas, podendo ser interpretado como granitoide das intrusivas tardias.

CAPÍTULO 4. GEOLOGIA DO PROJETO

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). O mapa oficial se encontra no Anexo 3. A área mapeada, composta por 11 subáreas, afloram unidades litoestratigráficas pertencentes ao Arco Magmático Campinorte, representativo do embasamento paleoproterozoico, (Della Giustina *et al.*, 2009), ao Arco Magmático Goiás, de idade neoproterozoica (Pimentel & Fuck, 1992; Pimentel *et al.* 1997, 2000), e ao Grupo Serra da Mesa, também de idade neoproterozoica (Cordeiro *et al.*, 2014). O contato entre o Arco Magmático Campinorte e o Arco Magmático Goiás é marcado pela zona de falhas de empurrão Rio dos Bois, enquanto o Grupo Serra da Mesa ocorre sobreposto ao Arco Magmático Campinorte.



Figura 4.1. Mapa Geológico Simplificado - Projeto Mara Rosa.

## 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 a uma superfície regional de aplainamento, com ocorrência de um platô laterítico em seu extremo leste, além de relevo de morros e colinas, caracterizando uma porção mais acidentada nas proximidades da porção recoberta pelo Grupo Serra da Mesa. Já sua assinatura gamaespectrométrica é bastante variada, sendo predominantemente rosa esverdeada na composição RGB ternária (K, eTh e eU), com domínios branco-amarelados subordinados, associados às rochas intrusivas pré-tectônicas, e um domínio verde azulado a leste, associado à cobertura laterítica.

Esta unidade é composta por rochas metavulcânicas félsicas e metassedimentares psamo-pelíticas da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte (PP2c1 e PP2c2), de idade riaciana (Della Giustina *et al.*, 2009), com metamorfismo geral em fácies xisto verde. Em meio à Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte, encontram-se granito e tonalitos miloníticos a ultramiloníticos da Suíte Pau de Mel (PP2 $\gamma$ 1pm), 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 metamórfica.

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

## 4.2.1 Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa

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

Apresenta morfologia de relevo representada por regiões planas, tipicamente de superfície regional de aplainamento, com ocorrência local de relevo de morros e colinas. Já a assinatura gamaespectrométrica, na composição ternária RGB (K, eTh, eU), é marcada por tonalidades majoritariamente esverdeadas a azuladas escuras, chegando ao preto. Localmente, apresentam tonalidades rosadas, especialmente ao norte, onde a alteração hidrotermal é mais intensa, indicando a grande variedade litológica desta unidade.

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

# 4.2.2 Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha

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

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

Abrange rochas máfico-ultramáficas e rochas metassedimentares, incluindo xisto aluminosos e paragnaisses, com lentes de gonditos e formações ferríferas. Em meio ao domínio principal, encontram-se rochas intrusivas tardi a pós-tectônicas, como o Plúton Faina. Vale notar que uma 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, aflora uma diversidade de rochas metaplutônicas de caráter pré a sin-tectônico, intituladas como Ortognaisses Mara Rosa, quando associadas à Unidade Metavulcanossedimentar, e Ortognaisses Santa Terezinha, quando associadas à Unidade Metassedimentar.

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

Já os Ortognaisses Santa Terezinha afloram localmente na porção noroeste do PMR, nas áreas I e II, formando corpos alongados de direção NE-SW que representam menos de 1% do projeto. Estas rochas afloram entre as unidades metassedimentar e máfico-ultramáfica da Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha, tendo composição predominantemente tonalítica.

## 4.2.4 Unidade Hidrotermal

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

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

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

# 4.3 Grupo Serra da Mesa

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

Esta unidade é representada por muscovita xistos e quartzitos, sobrepostos às rochas do embasamento paleoproterozoico (Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte). Seus limites são de natureza deposicional, estabelecidos por uma discordância, e conferindo-lhe uma 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 um conjunto de rochas intrusivas, pouco ou não deformadas, representadas pelo Plúton Faina (NP $3\gamma3f$ ), Leucogranitos Bom Jesus (NP $3\gamma3l$ ) e um corpo de rochas Metaplutônicas Máficas (NP $3\gamma3m$ ).

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

Em contraste com o Plúton Faina, os Leucogranitos Bom Jesus são uma série de 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 elongação preferencial NE-SW, eventualmente infletidas em uma direção E-W. Possuem pouca expressão no relevo, formando pequenos morros em meio à superfície regional de aplainamento, sendo, por vezes, englobados nesta classificação. Por fim, sua assinatura gamaespectrométrica é vista tipicamente na cor branca.

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

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

CAPÍTULO 5. GEOLOGIA LOCAL

O capítulo 5 foi elaborado com base na análise e interpretação dos dados geológicos coletados em campo, na petrografia e nas imagens derivadas de sensores remotos e de levantamentos aerogeofísicos relativos a Área II. A integração dessas informações permitiu confeccionar o mapa geológico da respectiva área, em escala 1:25.000, que representa o principal resultado desse trabalho (Figura 5.1).

Neste capítulo são descritas as principais unidades geológicas mapeadas, a Sequência Metassedimentar Santa Terezinha de Goiás e as rochas intrusivas tardi a pós-tectônicas do Plúton Faina. Dessa forma, o capítulo em questão aborda a litoestratigrafia e petrografia, que compreende a descrição e caracterização das rochas pertencentes a cada unidade de mapeamento, além de abordar as considerações petrogenéticas das mesmas.





Figura 5.1. Mapa geológico da Área II.

Nesta seção serão descritos e discutidos os aspectos gerais, tais como distribuição geográfica, aspectos fisiográficos e os padrões de afloramento, que serão contemplados e abordados juntamente com descrições petrográficas de cada unidade. A análise petrográfica foi aprimorada a partir da descrição de 13 seções delgadas, produzidas a partir de amostras representativas das unidades geológicas da Área II.

## 5.1 Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha de Goiás

A Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha de Goiás é representada na Área II pelas unidades Metassedimentar Psamo-Pelítica Santa Terezinha de Goiás, Metamáfica-Ultramáfica. É limitada pela intrusão do Plúton Faina e extensamente recoberta por áreas de pastagens e vegetação do tipo savana arborizada com florestas de galeria. Vale destacar que a presença de crostas lateríticas dificultou o mapeamento desta sequência.

## 5.1.1.1 Unidade Metamáfica-ultramáfica (NP2stg1)



Figura 5.2. Localização da unidade Metamáfica-ultramáfica na Área II destacado no mapa de *hillshade* do relevo.

A subunidade Metamáfica-Ultramáfica, de coloração verde escuro no mapa (Figura 5.2), é limitada pelo Plúton Faina e pelas subunidades Ortognaisses Santa Terezinha e Metassedimentar Santa Terezinha. Os litotipos desta subunidade representam 4% da Área II, localizados em relevos suavemente ondulados recobertos por Latossolos Vermelhos distróficos. A vegetação presente é savana arborizada com florestas de galeria e áreas de pastagens. Os afloramentos ocorrem essencialmente como blocos soltos (Figura 5.3A) e por vezes in situ.

As litologias encontradas são metahornblenditos, talco xistos e metagabro. Os metahornblenditos apresentam coloração verde acinzentada, estrutura maciça e representada por hornblendas de granulação muito grossa com grãos centimétricos de até 2 cm (Figura 5.3B) levemente alteradas para talco. O talco xisto apresenta-se de coloração branca, granulação fina, textura lepidoblástica, possui xistosidade bem desenvolvida (Figura 5.3C).

Por sua vez, o metagabro é cinza escuro, de granulação média, melanocrática, com textura granular hipidiomórfica, estrutura maciça e é composto por anfibólio (55%), plagioclásio (25%), quartzo (12%), mica (8%), epidoto, apatita e rutilo como acessórios. (Figura 5.4A). Os grãos de anfibólio são subédricos, milimétricos (1 a 5 mm) de coloração verde com pleocroismo verde pálido a verde intenso azulado e apresentam-se com múltiplas inclusões de quartzo e mica. Localmente no centro dos grãos há alteração para minerais opacos, prováveis óxidos de Fe (Figura 5.4B). O plagioclásio tem composição An 10, ou seja, de albita a oligoclásio, são muito finos a finos. Ocorrem nos interstícios dos grãos de anfibólio. Ainda no domínio intersticial, existem grãos de quartzo muito finos a finos com textura granoblástica. Normalmente fazem contato tríplices de 120° entre eles e extinção levemente ondulante (Figura 5.4 C). Também aparecem microcristalinos como inclusões no anfibólio. Por fim, a mica sódica paragonita é bem desenvolvida em lamelas de até 3 mm, ocorrem tanto no domínio intersticial em equilíbrio com as fases minerais e localmente como inclusões no anfibólio (Figura 5.4C).



A natureza da mica foi descoberta a partir de análise EDS em microssonda eletrônica do Laboratório de Microssonda Eletrônica da UnB.

Figura 5.3. Fotografias dos principais afloramentos de rochas da unidade máfica-ultramáfica. A) Afloramento em blocos rolados de metahornblendito (ponto 43). B) Hornblendito maciço com hornblendas muito grossas centimétricas, levemente alteradas para talco (ponto 43). C) Afloramento *in situ* de talco xisto (ponto 25).

A paragênese plagioclásio (An 10) + hornblenda + paragonita sugere condições de temperatura e pressão na fácies xisto verde a anfibolito. Ressalta-se que a mineralogia da rocha não é típica de rochas metamáficas gabróicas pois apresenta quantidade significativa de sílica e mica sódica em sua composição, exigindo estudos mais detalhados sobre o protolito e sistema químico envolvido na formação da rocha.

Outra litologia encontrada é uma rocha metaultramáfica de coloração cinza esverdeada, granulação fina a média, com textura decussada, composta por clorita (45%) talco (25%) hornblenda (20%) e óxidos (10%) (Figura 5.4D). Os grãos de anfibólios são milimétricos, verdes com pleocroismo variando de verde pálido a verde levemente azulado. Encontram-se parcial ou totalmente consumidos por clorita e talco (Figuras 5.4 E e F). A clorita ocorre como mineral mais abundante da rocha, como lamelas muito finas a finas. O talco está associado a clorita e ocorre muito fino. Ambos estão substituindo o anfibólio nas bordas, regularmente a alteração é feita nas bordas dos grãos. Há ainda oxidação pervasiva meio as fraturas,

principalmente nos grãos de anfibólio. Com base nessa descrição, a rocha foi caracterizada como um clorita-talco-hornblenda fels.



Figura 5.4. Fotomicrografias das principais amostras da unidade máfica-ultramáfica. PP: Polarizadores paralelos. PC: Polarizadores cruzados. A) Aspectos macroscópicos de metagabro cinza escuro com textura intergranular e maciço (ponto PC-20). B) Grãos de anfibólio milimétrico localmente alterado (ponto PC-20). C) Domínio granoblástico com quartzo e mica sódica (ponto PC-20). D) Aspectos macroscópicos de metaultramáfica com textura diablástica isotrópica (ponto 118). E) Paragênese composta por clorita e talco e hornblenda com textura de desequilíbrio (ponto 118). F) Paragênese composta por clorita e talco e hornblenda com textura de desequilíbrio (ponto 118). F) Paragênese composta por clorita e talco e desequilíbrio (ponto 118). Abreviações tomadas de Divisão de Geologia Básica Instrução Técnica Digeob 06: hbl: hornblenda; chl: clorita; tlc: talco; pg: paragonita; qtz: quartzo; pl: plagioclásio. PP: Polarizadores paralelos. PC: Polarizadores cruzados.
A descrição permite relacionar duas paragêneses para essa rocha. A primeira com anfibólio e a segunda com clorita, talco e óxidos. Dessa maneira, é possível estabelecer dois eventos metamórficos para essa rocha. O primeiro se relaciona com a formação de hornblenditos em condições de fácies anfibolito, derivados da hidratação de rochas ultrabásicas como piroxenitos no processo de uralitização. Por sua vez, o segundo se relaciona com a transformação do anfibólio e geração de clorita e talco, evidenciando condições metamórficas de mais baixo grau em fácies xisto verde.

## 5.1.1.2 Unidade Metassedimentar (NP2st2)



Figura 5.5. Localização da unidade Metassedimentar na Área II destacado no mapa de *hillshade* do relevo.

A unidade, representada pela cor amarelo no mapa, ocupa 45% da área e aflora como longas faixas de direção NE-SW nas porcões noroeste e sudeste, além de ocorrer lentes dentro do Plúton Faina (Figura 5.5). É limitada a leste pela ZC Faina e a oeste faz contato regular com a intrusão do plúton. O relevo que predomina é plano a suavemente ondulado com exceção de regiões de topografia mais acidentada representada por cristas orientadas NE-SW (Figura 5.6). Os solos sobrepostos a esta essencialmente plintossolos unidade são pétricos concrecionários, latossolos vermelhos distróficos e cambissolos háplicos, bem como neossolos litólicos nas cristas dos morros e gleissolos próximos às drenagens. Devido a extensão das crostas lateríticas, poucos afloramentos in situ frescos foram identificados (Figura 5.7A), sendo a maioria em blocos soltos (Figura 5.7B). Em geral, localizavam-se em drenagens, pisos de estradas de terra (Figura 5.7C) e nos altos topográficos.



Figura 5.6. Principais aspectos fisiográficos da unidade Metassedimentar Santa Terezinha. No horizonte, observam-se morros de granada-muscovita-clorita xisto em contraposição com relevo suavemente ondulado recoberto por pastagem.

As rochas identificadas em campo incluem uma associação de magnetita-biotitamuscovita gnaisse e xistos variados compostos por granada-muscovita-clorita xisto, granadaclorita-muscovita xisto, clorita-quartzo xisto, clorita xisto, muscovita-quartzo xisto.



Figura 5.7. A) Afloramento decamétrico em drenagem de clorita quartzo xisto cinza esverdeado (ponto 12). B) Afloramento em blocos soltos de granada clorita muscovita xisto com porfiroblastos de granada milimétricos alterados (ponto 29). C) Afloramento de muscovita-quartzo xisto (ponto 109).

A rocha magnetita-biotita-muscovita gnaisse está associada a corredores de cisalhamento localizados à SW da área. É constituída essencialmente por quartzo (40 a 45%); feldspatos (13 a 15%), agregados de sericita (20% a 25%) e proporções subordinadas de muscovita (8% a 10%) e biotita (5 a 8%), além de clorita (3 a 5%), opacos (2%) e turmalina como acessório. A estrutura da rocha é marcada por foliação espaçada (bandamento) definida pela orientação das fitas de quartzo, opacos estirados e pontualmente pelas lamelas de muscovita e biotita que compõem textura lepidoblástica. Os domínios de clivagem são alternados com níveis lineares ou sigmoidais constituídos essencialmente por agregados de sericita/muscovita (Figura 5.8A, B). Nesses níveis foi possível reconhecer grãos euédricos de turmalina (Figura 5.8C) e, em raros casos, resquícios de feldspato potássico quase completamente substituídos pelos agregados de sericita/muscovita. Além das fitas de quartzo, essa fase pode ocorrer como agregados com forma lenticular a sigmoidal, nos quais os contatos entre os grãos são interlobados a serrilhados, o que sugere migração de borda entre os grãos (Figura 5.8D). Feições como extinção ondulante e formação de subgrãos são comuns, sendo possível observar, também, agregados de neoblastos poligonais que ocorrem localmente e definem textura granoblástica poligonal. Os minerais opacos são magnetitas que estão em transformação para hematita nos limites dos grãos e ao longo das fraturas. Verifica-se, ainda,

a presença de cristais de clorita nas bordas e planos de clivagem das lamelas de biotita, o que sugere desequilíbrio entre as duas fases minerais (Figura 5.8E).



Figura 5.8. Fotografias representativas do magnetita-biotita-muscovita gnaisse (ponto 26). A) Amostra de mão de magnetitabiotita-muscovita gnaisse mostrando foliação espaçada milimétrica. No centro da imagem, obrserva-se grão opaco de magnetita estirado. B) Foliação espaçada marcada por fitas de quartzo, opacos estirados e domínio lebidoblásticos de biotita e muscovita primária. Visto sob polarizadores cruzados. C) Nível de sericita, muscovita secundária e cristal euédrico de turmalina (centro). Visto com polarizador cruzado. D) Agregados lenticulares a sigmoidais de quartzo com contatos serrilhados e loabados, além de contatos poligonais de neoblastos que formam textura granoblástica. E) Cloritização na borda e nos planos de clivagem de grãos de biotita. Abreviações tomadas de Divisão de Geologia Básica Instrução Técnica Digeob 06: tur: turmalina; ser: sericita; chl: clorita; ms: muscovita; qtz: quartzo; fsp: feldspato. PP: Polarizadores paralelos. PC: Polarizadores cruzados.

As estruturas e texturas observadas indicam que a rocha foi submetida a dois eventos distintos. O primeiro deles foi responsável pelo estabelecimento da foliação e se deu, provavelmente, em regime dúctil imprimiu nas rochas feições assimétricas, como sigmoides de quartzo. A associação mineral estável durante esse evento é representada por quartzo, plagioclásio, biotita, muscovita e, possivelmente, feldspato potássico. O segundo evento foi responsável pela canalização de fluidos ao longo de estruturas previamente formadas, que promoveram hidrólise das fases aluminosas, principalmente do KF e levou a intensa sericitização/muscovitização da rocha, assim como a reação de transformação de magnetita pra hematita devido a presença de fluidos oxidantes. Durante essa fase a biotita foi parcial a intensamente substituída por clorita e as relações texturais e estruturais estabelecida na fase anterior foram obliteradas.

As feições observadas nessa amostra demonstram a atuação de processos metamórficos que, nesse caso, estão representados por sericitização/muscovitização, cloritização e martitização responsável pelo reequilíbrio da paragênese mineral original. A atuação dos processos metamórficos permitiu o desenvolvimento de paragênese metamórfica estável em condições de fácies xisto verde baixa representada por clorita, sericita, quartzo, turmalina e hematita. Como relictos da associação metamórfica anterior são observados cristais lamelares parcialmente preservados de biotita e muscovita, além de magnetita e fitas de quartzo que devem representar relictos da fase anterior. Essa associação reliquiar é estável em amplo intervalo de pressão e temperatura o que torna difícil estabelecer o grau metamórfico da fábrica anterior à alteração hidrotermal. Nesse sentido, o magnetita-biotita-muscovita gnaisse pode estar relacionado a protolito sedimentar psamítico ou vulcânica acida, entretanto, é importante destacar que, dado o grau de alteração dessas rochas, considerações acerca do protolito tornam-se especulativas.

A variação de xistos ocorre de forma difusa por toda subárea. De todas as litologias citadas anteriormente, as principais ocorrências são de clorita-quartzo xisto, muscovita-quartzo xisto e granada-muscovita-clorita xisto. O clorita-quartzo xisto (Figura 5.9A) apresenta coloração verde esbranquiçada, granulação fina, e é composto por clorita (55%), quartzo (20%), muscovita (15%), e opacos (10%). A estrutura da rocha é marcada por xistosidade contínua dada orientação de muscovita e clorita formando textura lepidoblástica.



Figura 5.9. Fotografias de amostras de mão pertencentes aos xistos da unidade Metassedimentar Psamo-Pelítica da Sequência Santa Terezinha de Goiás. A) Clorita-quartzo xisto verde escuro, de granulação fina com xistosidade contínua (ponto 9). Vista paralela à foliação. B) Muscovita-quartzo xisto, de granulação fina e xistosidade marcada pela orientação da muscovita (ponto 103).

Além disso, bandas milimétricas de quartzo alongados também compõem a foliação. A paragênese chl + mu +qtz indica metamorfismo de rochas pelíticas em fácies xisto verde baixa com protolito rico em FeO.

Por sua vez, o muscovita-quartzo xisto possui coloração branco creme, granulação fina e compõem-se de quartzo (60 a 70%) e muscovita (30 a 40%) (Figura 5.9B). A estruturação da rocha se dá pela xistosidade desenvolvida pela orientação da muscovita em textura lepidoblástica e pela foliação gerada pelos grãos orientados de quartzo. A paragênese qtz + mu pode ser ampliada em um grande intervalo de pressão e temperatura, por isso não é possível dizer sobre as condições de metamorfismo dessa rocha. Em relação ao protolito, fica escassa a interpretação, porém pode ser rocha de origem sedimentar ou vulcânica ácida.

Já o granada-muscovita-clorita xisto ocorre tanto difuso meio a sequência quanto também como lentes orientadas dentro do corpo intrusivo. Em geral, apresenta coloração verde acinzentada quando fresca e marrom avermelhada quando alterada, sendo rara a presença de afloramentos de rocha fresca. Vale destacar que os relictos de granada são milimétricos nas amostras que estão meio a sequência e chegam a centimétricos em rochas de dentro do corpo intrusivo (Figuras 10A, B).

Em geral, a rocha é constituída de clorita (33 a 45%), muscovita (20 a 25%), quartzo (10 a 20%) relictos de granada (5 a 15%) e opacos (2%). A estrutura é formada por duas direções de foliação, caracterizada como foliação milonítica par S-C marcada pela orientação preferencial da clorita e muscovita que compõem a textura lepidoblástica. Grãos de quartzo em forma lenticular e sigmoidal também marcam a foliação, nos quais os contatos entre os grãos são interlobados a serrilhados, o que sugere migração de borda entre os grãos (Figura 5.1C e D). Relictos de granada evidenciam textura porfiroblástica inicial, são envoltos por clorita e muscovita fina e possuem inclusões de grãos de quartzo e clorita que formam foliação interna oblíqua à foliação externa (Figura 5.10E, F). A partir da análise entre a foliação externa e interna determina-se que as granadas são pré-sin tectônicas.

Dessa forma, a paragênese mineral inicial definida por quartzo, granada, muscovita indica associação metamórfica esperada para rochas pelíticas metamorfizadas em condições de fácies xisto verde alto a anfibolito na zona da granada. Ademais, a presença de estaurolita e cianita em alguns xistos e gnaisses identificados nas áreas adjacentes sugere que a rocha em questão foi submetida a metamorfismo regional em condições de fácies anfibolito na zona da cianita.

As texturas de desequilíbrio associadas aos cristais de clorita sugerem que essa fase substituiu a granada a partir de reações retrometamórficas. Essas reações ocorreram, provavelmente em condições de pressão e temperatura de fácies xisto verde baixa, já que nessas condições a clorita não é estável em associação com a granada. Nesse sentido, alguns cristais de muscovita, sobretudo aqueles de menor espessura que envolvem os porfiroblastos de granada deve compor a paragênese retrometamórfica juntamente com a clorita.

Por fim, devido crescimento brusco dos grãos de granada em amostras de dentro da intrusão ígnea, é possível interpretar que a temperatura cuja rocha foi submetida foi maior que nas rochas fora do corpo intrusivo, podendo representar um *roof pendant*. Porém são



necessários estudos mais detalhados a cerca desse aspecto para entender melhor as condições de formação dessa rocha.

Figura 5.10. Fotografias representativas de granada-muscovita-clorita xisto. A) Relictos de granada milimétricos em amostra de mão inserida fora do corpo ígneo (ponto 131A). B) Relictos de granada plurimilimétricos a centimétricos em amostra de mão inserida dentro do corpo ígneo (ponto 131X). C) Estrutura formada por xistosidade dada pela orientação preferencial da clorita e muscovita que compõem a textura lepidoblástica. Grãos de quartzo em forma lenticular e sigmoidal também marcam a foliação (ponto 131A). D) clorita e muscovita discordantes da foliação inicial (ponto 131X). E) Relictos de granada pré a sin tectônicos com inclusões de quartzo e clorita (ponto 131A). F) Destaque para muscovita fina discordante em volta do relicto de granada (ponto 131X). Abreviações tomadas de Divisão de Geologia Básica Instrução Técnica Digeob 06: grt: granada, chl: clorita; ms: muscovita. PP: Polarizadores paralelos. PC: Polarizadores cruzados.

#### 5.2 Ortognaisses Santa Terezinha (NP2y1st)



Figura 5.11. Localização da unidade Ortognaisses Santa Terezinha na Área II destacada no mapa de Hillshade do relevo.

A unidade Ortognaisses Santa Terezinha, marcada pela cor rosa claro no mapa (Figura 5.11), abrange cerca de 1% da Área II, e aflora em pontos específicos na porção nordeste, formando um corpo alongado de direção NE-SW. Encontra-se ao longo de drenagens, em lajedos de aproximadamente 15 m (Figura 5.12A), entre as unidades Metamáfica-Ultramáfica e Metassedimentar Santa Terezinha.

A rocha característica desta subunidade foi classificada como granada-muscovita-biotita gnaisse tonalítico. Trata-se de uma rocha com coloração cinza médio (Figura 5.12B), granulação fina e estrutura bandada com orientação 300/60. Constitui-se de plagioclásio (30%), quartzo (30%), biotita (30%), epidoto (5%), granada (3%) e feldspato potássico (2%), sendo assim de composição tonalítica. Ainda, o bandamento é marcado pela textura lepidonematoblástica e alterna-se em bandas de biotita e bandas quartzo feldspáticas milimétricas (Figura 5.12C) a centimétricas (Figura 5.12D). Ademais, observa-se também a

presença de enclaves máficos orientados segundo o plano de foliação. Além do bandamento, a



Figura 5.12. Aspectos gerais de ortognaisses tonalíticos. A e B) Afloramento tipo lajedo em leito de drenagem (ponto 115) de ortognaisse tonalítico com biotita e bandamento gnáissico milimétrico. C e D). Apresenta enclaves máficos orientados segundo o plano de foliação (300/60). Bandamento gnáissico centimétrico deformado (ponto 116). PP: Polarizadores paralelos. PC: Polarizadores cruzados.

amostra apresenta diversas outras feições desenvolvidas como resposta a processos deformacionais, como dobras, dobras de arrasto e falhas.

Nesse contexto, a proporção plagioclásio/feldspato potássico, a presença de enclaves máficos e de granada e biotita sugerem um protólito ígneo plutônico tonalítico com caráter meta- a peraluminoso.

# 5.3 Intrusivas Tardi a Pós-Tectônicas - Plúton Faina (NP3γ3f)

O Plúton Faina é a unidade mais jovem mapeada na Área II do Projeto Mara Rosa (PMR). Ocupa cerca de 50% da área e está limitado a leste pela Zona de Cisalhamento Faina e a oeste apresenta contacto intrusivo nas unidades da sequência vulcanossedimentar Santa Terezinha. Na literatura, tinha sido descrito inicialmente como Granito Faina (Viana, 1995), mas durante o mapeamento foram reconhecidos também tonalitos e granodioritos ao redor deste corpo principal. Portanto, de forma a englobar todas as rochas plutônicas ácidas a intermediárias, essa unidade foi renomeada para Plúton Faina, caracterizado por apresentar duas fácies, uma granodiorítica-tonalítica e outra granítica. O corpo plutônico possui formato sinuoso com direção NE-SW, ~12 km de extensão e aproximadamente 5-1,5 km de largura (Figura 5.13).



Figura 5.13. Aspectos fisiográficos/geomorfológicos do Plúton Faina. No horizonte, destacam-se morros representantes do corpo granítico. Na região mais aplainada e vegetada ocorre a Sequência Santa Terezinha.

*Fácies granodiorítica-tonalítica (NP3y3f2)* 



Figura 5.14. Localização da fácies granítica da unidade Plúton Faina na Área II no mapa de Hillshade do relevo (A) e gradiente horizontal total (B).

alguns afloramentos em lajedo (Figura 5.18B).

Α fácies granodioríticatonalítica, representada pela cor vermelho-escuro no mapa (Figura relevo 5.17). encontra-se em aplainado nas bordas do plúton. As rochas foram classificadas como biotita tonalito e biotita granodiorito. Ao sul, é recoberta por Plintossolo Pétrico concrecionário e vegetação do tipo savana arbórea com floresta de galeria. Lajedos extensos, pouco intemperizados e por vezes com esfoliação esferoidal (Figura 5.18A) são característicos no sul da área. Já ao norte, a subunidade é sobreposta por Latossolo Vermelho distrófico e áreas de pastagens. Porém, ao longo das drenagens foi possível encontrar

Em campo, tanto os tonalitos quanto os granodioritos são rochas holocristalinas, faneríticas de coloração cinza claro a esverdeado, mesocráticas, hipidiomórficas e inequigranulares seriadas, de granulação fina a média. Ambas as rochas possuem foliação bemmarcada, com espaçamento milimétrico e ressaltada pela orientação dos minerais micáceos, principalmente biotita, e agregados quartzo-feldspáticos (Figura 5.18C).

Próximo às zonas de cisalhamento que limitam essa fácies, afloram tonalitos deformados, com granulação muito fina a fina na forma de lajedos próximos a drenagens. Eles apresentam foliação bem pronunciada com espaçamento milimétrico, intersectada por veios quartzo.

Comumente observam-se diques com direção E-W e NE-SW de granulação fina a densa, máficos e félsicos com foliação concomitante e deformados (Figura 5.18D e E). São encontrados também enclaves máficos com contato difuso (Figura 5.18F).

Essa fácies é caracterizada por fenocristais de oligoclásio zoneados (1-4 mm) imersos em matriz composta por cristais finos a médios de biotita e cristais finos de quartzo e plagioclásio em textura granular. Minerais do grupo do epidoto (epidoto, clinozoisita e allanita), muscovita e microclínio (Figura 5.19A, B) também estão presentes. Apatita, zircão e titanita ocorrem como minerais acessórios, principalmente como inclusões nos cristais de feldspato.

A fácies é composta por plagioclásio An25 - oligoclásio (26-40%), quartzo (25%), biotita (20%), feldspato potássico (0-14%), epidoto (8%) e muscovita (5%). A variação entre granodiorito e tonalito é inferida pela quantidade de feldspato potássico presente nas lâminas. A presença de texturas mirmequíticas (resultado da reação no contato entre um cristal de



plagioclásio e um cristal de feldspato potássico) denotam a existência do microclínio, ainda quando esses cristais não se apresentam com as formas típicas.

Figura 5.15. Aspectos da fácies granodiorítica-tonalítca. A) Afloramento em lajedo e com esfoliação esferoidal do tonalito na parte sul do Plúton Faina (ponto 71) e B) Afloramento em drenagem do tonalito ao norte do Plúton Faina (ponto 122). C) Amostra de tonalito com foliação bem-marcada pela biotita (ponto 22). Observa-se que os domínios quartzo-feldspáticos encontram-se deformados. D) Dique máfico de granulação fina e textura equigranular que intrude a porção relativamente mais grossa da fácies granodiorítica-tonalítica (ponto 122). Também se observam veios de quartzo. E) Contato entre um granodiorito de granulação fina a média com um dique de granulação fina da mesma composição (ponto 24). F) Enclave máfico com contato difuso nas fácies do biotita granodiorito (ponto 55).

O quartzo ocorre na forma de fitas recristalizadas e como cristais com rotação de subgrãos (SGR), o que indica uma recristalização dinâmica a temperaturas entre 350 e 550 °C. Os fenocristais de oligoclásio são subédricos, tem frequentemente geminação polissintética, segundo a Lei da Albita a qual pode estar combinada (ou não) com a geminação da Lei da Periclina. Como foi observado nas figuras 5.19B e C, eles podem estar zoneados. O oligoclásio também ocorre como cristais finos subédricos orientados segundo a foliação. O contato lobular das bordas pode indicar que houve recristalização.

Os minerais do grupo do epidoto, bem como a muscovita, ocorrem tanto como cristais euédricos, como inclusões no centro dos cristais de plagioclásio, e na forma de veios. Com base nisso, é possível individualizar ao menos três gerações desse grupo de minerais: i) aqueles euedrais com núcleo de composição allanítica (destacado pela cor de interferência baixa) e cuja relação com a biotita indica que foram formados anteriormente a esta, interpretados como epidoto primários, (Figura 5.19D); ii) aqueles nos cristais de plagioclásio, interpretados como epidoto secundário, produto da alteração do plagioclásio, provavelmente afetando áreas mais ricas em cálcio (Figura 5.19C) e iii) aqueles dos veios, interpretados como produtos de alteração hidrotermal (Figura 5.19E). Estudos que dizem respeito a geotermobarometria do epidoto magmático em granitóides tardi-colisionais do nordeste brasileiro sugerem que a rápida ascensão pela crosta e o rápido crescimento dos cristais de biotita e plagioclásio impediram que o epidoto fosse reabsorvido pelo magma (Sial et al., 2008; Schmidt & Thompson, 1996; Brandão et al., 1996). Com base nisso, os autores inferiram que o magma gerador estava alocado a, pelo menos, 25 km de profundidade. É possível fazer uma analogia com o Plúton Faina, mas são necessárias análises químicas dos minerais.

Na borda leste do corpo, encontra-se uma rocha de composição tonalítica de granulação muito fina, muito deformada. Para ela, foi associada fácies de borda do corpo intrusivo. Tratase de uma rocha cinza escuro, holocristalina, subfanerítica, hipidiomórfica, inequigranular com granulação muito fina. É composta por plagioclásio (35%), quartzo (30%), biotita (20%), muscovita (10%) e minerais do grupo do epidoto (5%; Figura 5.19F). Não foi possível obter o teor de An do plagioclásio. Apresenta bandamento composicional com espaçamento milimétrico ressaltado pelo epidoto e minerais micáceos,

# Fácies Granítica (NP3y3f1)



Figura 5.16. Localização da fácies granítica da unidade Plúton Faina na Área II no mapa de Hillshade do relevo (A) e gradiente horizontal total (B).

A fácies granítica, destacada pela cor vermelho no mapa (Figura 5.14), está restringida a parte centrodo Plúton Faina e leste do corresponde ao relevo de morros e colinas. Nesta fácies encontrasse associado o Neossolo Litólico e vegetação do tipo savana arborizada floresta de galeria. sem Os afloramentos rochosos são abundantes e comumente encontram-se na forma de lajedos extensos pouco intemperizados e com esfoliação esferoidal (Figura 15A, B).

A rocha dessa Fácies é classificada como um biotita

monzogranito de granulação fina a média com foliação insipiente marcada pela orientação das



Figura 5.17. Aspectos macroscópicos do biotita granito (ponto 57). A e B) Afloramentos da fácies granítica do Plúton Faina na forma de lajedos extensos, pouco intemperizados. Em B se observa a erosão esferoidal. C) Típico aspecto da amostra mesoscópica de granito mesocrático. D) Aspecto em afloramento do granito inequigranular, caracterizado por fenocristais de plagioclásio de 3 cm imersos em matriz leucocráticaa formada por cristais de microclínio, quartzo e muscovita. Observase a orientação por fluxos nos fenocristais.

micas (Figura 5.15C). e por vezes isotrópico. A rocha é de coloração cinza esbranquiçado a esverdeado, mesocrática a leucocrática, hipidiomórfica e equigranular (na porção central do pluton) a inequigranular seriada (próximo as bordas do pluton). Quando predomina a textura inequigranular seriada, os fenocristais de feldspato têm tamanho de entre 0,4-3 cm (Figura 5.15D).

A fácies é composta por cristais finos com contatos planares de feldspato potássico (microclínio, 30%), quartzo (30%), oligoclásio (An 25, 20%), muscovita (10%), biotita (5%) e epidoto (5%). Allanita e opacos ocorrem como minerais acessórios. Entre os cristais de oligoclásio e microclínio observa-se a textura de reação mirmequítica (Figura 5.16A e B).

O epidoto se apresenta como cristais finos euédricos onde o núcleo contém composição allanítica, destacado pela cor de interferência menor (Figura 5.16C e D). Nesse contexto, a relação do epidoto com a biotita é semelhante ao epidoto primário observado na fácies granodiorítica-tonalítica, em que a biotita se formou posteriormente ao epidoto. Como já explanado, ambas informações podem sugerir que o magma gerador dessas rochas tenha se alocado a 25 km de profundidade.



Figura 5.18. Aspectos microscópicos do biotita granito (amostra 57). A e B) Biotita granito composto por microclínio, oligoclásio, quartzo, muscovita e epidoto. O epidoto apresenta núcleo rico em allanita. C e D) Textura mirmequítica no contato entre microclínio e plagioclásio. Abreviações tomadas de Divisão de Geologia Básica Instrução Técnica Digeob 06: pl: plagioclásio, bt: biotita, ep: epidoto, mic: microclínio. PP: Polarizadores paralelos. PC: Polarizadores cruzados.



Figura 5.19. Diferentes aspectos petrograficos da Fácies granodioritica-tonalitica do Plúton Faina: A) Fenocristais de plagioclásio e quartzo parcialmente deformados e envolvidos pela biotita que marca a foliação em tonalito (amostra 22). B) Fenocristais de plagioclásio zonados imersos em matriz composta por cristais finos a médios de biotita e cristais finos de quartzo, minerais do grupo do epidoto, muscovita e feldspato potássico, também em tonalito (amostra 24). C) Cristais subhédricos de epidoto primário envoltos por biotita no tonalito (amostra 22). D) Fenocristais centimétricos de plagioclásio zonados com inclusões de epidoto e muscovita em determinadas áreas do cristal zoneado, granodiorito (amostra 55). E) Veios de epidoto em tonalito interpretados como produto de alteração hidrotermal (amostra 122). F) Aspecto petrográfico do tonalito de fácies de borda. Apresenta granulação fina e composto por plagioclásio, biotita, quartzo, epidoto e muscovita. A foliação está muito bemmarcada, pela orientação dos cristais de epidoto (amostra 86). Abreviações tomadas de Divisão de Geologia Básica Instrução Técnica Digeob 06: pl: plagioclásio, bt: biotita, ep: epidoto. PP: Polarizadores paralelos. PC: Polarizadores cruzados.

CAPÍTULO 6. GEOLOGIA ESTRUTURAL

# 6.1 Geologia Estrutural do Projeto

Esta seção tem como objetivo a apresentação e descrição dos domínios estruturais do Projeto Mara Rosa. Estes domínios foram delimitados de maneira integrada, tendo como base a análise dos dados estruturais coletados em campo, bem como a correlação deles com estruturas identificadas nos produtos derivados dos levantamentos aerogeofísicos e de sensoriamento remoto.

Quatro domínios estruturais foram definidos, sendo eles de oeste para leste: (I) Transbrasiliano, (II) Mara Rosa, (III) Bom Jesus e (IV) Campinorte (Figura 6.1). Para a individualização de tais domínios, levou-se em consideração essencialmente o padrão geométrico das estruturas planares e lineares mapeadas, assim como feições assimétricas.

Os estereogramas com as densidades das medidas de foliações e lineações coletadas em campo foram gerados utilizando a biblioteca mplstereonet na linguagem de programação Python (Kington, 2013). A projeção estereográfica utilizada foi a de Schmidt, que representa o hemisfério inferior da esfera e uma rede dividida em áreas iguais. O método de interpolação utilizado para os contornos de densidade foi o método exponencial de Kamb, que leva em conta a quantidade de desvios padrão ( $\sigma$ ) de medidas aleatórias que poderiam variar do banco de dados, influenciando no tamanho dos círculos dos contornos (Vollmer, 1995). Dessa forma, quanto maior a quantidade de desvios padrão, mais suavizado e maiores as áreas dos contornos, sendo que a suavização escolhida para os estereogramas de pólos de foliação foi de 3 $\sigma$  e para os de lineação, de 2 $\sigma$ .

A descrição sintetizada de cada domínio é apresentada a seguir, levando em consideração suas especificidades próprias.



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

#### 6.1.1 Domínio I - Transbrasiliano

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

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

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



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

# 6.1.2 Domínio II - Mara Rosa

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

Esse domínio define-se por uma certa heterogeneidade da distribuição das foliações com duas direções preferenciais: (i) foliações com direção NE-SW no setor oeste e (ii) foliações com direção N-S no setor leste. As foliações de direção NE-SW apresentam

mergulhos moderados (30-60°) (Figura. 6.3A) para NW e as de direção N-S apresentam mergulhos moderados a altos (> 60°) para W (Figura. 6.3C).

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

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



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

#### 6.1.3 Domínio III - Bom Jesus

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

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



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

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

#### 6.1.4 Domínio IV - Campinorte

O Domínio Campinorte, delimitado na porção sudeste da Área X, apresenta geometria de faixa arqueada, com orientação N-S e inflexão para NE-SW em sua porção norte, representando cerca de 4% da área do projeto. Sua estruturação principal é definida pelas feições observadas nas rochas da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte, Suíte Pau de Mel e Grupo Serra da Mesa, sendo marcada por foliações do tipo xistosidade, milonítica e ultramilonítica. Embora possua zonas de cisalhamento em seu interior, elas não foram utilizadas como divisores para demais domínios, pois não apresentam modificações significativas no padrão deformacional da região.

Esse domínio apresenta três direções preferenciais de foliação, a saber, uma foliação (i) N-S, observada a sul e oeste no domínio, uma foliação (ii) NE-SW, vista ao longo de todo o domínio, e uma foliação (iii) E-W, descrita na porção central. A relação entre ambas se dá pela predominância da foliação NE-SW, com as demais direções subordinadas, associadas à inflexão regional observada na zona de falha Rio dos Bois e aos corredores de cisalhamento N-S (Figura 6.5).

O trend N-S pode ser correlacionado aos corredores de cisalhamento dúctil-rúpteis de mesma orientação, desenvolvidos em uma tectônica pré-brasiliana. A estruturação N-S é marcada por mergulho moderado para W (30° a 50°) e lineações de estiramento mineral associadas, com caimento de até 40° para norte. Já o trend NE-SW ocorre de forma predominante no Domínio Campinorte, associado ao evento deformacional transbrasiliano. Estes planos apresentam mergulho variável para NW, entre 30° e 80° aproximadamente, conforme a proximidade com as zonas de cisalhamento e com a Falha Rio dos Bois. Assim como a foliação anterior, o NE-SW também compreende uma série de lineações de estiramento mineral, com baixo ângulo de caimento para norte.

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

O estereograma de foliação referente a este domínio (Figura 6.5A) evidencia as três principais direções de foliação, ambas com mergulho moderado, variando em maioria entre 45° e 60°. Já o estereograma de lineações (Figura 6.5B) demonstra os caimentos destas feições em baixo ângulo para norte.

Projeto Mara Rosa – Área II



Figura 6.5. Estereogramas associados ao Domínio Campinorte. (A) Contornos de probabilidade relativos aos polos das foliações, destacando a presença das três direções preferenciais desse domínio; (B) Representação das medidas de lineação destacando a principal direção N-S.

# 5.2 Geologia Estrutural Local

A área II está inserida no domínio Transbrasiliano e Mara Rosa do PMR. Apesar das foliações apresentarem uma única direção preferencial NE-SW e mergulho para noroeste, suas relações com as lineações de estiramento mineral sugerem duas componentes distintas de deformação. Dessa forma, foi possível delimitar dois domínios estruturais na subárea, um com lineação mais próxima a direção do mergulho com caimento NW, sugerindo transporte tectônico para SE, o qual abrange o sistema de zona de cisalhamento compressiva Varalzinho (ZCV). Outro com lineação mais oblíqua/direcional com caimento SW, sugerindo transporte para NE que engloba sistema de zona de cisalhamento transcorrente Serra do Faina (ZCSF) (Figura 6.6 e 7). Vale ressaltar que o produto geofísico Gradiente Horizontal Total auxiliou o reconhecimento de estruturas na área.

Capítulo 6 – Geologia Estrutural



Figura 6.6. Mapa estrutural da Área II.

Projeto Mara Rosa – Área II



Figura 6.7 A) Mapa de domínios estruturais da área II delimitados pelas direções das lineações que indicam diferentes transportes tectônicos. Domínio 1- a oeste da área, indica transporte de NW para SE. Domínio 2- a leste, apresenta transporte de SW para NE. B) Mapa de gradiente horizontal total (GHT) com as estruturas e zonas de cisalhamento destacadas. ZCV-zona de cisalhamento Varalzinho. ZCSF- zona de cisalhamento Serra do Faina.

O domínio 1 a oeste da área em azul-claro, é representado pelo sistema ZCV. Trata-se de feição curvilínea anastomosada com direção geral NE-SW, que se ramifica na mesma direção indo para leste da área e tendendo para NNE rumo ao limite oeste. A zona não necessariamente delimita contatos, porém o contato da unidade Santa Terezinha com o plúton é bem delimitado.

Nesse domínio, foram tiradas 112 medidas de foliação na qual a maioria (>12%) mostra direção preferencial N40E com mergulho  $35^{\circ}$  para noroeste (Figura 6.8A). Outra porção significativa de dados (9 a 12%), apresenta foliações de mais alto ângulo em torno de  $55^{\circ}$  para noroeste cuja direção é N20E. Regularmente (8,37 a 9%), existem foliações com mergulho de 45 a 60° para noroeste que localmente (<8,37%) podem chegar até 65°. Ângulos menores que  $35^{\circ}$  ocorrem em menor expressividade nesse domínio. Já 12 medidas de lineação de estiramento extraídas, mostram dois padrões principais de caimento, sendo um com caimento de 20 a  $35^{\circ}$  NW e outro na mesma direção, de 50 a  $65^{\circ}$  (Figura 6.8B).

Destrinchando o sistema da ZVC, na ZCV1 o mergulho da foliação é intermediário, varia de 45 a 50° e a lineação de estiramento ocorre no mergulho da foliação (Sn 280/47 e Ln



Figura 6.8. Estereogramas de medidas do domínio 1. A) Pólos da foliação, mostrando direção preferencial NE-SW com mergulho para NW. B) Plotagem de caimento de lineações de estiramento mineral, preferencialmente NW.

47/285; Figura 6.9A). Cerca de 1 km a leste da zona, há um ponto de quartzo clorita xisto com lineação de estiramento oblíqua a xistosidade (Sn 334/40 e Ln 32/293; Figura 6.9B). A ZCV2 foi inferida pela resposta geofísica pois não foi possível encontrar pontos devido a intensa lateritização. Já na ZCV3, o ângulo de mergulho da foliação é mais acentuado chegando a 65°. No extremo norte, encontra-se ortognaisse com bandamento centimétrico em torno de 60° de mergulho, lineação de estiramento no mergulho da foliação (Sn 300/60 e Ln 289/59), dobras de arrasto e sigmoides de enclaves máficos como indicadores cinemáticos, mostrando cinemática reversa oblíqua dextral (Figura 6.9C). Também nessa zona mais a sul, foram encontrados sigmóides de quartzo deformados mostrando movimentação topo para SE em paragnaisses (Figura 6.9D) e brechas de falha. Por fim, na ZCV4 a xistosidade chega até 60°, porém não foi possível medir lineações ou indicadores cinemáticos.

Em síntese, no sistema da ZCV as foliações apresentam ângulos moderados a altos de mergulho (45 a 65°) e a maior parte das lineações de estiramento mineral ocorrem no mergulho da foliação ou levemente oblíqua. Representam, portanto, movimentação de rampa frontal a oblíqua em sistemas de empurrões, cujos indicadores cinemáticos mostram movimentação reversa oblíqua com transporte de massa de noroeste topo para sudeste, em um sistema transpressivo dextral, com predomínio da componente compressiva.



Figura 6.9. A) Afloramento in situ de paragnaisse com foliação 280/47° e lineação 47/285 com cinemática reversa compressiva (ponto 7). B) Afloramento in situ de clorita xisto com foliação 334/40° e lineação de estiramento 32/293° (ponto 9). C) Dobras de arrasto observadas em ortognaisse com movimentação dextral (ponto 117). D) Aspectos mesoscópicos de uma amostra orientada onde é possível observar sigmoides de quartzo com topo para SE (amostra 26).

Por sua vez, o domínio 2 em azul-esverdeado, é caracterizado pelo sistema ZCSF. É caracterizado por estruturas retilíneas ou levemente encurvadas de direção NE-SW que ocorrem na parte oeste do plúton (ZCSF1), na sua borda leste (ZCSF2) e no extremo leste da área onde ela se bifurca com um ângulo mais acentuado para NE-SW (ZCSF3). Localmente no corpo granítico, observa-se uma zona milonítica.

Nesse domínio as foliações são mais homogêneas, das 213 medidas de foliações obtidas, a grande maioria possui direção preferencial N30E com mergulho de 40° para noroeste. De forma menos expressiva (<12%), existem foliações de alto ângulo (até 80°), que são relacionadas às zonas de cisalhamento. A lineação de estiramento mineral tem direção NE-SE com caimento para SW. O caimento varia de mais alto ângulo (55°) e outros de mais baixo de 30 a 5° (Figura 6.10).



Figura 6.10 Estereogramas de medidas do domínio 2. A) Pólos da foliação homogênea, mostrando direção preferencial NE-SW com mergulho para NW. De forma menos expressiva, foliações de alto ângulo. B) Plotagem de caimento de lineações de estiramento mineral, preferencialmente SW.

Detalhando o sistema da ZCSF, na ZCSF1 o mergulho da foliação é intermediário a alto varia de 50 a 60° e a lineação de estiramento ocorre no strike da foliação (Sn 290/60 e Ln 05/210) e os indicadores cinemáticos como porfiroclastos de quartzo tipo sigma rotacionados formando sombra de pressão e foliação milonítica par S-C marcada por lamelas de clorita e muscovita mostram cinemática dextral para essa zona (Figura 6.11A e B). Já na ZCSF2, as foliações são de alto ângulo e a lineação é oblíqua a lateral e os indicadores cinemáticos mostram cinemática principalmente sinistral para essa zona, apesar de existirem indicadores dextrais em menor proporção, indicando deformação em cisalhamento sub-simples. Os indicadores de movimento são representados por porfiroclastos de feldspatos tipo sigma rotacionados (Figura 6.11C) par S-C e desvio de foliação milonítica. Destaca-se a presença de contato abrupto entre milonito (ultamilonito) e rocha encaixante, onde a assimetria dos grãos de quartzo e feldspato no milonito que sugerem cinemática sinistral, e os grãos finos formando bandas quartzo-feldspáticas paralelas ao contato da zona (Figura 6.11D). Por fim, a ZCSF3 é caracterizada por foliação de ângulos intermediários a altos (50 a  $70^{\circ}$ ) e lineação oblígua de caimento 55°. Localmente nessa zona, os xistos são crenulados e a direção da clivagem de crenulação é E-W mergulhando para norte (Figura 6.11E). Outra evidência da presença da zona foram blocos rolados de cianititos, evidenciando canalização de fluidos. Localmente, ocorre zona milonítica de baixo ângulo dentro do corpo granítico marcado por foliação milonítica característica (Figura 6.11F).

Em resumo, no ZSCF prevalecem lineações de estiramento mineral oblíquas/direcionais o que mostra a predominância de componente transcorrente para esse sistema transpressivo, ora dextral, ora sinistral. Ressalta-se que o transporte tectônico é topo para NE, diferentemente do domínio 1.



Figura 6.11. A) Porfiroclasto de quartzo em granodiorito que atesta a movimentação dextral na ZCSF1 (ponto 52). B) Foliação milonítica par S-C demarcadas pela clorita e muscovita com cinemática dextral (ponto 82). C) Porfiroclastos de feldspato rotacionados com cinemática sinistral representante da ZCSF2 (ponto 97). D) Contato de milonito com rocha encaixante com movimentação sinistral na ZCSF2 (ponto 55). E) Clivagem de crenulação em muscovita quartzo xisto onde o plano apresenta direção E-W com mergulho para N na ZCSF3 (ponto 109). F) Foliação milonítica observada no biotita granito (ponto 79).

A trama rúptil ocorre em nível crustal raso e são marcados principalmente por juntas na área II. De forma regular, há também fraturas preenchidas por veios. Todas as unidades geotectônicas encontradas na Área II exibem essas estruturas, porém com estilos e intensidade diferentes. Localmente no corpo plutônico, são encontrados diques.

Na área II, as juntas se mostram tanto como famílias em arranjos sistemáticos conjugados (Figura 6.12A) de direção NE-SW e NW-SE quanto N-S e E-W (Figura 6.12B) de direção N-S e E-W. Na maioria dos casos encontrados, essas famílias são caracterizadas por superfícies planares subverticais ou verticais com espaçamento entre os planos decimétrico a métrico. Em relação aos veios, predominam famílias de veios de quartzo de direção N-S (Figura 6.12C) de espaçamento métrico e mais raramente outros de direção NE-SW. Ressaltase que localmente existem veios de epidoto nos granitóides (Figura 6.12D) que cortam os minerais como o plagioclásio, evidenciando caráter tardio dessas estruturas. Localmente, foram encontrados diques de direção concordante com a foliação regional NE-SW no corpo plutônico. No diagrama de rosetas (Figura 6.13), todas essas direções estão contempladas. Porém, devido a coleta pouco sistemática de medidas dessas estruturas, nem sempre o que está com maior frequência representa a feição mais penetrativa existente.



Figura 6.12. A) Fraturas ortogonais com direção NE-SW e NW-SE (ponto 12). B) Fraturas ortogonais com direção N-S e E-W no granodiorito (ponto 105). C) Veios de quartzo com direção N-S em tonalito (amostra 122). D)Veio de mineral do grupo do epidoto (clinozoisita) observado na amostra 122 sob luz transmitida e polarizadores cruzados.



Figura 6.13. Mapa de fraturas e lineamentos de drenagem dispostos sobre o hillshade do relevo. O diagrama de rosetas das fraturas apresenta direções N-S, E-W, assim como os lineamentos de drenagens, e NW-SE. O diagrama de rosetas dos lineamentos de drenagem também indica direção NE-SW.

# 5.2.1 Fases Deformacionais

A deformação na área de estudo pode ser separada em três fases deformacionais: duas compressionais progressivas e contínuas e uma extensional, como indicado na Tabela 6.1. As duas primeiras fases Dn e Dn+1 estão relacionas ao evento compressional brasiliano, correspondente à aproximação e colisão entre os crátons São Francisco e Amazônico, enquanto a fase Dn+2 é eminentemente rúptil, pouco profunda, marcando uma fase distensiva e reativações de estruturas pré-existentes.

Fase	Características	Feições geológicas	Regime	Metamorfismo	Idade
Dn	Colisão arco magmático maduro com Cráton São Francisco. Gera a foliação principal e geração de empurrões	Metassedimentos da Sequência Santa Terezinha	Compressional	Fácies anfibolito zona da cianita	670-600
Dn+1	Geração de zonas de cisalhamento transcorrentes e transpressionais	Lineamento Transbrasiliano	Transcorrente	Xisto verde	570
Dn+2	Alivio de pressão e geração de falhamentos/fraturas NW- SE e E-W	Falhas/fraturas	Falhas e fraturas extensivas	Xisto Verde	<530

Tabela 6.1. Fases deformacionais identificadas na área de estudo.

Na área de estudo, a fase Dn representa uma tectônica colisional compressiva de direção aproximada E-W, responsável pela geração da foliação principal observada na área, na forma de xistosidade, bandamento e foliação milonítica (Sn) com assimetria S-C indicando deformação compressiva e transporte *up-dip*. Durante essa fase as rochas foram submetidas a temperaturas e pressões compatíveis com a fácies anfibolito, de acordo com as paragêneses metamórficas pré-Dn+1, observadas nas rochas metapelíticas da STZ, formadas por cianita, granada e estaurolita encontradas na área III. Ainda, destaca-se porfiroblasto de granada sintectônico com cinemática dextral na área II.

A fase Dn+1 representa a continuidade do processo compressional, quando é formada a megaestrutura Transbrasiliana. As suturas são transformadas em zonas de cisalhamento transcorrentes (transpressionais), ora dextrais, ora sinistrais, com predomínio do primeiro tipo, com direção geral N30°E e alto ângulo de mergulho indicado pelas lineações de estiramento (Ln+1) na direção da foliação ao longo do Lineamento Transbrasiliano. Fora da área de maior *strain* do lineamento, as estruturas pré-existentes são rotacionadas ou reativadas pela zona transcorrente. Algumas das estruturas ainda preservam as direções originais, porém grande parte das lineações rotacionam e assumem a posição atual. Associado a essa fase deformacional se observa ainda que localmente uma clivagem de crenulação (Sn+1), além de tectonitos tipo L que são comuns ao longo da zona de maior *strain*. O metamorfismo nessa fase é de mais baixo grau, em condições de fácies xisto xerde, observados pela intensa cloritização das rochas da Sequência Santa Terezinha. Vale destacar que através da geometria e deformação do corpo, entende-se que o alojamento da intrusão plutônica ocorreu nessa fase, aproveitando as zonas de fraqueza. A fase Dn+2 define uma deformação rúptil observada em toda área de estudo, e representa um alívio de pressão por falhas e fraturas N-S e E-W, com componentes NE-SW e NW-SE.

# CAPÍTULO 7. GEOLOGIA ECONÔMICA

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

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

#### 7.1 Recursos Minerais do Projeto Mara Rosa

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

#### 7.1.1 Sistema Pórfiro-Epitermal

Diversas feições descritas nas áreas de estudo podem ser interpretadas como expressões de um sistema de mineralização do tipo pórfiro-epitermal, associadas aos depósitos Chapada, Saúva e Formiga. Dentre elas, destacam-se os halos de alteração hidrotermal, associados às rochas da Unidade Hidrotermal, caracterizados por associações de rochas calcissilicáticas, ricas em epidoto e anfibólios, e rochas aluminosas, ricas em cianita e muscovita.

Processos de sulfetação, marcados por disseminação de pirita e calcopirita, foram descritos majoritariamente em meio às rochas da associação aluminosa, como cianititos e cianita-xistos. Estas rochas, conforme evidenciado no Capítulo 4, se dispõem ao longo de uma faixa NE-SW quilométrica, com inflexão E-W, ao longo das Áreas IV, V, VI e VIII, tendo forte expressão topográfica e assinatura branca na composição ternária RGB da gamaespectrometria

(Capítulo 3), contrastando com as rochas encaixantes. Esporadicamente, a malaquita pode ser encontrada em associação com rochas sulfetadas (Áreas VI e IX), sendo interpretadas como minerais de alteração de sulfetos de cobre primários. Demais ocorrências de pirita e calcopirita foram observadas, de maneira disseminada, como minerais acessórios nas rochas metavulcanossedimentares e metaplutônicas do Arco Magmático Mara Rosa, podendo ser produtos distais, com menor expressividade, dos halos de alteração hidrotermal observados.

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

#### 7.1.2 Sistema Aurífero Orogênico

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

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

#### 7.1.3 Sistema Residual/Supergênico

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

As rochas metassedimentares químicas ocorrem associadas às sequências metavulcanossedimentares Mara Rosa, Santa Terezinha e Campinorte, ocorrendo

pontualmente ao longo de todas as subáreas do projeto. Estas unidades afloram de maneira mais significativa nas Áreas I, III, IV, V, VII, VIII e XI, onde caracterizam unidades em escala mapeável, tendo maior potencial para a geração de depósitos minerais em concreções lateríticas associadas.

# 7.1.4 Minerais e Rochas Industriais

Segundo Ciminelli (2005), Minerais e Rochas Industriais agrupam todas as rochas e minerais, tanto naturais quanto sintéticos, predominantemente não-metálicos, cujas propriedades físico-químicas podem ser utilizadas para aplicações como matéria prima para atividade industrial, bem como insumos e aditivos para seus processos. Suas aplicabilidades incluem a indústria de construção civil, cerâmica, cimento, fertilizantes, metalurgia, química, celulose, vidros, tecnologia, entre outros. Para o Projeto Mara Rosa, foram elencados potenciais de aplicação industrial para ocorrências de cianita, grafita, talco, areia e seixos, além de rochas ornamentais e minerais com potencial gemológico.

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

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

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

Extensos depósitos aluvionares de areia e seixos podem ser observados ao longo das Áreas do Projeto Mara Rosa. Em especial, os canais de drenagem Rio dos Bois, Rio Formiga, Ribeirão das Antas e Ribeirão Santa Maria apresentam potencial para extração de sedimentos, tendo em vista a dimensão de seus canais e seu fluxo intenso, capaz de transportar e acumular material de granulometria média a grossa. As aplicabilidades da areia na indústria são variadas, especialmente para sedimentos puros (quartzosos) e bem selecionados. Além do abastecimento da construção civil, a areia é utilizada na fabricação de vidro, moldes para fundição, cerâmica, refratários, cimento, entre outros. Já os sedimentos de granulometria mais grossa, como grânulos e seixos, são utilizados em construção civil e para aplicações ornamentais, em especial quando arredondados e esféricos (Luz & Lins, 2008).

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

Por fim, minerais com potencial para utilização gemológica são encontrados na maior parte das áreas mapeadas. Além das rochas ricas em cianita, de granulação grossa, destacamse 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 II

A área II está inserida no contexto da Sequência Santa Terezinha, portanto, está fora do contexto metalogenético de maior interesse do PMR, já que a região com maior potencialidade abrange as rochas da Sequência Mara Rosa. Entretanto, existem ocorrências de recursos minerais na área que estão relacionadas a depósitos de rochas de interesse ornamental, na unidade geológica do Plúton Faina, minerais residuais (manganês e hematita associados a gondito) na Sequência Metavulcanossedimentar, talco em rochas metamáficas-ultramáficas na Sequência Santa Terezinha, e coberturas lateríticas também na mesma Sequência. Nos tópicos a seguir, serão detalhadas todas as ocorrências mapeadas na área.

### 7.2.1 Ocorrências manganesíferas associadas a gonditos

As ocorrências manganesíferas se dão de forma pontual, na forma de gonditos, ou como minério residual. Gonditos são rochas provenientes do metamorfismo de sedimentos marinhos ricos em manganês. A gênese da ocorrência é interpretada como enriquecimento supergênico de protominério causado por percolação de fluidos, e facilitada pela flutuação do nível freático (CPRM, 2017). Os gonditos são compostos essencialmente por quartzo e granada manganesífera (espessartita).

O manganês, dentre uma variedade de usos, é um componente-chave nas ligas com outros metais, especialmente, com o ferro na produção de aço (Sampaio *et al. in* Luz & Lins, 2008). As ocorrências observadas na Área II foram encontradas sob a forma de blocos soltos centimétricos locais, e não foi observado o protominério (Figura 7.1).



Figura 7.1. Blocos soltos de manganês, caracterizados em campo pelo traço característico deixado pelo mineral

### 7.2.2 Talco

O talco ocorre em rochas metamáficas-ultramáficas na Sequência Santa Terezinha, que foram classificadas como talco-xistos (Figura 7.2), os afloramentos mapeados se encontram in situ, e por vezes em blocos soltos, possuem dimensões métricas, e estão situados em um relevo plano. Usualmente, os minérios derivados de rochas máficas e ultramáficas apresentam maior grau de impureza devido ao alto teor de ferro e variada associação mineralógica, o que limita a utilização do talco na indústria.

De acordo com as variações e heterogeneidades em sua textura, natureza e concentração das impurezas minerais no talco, o mineral pode ter utilização nas indústrias de cerâmica, inseticidas, tintas, borrachas, papel, refratário. (Almeida & Pontes em Luz & Lins, 2008). De modo geral, os aspectos mais importantes para a indústria incluem a granulometria, o grau de pureza e a cor do produto. A depender da destinação industrial, é necessário que o talco tenha propriedades físico-químicas específicas (Mineopar, 2004).



Figura 7.2. A) Afloramentos em blocos soltos de talco-xisto. B e C) Aspectos do talco xisto

### 7.2.3 Rochas Ornamentais

O termo Rocha Ornamental pode ser entendido como material pétreo natural utilizado em revestimentos internos e externos, estruturas, elementos de composição arquitetônica, decoração e mobiliário (NBR 15012:2013). Na área do Projeto não existe atualmente exploração de rochas ornamentais, entretanto, algumas porções do Plúton Faina, aflorantes na Área II demonstram potencial para aplicações ornamentais.

Essa unidade corresponde ao maior vetor econômico da área, por cobrir aproximadamente metade do mapa local. Tanto sua fácies granítica, como granodiorítica/tonalítica apresentam características procuradas pela indústria de revestimentos. São granitoides de coloração cinza-claro, equigranulares com granulação de média a grossa (Figura 7.3C). Devido a sua coloração acinzentada, o valor econômico atribuído às rochas será possivelmente baixo, todavia, pelo expressivo volume de rocha a extração pode ser compensatória.

Vale ressaltar que as rochas só podem ser usadas para fins ornamentais, caso tenham propriedades que possibilitem seu beneficiamento, visto que, em alguns casos elas se apresentam muito fraturadas e deformadas (Figura 7.3B).



Figura 7.3. A) Afloramento em lajedo do Pluton Faina. B) Bloco de granodiorito com família de fraturas ortogonais. C) Amostra representativa da rocha com possível potencial para rochas ornamentais. D) Aspectos mesoscópicos do Biotita Granito. Composta por quartzo, plagioclásio, microclínio, biotita, muscovita e epidoto.

### 7.2.4 Laterita

A área mapeada é recoberta por uma extensa cobertura laterítica na porção norte, especialmente na Unidade Metassedimentar Santa Terezinha. Laterita é um termo usado para caracterizar depósitos residuais endurecidos provenientes do processo de intemperismo das rochas e materiais superficiais em alteração. A laterização é um processo supergênico que envolve a lixiviação de determinados elementos químicos e concentração de outros, como o Fe e Al. Esse processo ocorre em terrenos estáveis, com cobertura vegetal e clima subtropical marcado por períodos definidos e alternados de chuva e seca.

Quando a laterização é quase total, o solo denomina-se laterítico. O laterito é utilizada na infraestrutura civil, na manutenção da rede viária, em revestimento de estradas, na terraplanagem para regularização do solo e também é usada como fonte de ferro para as plantas. Na Área II há pontos com grande ocorrência, especialmente, na Unidade Santa Terezinha (Figura 7.4).



Figura 7.4. A e B) Afloramentos de laterito, comumente como blocos soltos por toda área. C) Aspectos mesoscópicos de um bloco de laterito.

CAPÍTULO 8. EVOLUÇÃO TECTÔNICA

O contexto geotectônico da região está intimamente relacionado aos processos de aglutinação do Gondwana Ocidental no Neoproterozoico, que abrange a colisão dos crátons Amazônico, São Francisco e Paranapanema com a consequente formação da Faixa Brasília (Almeida et al, 1981). A Faixa Brasília alberga registros de arcos de ilha, seguida de arcos continentais até a etapa do orógeno colisional devido ao fechamento oceânico e colisão continental (Almeida et al. 1981, Pimentel et al. 2000; Fuck et al. 2006). É dividida em dois segmentos, meridional e setentrional e compartimentada em zona cratônica, externa e interna com base nas condições metamórficas e deformacionais (Fuck et al., 1994, 2014, 2017; Dardenne, 2000; Pimentel et al., 2000, 2004, 2016; Valeriano et al., 2004, 2008). A região de estudo do Projeto Mara Rosa (PMR) se situa na zona interna da Faixa Brasília Setentrional e abrange as unidades do Arco Magmático Goiás e Maciço de Goiás. Dessa forma, é possível inferir a história evolutiva da área com base nos dados coletados da literatura e de campo levantados pelos estudantes do PMR.

### Etapa de Arco Paleoproterozoico (Maciço de Goiás)

O embasamento da Faixa Brasília, conhecido como Maciço de Goiás contempla uma aglutinação de terrenos do Arqueano ao Paleoproterozóico equivalentes ao pericraton ocidental do São Francisco (Cordeiro & Oliveira, 2017). O maciço pode ser compartimentado em quatro domínios: Crixás-Goiás, Cavalcante-Arraias, Almas Conceição do Tocantins e Campinorte. O Domínio Campinorte é caracterizado por formação de arco vulcânico em 2,5 - 2,2 Ga (Giustina et al, 2009) seguida de amalgamação do maciço que gerou o Arco Paleoproterozoico. O pico do metamorfismo em 2,08 e 2 ,03 (Cordeiro & Oliveira, 2017) relacionado a aglutinação e consolidação do maciço é marcada por geração de granulitos. Outra feição importante do Domínio Campinorte é a Falha Rio dos Bois que registra a colisão do Arco Magmático em 800 a 770. A área do PMR abarca a Falha Rio dos Bois e rcohas do Domínio Campinorte no qual foram encontrados registros do Arco Campinorte descrito pelas rochas da sequência metavulcanossedimentar Campinorte, os metagranitos a metatonalitos da Suíte Pau de Mel e os granulitos do Complexo Uruaçu (Cordeiro *et al.*, 2017). A evolução do Maciço na área pode ser sumarizada na Figura 8.1.



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

### Etapa de Arco de Ilhas

Por volta de 1 Ga ocorre a fragmentação global do Supercontinente Rodínia seguida pela instalação do oceano Goiás-Pharusian entre os blocos Amazônico e São Francisco (Cordani et al, 2013). Posteriormente, a crosta oceânica desestabiliza ocasionando a geração de zona de subducção para oeste e consequente formação de arcos de ilha intraoceânicos entre 900–800 Ma, como aquele exposto no Arco Mara Rosa (Pimentel & Fuck, 1997; Junges et al., 2002; Matteini et al., 2010) (Figura 8.2). Esse evento magmático é registrado pela Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa (SMMR), que na área do projeto abrange as áreas localizadas mais para leste e faz contato com o embasamento Paleoproterozoico (Maciço de Goiás) através da Falha Rio dos Bois. A sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa é

composta por rochas metassedimentares como talco xistos, xistos psamo-pelíticos, paragnaisses, gonditos e por anfibolitos e anfibolitos de composição toleítica a calcialcalina de caráter juvenil. Essas rochas apresentaram valores de  $\epsilon$ Nd e  $\epsilon$ Hf positivos (+5 e +8 a +12, respectivamente) e idade modelo (T<sub>DM</sub>) de 0.8 a 1.1 Ga. Nesse estágio e mais para oeste do PMR até a Falha Amaralina também foram formados os protólitos dos Ortognaisses Mara Rosa (OMR). Esses protólitos foram descritos como rochas intermediárias a félsicas, rochas dioríticas a tonalíticas e granodioríticas subordinadas de caráter metaluminoso e calcialcalino, com  $\epsilon$ Nd positivo (+2,3 a +6,9) e idade modelo Nd de 0.8 até 1.1Ga (Viana et al., 1995) e representariam possivelmente a própria estrutura do Arco. Ainda durante a colocação dos protólitos do OMR, fluidos hidrotermais percolaram as rochas da Sequência Mara Rosa e geraram rochas complexas, como rochas calcissilicáticas, e associações aluminosas com e sem cianita e pirita.



Figura 8.2. Diagrama esquemático representando a formação de arco de ilha intraoceânico e SMMR. Subducção em direção oeste.

### Etapa de Arco Continental

Já em 800 a 770 Ma, conforme o avanço da subducção, o arco de insular colide contra o Arco Campinorte (Maciço de Goiás). Esse evento é marcado pelas numerosas intrusões graníticas peraluminosas (~800 Ma), como Complexo Mutunópolis, e intrusões de caráter máfico (~800-770 Ma). Outra característica desta etapa é a deformação em regime dúctil (Dn) registrada por falhas compressionais e dobras recumbentes, sendo a zona de sutura entre as unidades da SMMR e as unidades paleoproterozoicas a Falha Rio dos Bois. Após o choque, houve uma quiescência magmática (Figura 8.3).



Figura 8.3. Diagrama esquemático representando a colisão do Arco magmático com o Maciço de Goiás. Reparar o=a contribuição do maciço na fusão parcial e geração de rochas.

Mais para oeste da área do Projeto, se observa a Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha (SMST), que junto com os Ortognaisses Santa Terezinha (Dantas et al., 2001; Junges et al., 2002; Laux et al., 2005; Fuck et al., 2006; Matteini et al., 2010; Oliveira et al., 2016) representariam a evolução na frente do arco continental por volta de 670 a 600 Ma. As unidades constituem-se de rochas supracrustais provavelmente depositadas em ambiente de *forearc* (margem convergente acrecionária) e plutônicas de arco, respectivamente (Figura 8.4). As rochas plutônicas apresentam valores de ɛNd principalmente negativos, mas com alguns dados positivos (+2,8 e -15,1), típicos de arcos continentais. A SMST na área do projeto está conformada por xistos psamo-pelíticos, metahornblenditos, metagabros, paragnaisses, talco xistos e rochas metassedimentares químicas, como gonditos e formações ferríferas bandadas. Localmente afloram ortognaisses tonalíticos com granadas pertencentes a unidade Ortognaisses Santa Terezinha.



Figura 8.4. Diagrama esquemático representando o desenvolvimento de arco continental. Reparar na mudança de direção da zona de subducção.

A acresção da Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha aos ortognaisses Mara Rosa foi descrita por Chiarini (2007) como a discordância geofísica Porangatu-Mutunópolis-Amaralina. Para o projeto, foi denominada como Falha Amaralina. Essa falha compressional marca um importante limite tectônico, o qual justapõe os sedimentos da bacia do estágio continental com rochas plutônicas do Arco Mara Rosa (Figura 8.5). Piuzana et al., (2003) e Della Giustina et al., (2009) datam o principal evento de subducção que teria finalizado entre 630-600 Ma, ou seja, concomitantemente ao fechamento oceânico e consequente colisão com a paleoplaca do continente Amazônico. Ainda, os mesmos autores concluíram que o principal pico metamórfico regional, ocorreu por volta de 650-630 Ma, conforme registrado em rochas granulíticas do complexo Anápolis Itauçu. Nessa fase, a colisão gera deformação contínua, coaxial e de regime dúctil-rúptil (Dn+1) marcada por falhas compressionais e metamorfismo em fácies anfibolito dada pela paragênese mineral cianitaestaurolita-granada.



Figura 8.5. Diagrama esquemático representando o desenvolvimento do orógeno colisional. Notar papel da Falha Amaralina.

O fechamento do orógeno, e consequente soerguimento, resultou no desenvolvimento do megassistema strike-slip Transbrasiliano de direção NE-SW, que marca o limite entre a Faixa Brasília e a Faixa Araguaia e se estende por mais de 4000 km (Figura 8.6) Segundo Dantas et al. (2006) o pico deformacional deste sistema ocorreu por volta de 570 Ma e provavelmente ficou ativo até 490 Ma. A deformação transcorrente é de caráter dúctil-rúptil ( $Dn_{+2}$ ) associada à reativação de falhas, obliterando assim, parte das estruturas e texturas relacionadas aos eventos anteriores. As rochas afetadas nessa fase encontram-se retrometamorfisadas em fácies xisto verde por estarem em condições de mais baixa P-T dado o relaxamento do orógeno, vista rochas na área II com intensa cloritização e sericitização.

Na área de estudo este evento tectônico, bastante expressivo, é representado pelo sistema de zonas de cisalhamento compressivas dextrais Varalzinho, pelo sistema de zonas de cisalhamento compressivas sinistrais Serra do Faina e pela reativação da Falha Rio dos Bois e Amaralina, imprimindo uma foliação milonítica de direção preferencial NE-SW. Ao que diz respeito a subárea II, o Plúton Faina possui idade de  $576 \pm 6$  Ma e idade modelo TDM<sub>Nd</sub> entre 1,1 e 1,5 Ga (Viana et al., 1995; Junges et al., 2002) e as estruturas a ele associadas corroboram com o entendimento que a colocação do corpo foi nessa fase durante a deformação Transbrasiliana.



Figura 8.6. Diagrama esquemático representando fechamento do orógeno, deformação do Lineamento Transbrasiliano e consequente relaxamento. Notar ainda o Plúton Faina nessa fase.

Os estágios finais de evolução da Faixa Brasília são marcados por falhas transcorrentes de direção E-W, N-S e NW-SE (Fuck & Pimentel, 1992; Pimentel et al., 1997). Na área do projeto, observa-se estrutura dúctil-rúptil transcorrente E-W evidenciada pela Serra de Bom Jesus. Na magnetometria fica nítida a presença de corpo NW-SE quilométrico que corta as sequências metavulcanossedimentares e os ortognaisses, porém não foram encontrados afloramentos dessa resposta magnética, provável dique máfico. Também são observadas estruturas extensionais como fraturas e veios que cortam todas as unidades.

Dessa forma, o modelo de evolução tectônica mais recente do Arco Magmático Goiás leva em conta quatro estágios relacionados à evolução do Orógeno Brasília, sendo eles: (i) Formação de Arco de Ilha intraoceânico (ii) Colisão Arco-Maaciço; (iii) Formação de Arco Continental; (iv) Orógeno Colisional e (v) Tardi a Pós-orogênico (Figura 8.7).



### CAPÍTULO 9. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

O mapeamento realizado na escala 1:25.000 no âmbito do Projeto Mara Rosa, norte de Goiás, englobou duas unidades geotectônicas maiores, o Maciço de Goiás (MG) e o Arco Magmático de Goiás (AMG). Com base em informações inéditas obtidas a partir da execução do presente mapeamento e trabalhos anteriores feitos na área (Oliveira et al, 2006; Dantas et al, 2006; Moreton et al. 2018; Cordeiro et al, 2014; Ferreira et al, 2020; Giustina et al, 2009) nove unidades litoestratigráficas foram diferenciadas.

O Maciço de Goiás é representado por rochas da Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte, Suíte Pau de Mel, Complexo Granulítico Uruaçu e Grupo Serra da Mesa. Por sua vez, o Arco Magmático Goiás é composto pela Sequência metavulcanossedimentar Mara Rosa (estágio de arco insular), que foi compartimentada em Unidade Metaultramáfica, Unidade Metavulcânica máfica, Unidade Metassedimentar Psamo-Pelítica e Unidade Metassedimentar Química. Além da Sequência metavulcanossedimentar Santa Terezinha (estágio de arco continental), cuja compartimentação se deu em Unidade Metamáfica-Ultramáfica, Unidade Metassedimentar Psamo-Pelítica e Unidade Metassedimentar

O enquadramento litoestratigráfico da ampla diversidade de rochas plutônicas que ocorrem na área do AMG, seguiu critérios metamórficos e deformacionais, o que resultou no agrupamento nos seguintes domínios: rochas plutônicas pré- a sin-tectônicas, representadas pelos Ortognaisses Mara Rosa e Ortognaisses Santa Terezinha; e rochas plutônicas tardi- a póstectônicas, representadas pela unidade de Rochas Metaplutônica Máfica, Leucogranito Bom Jesus e Plúton Faina. Enquanto a primeira exibe fortes evidências de deformação (milonitização, gnaissificação) e metamorfismo em fácies xisto verde alto a anfibolito, a segunda mostra-se não deformada ou pouco deformada, com texturas ígneas preservadas, e metamorfismo em fácies xisto verde baixo. Ainda no contexto do AMG, foi possível destacar também a unidade Hidrotermal devido sua importância metalogenética.

O mapa geológico final do Projeto Mara Rosa não contempla os depósitos aluvionares e coberturas detríticas e lateríticas como unidades cartografáveis, uma vez que foi priorizado o mapeamento das rochas que compõem o substrato dessas coberturas. Em vista do objetivo principal deste trabalho, que consiste em um projeto de cartografia geológica em escala de detalhe, pode-se afirmar que o Projeto Mara Rosa propõe mudanças significativas com relação à base pré-existente (Figura 9.1), composta principalmente pela Folha Campinorte (Oliveira et al, 2006), e subordinadamente pelas Folhas Bonópolis (extremo noroeste) (Moreton et al, 2018), Santa Terezinha (oeste) (Fuck et al, 2006) na escala 1:100.000 e pelo mapa feito no Trabalho Final de Mutunópolis (extremo norte) de escala 1:25.000. Os contatos com o TF Mutunópolis foram ajustados e recategorizados, a fim de dar continuidade para as unidades. Dado o contexto, as atualizações serão enfatizadas a seguir, sendo as estruturas principais como referenciais de localização.



Figura 9.2. Base cartográfica pré-existente representada composta pelas Folhas Campinorte (2006), Bonópolis (extremo noroeste, 2018), Santa Terezinha (oeste, 2006) na escala 1:100.000 e pelo TF Mutunópolis (extremo norte, 2006) de escala 1:25.000. O limite entre as Folhas é destacado em amarelo.



Figura 9.1. Mapa geológico do Projeto Mara Rosa (2022) na escala 1:25.000.

Existem duas grandes falhas, Falha Amaralina para oeste e Falha do Rio dos Bois para leste que separam três domínios. Entre as falhas, tem a zona de cisalhamento Bom Jesus. A leste da Falha Rio dos Bois, no Maciço de Goiás, com respeito ao observado na figura 9.2, foram identificadas novas intrusões correspondentes a Suíte Pau de Mel e também foram redefinidos os limites do Grupo Serra da Mesa. Pela primeira vez, foram identificados granulitos (para e ortoderivados) do Complexo Granulítico Uruaçu e corredores de deformação transcorrente N-S/SW-NE. Vale ressaltar que as rochas do Grupo Serra da Mesa, antes considerado paleo a mesoproterozoico (Giustina et al, 2009), hoje tem idade meso a neoproterozoica (Cordeiro et al, 2014).

Entre a Zona de Cisalhamento Bom Jesus na porção central e a Falha Rio dos Bois no extremo sudeste, foi possível diferenciar entre os corpos de anfibolitos, paragnaisses, rochas metassedimentares psamo-pelíticas e ortognaisses. Vale destacar que na folha Campinorte, esta unidade era indiferenciada. Destaca-se que a antes chamada Suíte Amarolândia (635 Ma, Melo, 2006), foi reclassificada como Ortognaisse Amarolândia, em função da idade mais antiga de 870 Ma obtida por Ferreira et al. (2020). Na Folha Campinorte (2006), as intrusões tardi a póstectônicas que afloram nesta área eram consideradas como o Granito Faina, no entanto com o melhor detalhamento das rochas, nesse projeto foram individualizadas outros corpos e foram redefinidos como subunidade Leucogranito Bom Jesus. Outra diferença relevante registrada na Zona de Cisalhamento Bom Jesus é a demarcação da unidade hidrotermal composta por associações aluminosas com ou sem cianita e pirita e associação calcissilicática. Anteriormente, essa unidade foi mapeada não tinha sido detalhada e tinha sido englobada como Unidade de Cianititos.

A maior parte das ocorrências de ortognaisses encontra-se entre a Zona de cisalhamento Bom Jesus e a Falha Amaralina. A diferença do mapeado na Folha Campinorte, nesta porção foram individualizados entre as rochas ortognaissicas, lentes de anfibolitos, rochas metassedimentares químicas como gonditos e cherts, rochas metaultramáficas e intrusões pontuais do Leucogranito Bom Jesus.

A Sequência Santa Terezinha ainda não havia sido devidamente cartografada na área em questão, embora nas Folhas Bonópolis (2018) e Santa Terezinha (2006) esta unidade já era mapeada. No entanto, considerando a discordância geofísica PUMA demarcada por Chiarini (2007), a Falha Amaralina foi definida como o delimitador entre as rochas metassedimentares do estágio continental com as plutônicas do Arco Mara Rosa. Dessa forma, a oeste da zona, foram encontradas rochas da Sequência Santa Terezinha marcada pela unidade metassedimentar psamo-pelítica em sua maioria, unidade metassedimentar química e unidade metamáfica-ultramáfica, além dos Ortognaisses Santa Terezinha. O prolongamento das unidades se deu com base no mapeamento do TF Mutunópolis, quando possível.

Neste mesmo domínio a intrusão tardi a pós-tectônica havia sido descrita como Granito Faina, entretanto durante o mapeamento identificou-se fácies tonalítica a granodiorítica ao redor da fácies granítica do corpo. Com isso, a delimitação do corpo foi ampliada, sendo caracterizado como Plúton Faina. Esse plúton é cerceado pelos sistemas de zonas de cisalhamento Varalzinho e Serra do Faina que foram mais bem detalhados. Para o centro do corpo, foi possível identificar as rochas encaixantes, tal como pode ser observado na no mapa da Figura 9.1. Apesar dos avanços aqui apresentados, ainda existem lacunas no conhecimento geológico. No que tange a área II, recomenda-se estudos mais detalhados nos seguintes tópicos:

- A fim de compreender a relação entre as fácies do Plúton Faina e os processos petrogenéticos associados a sua formação, faz-se necessário estudos geoquímicos e isotópicos das fácies tonalíticas e granodioríticas, além de geotermobaromatria do epidoto magmático e dos minerais a ele associados.
- Recomenda-se também que seja realizada geotermobarometria nos porfiroblastos de granada, bem como em outros minerais, dos xistos associados ao plúton, para compreender as condições de formação (PT) dessas rochas.
- Com relação a unidade metamáfica-ultramáfica da Sequência Santa Terezinha, é interessante a realização de estudos geoquímicos e isotópicos para caracterizar seu ambiente de formação
- Análises de proveniência nos xistos da Sequência Santa Terezinha, para corroborar com a delimitação do estágio continental do Arco Mara Rosa.

Os objetivos atingidos com a realização do mapeamento geológico do Projeto Mara Rosa (2022) confirmaram que se trata e uma área complexa com a superposição de diversos estágios evolutivos associados ao Arco Magmático de Goiás, segmento Mara Rosa. Foi corroborado que tratasse de uma área potencialidade econômica fundamentada, sobretudo, em importantes ocorrências de rochas ricas em cianita e pirita que são interpretadas como litocapas dos depósitos tipo pórfiro de Cu-Au (Oliveira et al, 2016). Dessa forma, a área do Projeto Mara Rosa se torna um alvo importante para a pesquisa de metais que se associam a ambientes geológicos de arcos magmáticos. CAPÍTULO 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.

Almeida, F.F.M., 1967. Origem e evolução da plataforma brasileira, in: DNPM (Ed.), Boletim 241, Rio de Janeiro, p. 36.

Almeida, F.F.M., 1976. Evolução tectônica do Centro-Oeste brasileiro no Proterozóico Superior. Anais da Academia Brasileira de Ciências 40, 285–295.

Almeida, F.F.M., 1984. Província Tocantins, setor sudoeste. In: Almeida, F.F.M., Hasui, Y. (Eds.), O Pré-Cambriano do Brasil. E. Blücher, São Paulo, pp. 265– 281.

Arantes, D., Buck, P.S., Osbourne, G.A., Porto, C.G., 1991. A Sequência vulcanosedimentar de Mara Rosa e mineralizações auríferas associadas. Boletim Informativo da SBG, Núcleo Centro-Oeste, pp. 27–40 (in Portuguese).

Barros Neto, L.S. 2000. Evolução Estrutural do Distrito Esmeraldífero de Campos Verdes, Goiás. Brasília. Universidade de Brasília, Instituto de Geociências. Dissertação de Mestrado, 67p.

Biondi, J. C., 2003. Processos metalogenéticos e os depósitos minerais brasileiros. Oficina de Textos.

Botelho, N.F., Fuck, R.A., Dantas, E.L., Laux, J.L., Junges, S.L., 2006. The Paleoproterozoic Aurumina granite Suite, Goiás and Tocantins, whole rock geochemistry and U-Pb and Sm-Nd isotopic constraints, The Paleoproterozoic Record of the São Francisco Craton, Brazil, IGCP 509, pp. 9–21.

Brandon, A. D., Creaser, R. A., & Chacko, T., 1996. Constraints on rates of granitic

magma transport from epidote dissolution kinetics. *Science*, 271(5257), 1845-1848.

Chiarini M.F.N., 2007. Contribuição da aerogeofísica na caracterização de suturas colisionais e de sistemas transcorrentes. O exemplo de Porangatu Brasil central. Dissertação de Mestrado n 231. Universidade de Brasília (UnB), Brasília, DF, Brasil.

Ciminelli, R. R., 2005. 2. Desempenho Funcional dos Minerais. Rochas & Minerais Industriais, 31.

Clark, D.A., and Emerson, D.W., 1991. Notes on rock magnetisation in applied geophysical studies. Exploration Geophysics vol 22, No.4, pp 547-555.

Cooper, G. R. J., & Cowan, D. R., 2004. Filtering using variable order vertical derivatives. Computers & Geosciences, 30(5), 455-459.

Cordani, U.G., Hasui, Y., 1975. Comentários sobre os dados geocronológicos da Folha Goiás. In: Schobbenhaus, C. (Ed.), Carta Geológica do Brasíl ao Milionésimo – SD-22. DNPM, Brasília.

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

Cordeiro, P.F.O., Oliveira, C.G., Della Giustina, M.E.S., Dantas, E.L., Santos, R.V., 2014. The Paleoproterozoic Campinorte Arc: tectonic evolution ao a Central Brazil preComunbia orogeny. Precambrian Reserach 251, 49–61.

Cordeiro, P.F.O., Oliveira, C.G., 2017. Goias Massif: implications for a pre-Columbia 2.2- 2.0 Ga continent-wide amalgamation cycle in central Brazil. Precambrian Res. 298, 403–420. Cordell L., e V. J. S. Grauch 1982, Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan Basin, New Mexico: 52nd Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstracts, 246– 247.

Cordell L., e V. J. S. 1985, Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan Basin New Mexico, em W. J. Hinze, ed., Utility of regional gravity and magnetic maps: SEG, 181–197.

Cruz, E.L.C.C. & Kuyumjian R.M. 1998. The geology and tectonic evolution of the Tocantins granite-greenstone terrane, Almas-Dianópolis region, Tocantins State, central Brazil. Revista Brasileira de Geociências, 28(2):173-182

Cruz, E.L.C.C., Kuyumjian, R.M., Boaventura, G.R., 2003. Low-K calcalkaline granitic series of southeastern Tocantins state: chemical evidence for two sources for the granite-gneissic complexes in the Paleoproterozoic Almas-Dianópolis terrane. Rev. Brasil. Geocienc. 33, 125– 136.

Dantas E.L., Just H., Flick 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 em monocristal de zircão. Rev.Bras.Geoc., 31:329-334.

Dardenne, M.A., 2000. The Brasília Fold Belt. In U.G. Cordani, E.J. Milani, A. Thomaz Filho, D.A. Campos (eds.). Tectonic Evolution of South America. Rio de Janeiro, 31st International Geological Congress, p. 231–263.

Della Giustina, M.E.S., de Oliveira, C.G., Pimentel, M.M., Buhn, B., 2009. Neoproterozoic magmatism and high-grade metamorphism in the Goiás Massif: New LA-MC-ICMPS U-Pb and Sm-Nd data and implications for collisional history of the Brasília Belt. Precambrian Res. 172, 67–79. https://doi.org/10.1016/j.precamres.2009.0 3.012.

Della Giustina, M. E., de 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.

Delgado, I.M., Souza, J.D., Silva, L.C., Silveira Filho, N.C., Santos, R.A., Pedreira, A.J., Guimarães, J.T., Angelim, L.A., Vasconcelos, A.M., Gomes, I.P., Lacerda Filho, J.V., Valente, C.R., Perrota, M.M., Heinick, C.A., 2003. Província Tocantins. In: Bizzi, L. A., Schobbenhaus, C., Vidotti, R.M., Gonçalves, J.H. (Eds.), Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. CPRM, Rio de Janeiro, pp. 281–292.

Dickson, B. L., & Scott, K. M., 1997. Interpretation of aerial gamma-ray surveysadding the geochemical factors. AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics, 17(2), 187-200.

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. 172f. Dissertação (Doutorado em Geologia), Universidade de Brasília (UnB), Brasília, 2020.

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 Paramá, Curitiba, 303-335 p.

Fossen, H., 2012. Geologia estrutural. São Paulo: Oficina dos textos, 204-205. Frasca, A. A. S., 2015. Amálgamas do W-Gondwana na Província Tocantins. PhD Thesis. Brasilia University. pp 172

Fuck, R.A.; Dantas, E.L.; Pimentel, M; Laux, J.; Junges, S.; Oliveira, C.; De Sordi, D.A.; Chiarini, M. 2006. Sequência Santa Teresinha de Goiás, arco magmático de Goiás, Brazil central: novos dados geológicos, idades U-PB em zircão e dados isotópicos SM-ND. In: XLIII Congresso Brasileiro de Geologia, 2006, Aracajú, 2006.

Fuck, R. A., Dantas, E. L., Pimentel, M. M., LAUX, J. H., Junges, S. L., Oliveira, C. G., Sordi, D. A., Chiarini, M. F. 2006. The Santa Terezinha sequence, Goias magmatic arc, central Brazil: constraints from U-PB and SM-ND data.

Fuck, R.A., Dantas, E.L, Pimentel, M.M., Botelho, N.F., Armstrong, R.A., Laux, J.H., Junges, S.L., Soares, J.E.P., Praxedes, I.F. Paleoproterozoic crust-formation and reworking events in the Tocantins Province, central Brazil: A contribution for Atlantica supercontinent reconstruction. Precambrian Research 244, 53–74, 2014.

Fuck, R.A., Pimentel, M.M., Alvarenga, C.J.S., Dantas, E.L., 2017. The northern Brasília belt. São Francisco Craton, Eastern Brazil 11, 205–208.

Fuck, R.A., Pimentel, M.M., D'el Rey Silva, L.J.H., 1994. Compartimentação tectônica da porção oriental da Província Tocantins. Anais, 380. Congresso Brasileiro de Geologia, Balneário Camburiú-SC, 215-216 pp. (in Portuguese).

Groves, D.I., Santosh, M., Zhang, L., Deng, J., Yang, L.Q., Wang, Q.F., 2021. Subduction: The recycling engine room for global metallogeny. Ore Geol. Rev. 134. https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2021.1 04130. Gunn P. J., Maidment D., Milligan P. R. 1997. Interpreting aero- magnetic data in areas of limited outcrop. AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics, 17 (2): 175-182 p

INPE. Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres (CBERS). Disponível em: <http://www.cbers.inpe.br/sobre/cameras/c bers04a.php>. Acesso em: 03 ago. 2022.

Instituto Nacional de Metereologia (INMET) Gráficos Climatológicos. Disponível em: <u>INMET :: Clima</u>. Acesso em 14 de novembro de 2022.

Isles, D. J., & Rankin, L. R., 2013. Geological interpretation of aeromagnetic data. Society of Exploration Geophysicists and Australian Society of Exploration Geophysicists.

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 p.

Jost, H., Junior, F.C., Fuck, R.A., Dussin, I.A., 2013. Uvá complex, the oldest orthogneisses of the Archean-Paleoproterozoic terrane of central Brazil. J. S. Am. Earth Sci. 47, 201–212.

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

Junges, S. L.; Pimentel, M. M.; Moraes, R., 2002. 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.101-108. Kington, Joe. Stereonets for matplotlib. Read the Docs, 2013. Disponível em: <https://mplstereonet.readthedocs.io/en/lat est/>. Acesso em: 07 de fev. de 2023.

Kuyumjian, R.M., 1989. The geochemistry and tectonic significance of amphibolites from the Chapada sequence, central Brazil. Unpublished PhD thesis, University of London, 289 pp.

Lacerda, H., 1986. As mineralizaçoes auriferas da regíao de Mara Rosa, GO. *Revista Brasileira de Geociências*, *16*(3), 274-284.

LASA. 2004. Levantamento Aerogeofísico do Estado de Goiás - 1ª etapa (Arco magmático de Mara Rosa), Volume 1. Convênio MME, SGMTM, FUNMINERAL, SIC/SGM. Relatório Técnico, 4-7 p.

Latrubesse, E. e Carvalho, T.M. 2006. Geomorfologia do Estado de Goiás Superintendência de Geología e Mineracão do Estado de Goiás. Série Geologia e Mineração. n.2, Goiânia, 128 p.

Laux J.H., Pimentel M.M., Dantas E.L., Armstrong R., Junges S.L. 2005. Two Neoproterozoic custal accretion events in the Brasília Belt, central Brazil. Journal of South American Earth Sciences, 18:183-198.

Le Bas, M. J., and Albert L. 1991 Streckeisen. The IUGS systematics of igneous rocks. Journal of the Geological Society 825-833.

Li X. 2006. Understanding 3D analytic signal amplitude. Geophysics, 71(2): 13-16.

Luz, A. B. D., & Lins, F. A. F., 2008. Rochas & minerais industriais: usos e especificações. Marcuzzo, F. F. N. Pickbrenner, K. Regionalização de Vazões nas Bacias Hidrográficas Brasileiras: estudo da vazão de 80, 85, 90 e 95% de permanência da sub bacia 87. Porto Alegre: CPRM, 2017. 1 DVD. Projeto Disponibilidade Hídrica do Brasil. Estudos de Regionalização nas Hidrográficas Brasileiras. Bacias Levantamento da Geodiversidade. Marini, O. J., Botelho, N. F., & Rossi, P. (1992). Elementos terras raras em granitóides da Província Estanífera de Goiás. Revista Brasileira de Geociências, 22(1), 61-72.

Marques, G. C., 2009. Geologia dos grupos Araí e Serra da Mesa e seu embasamento no sul do Tocantins.

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, v. 17, p. 1-12.

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.

Meneses, P. R., & Almeida, T. D., 2012. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. Universidade de Brasília, Brasília.

Meneses, P. R., de Almeida, T., & de Mello Baptista, G. M., 2019. Reflectância dos materiais terrestres. Oficina de textos. 14 p.

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

Oliveira, C. G., Oliveira, F. B., Dantas, E. L. & Fuck, R. A., 2006. Programa Geologia do Brasil – Folha Campinorte. FUB/CPRM, Brasília, 124.

Oliveira, C. G., Oliveira, F. B., Kuyumjian, R. M., Campos, J. E. G., Queiroz, C. L., Dantas, E. L., Fuck, R. A., Chiarini, M. F. N. and, De Sordi, D. A., 2006 Campinorte, Folha SD.22. Brasília, UnB/CPRM, 35p.

Oliveira, C.G., Oliveira, F.B., Giustina, M.E.S.D., Marques, G.C., Dantas, E.L., Pimentel, M.M., Buhn, B.M., 2016. The Chapada Cu-Au deposit, Mara Rosa magmatic arc, Central Brazil: Constraints on the metallogenesis of a Neoproterozoic large porphyry-type deposit. Ore Geology Reviews, v.72, p. 1-21.

Oliveira, C. G., Pimentel, M. M., de Melo, L. V., & Fuck, R. A., 2004. The coppergold and gold deposits of the Neoproterozoic Mara Rosa magmatic arc, central Brazil. *Ore Geology Reviews*, 25(3-4), 285-299.

Oliveira C.G., Queiroz C.L., Pimentel M. M., 2000. The Arenópolis- Mara Rosa Gold-Cupper Belt, Neoproterozoic Goiás Magmatic Arc. Revista Brasileira de Geociências, 30 (2): 219-221.

Öztürk, Y. Y., & Helvaci, C., 2008. Skarn alteration and Au-Cu mineralization associated with Tertiary granitoids in northwestern Turkey: Evidence from the Evciler deposit, Kazdag Massif, Turkey. *Economic Geology*, *103*(8), 1665-1682.

Palermo. Le Gissement aurifère précambrien de Posse (Goiás, Bresil) dans son cadre géologique. 1996. 175 f. These (Doctorat) - ENSPM, Paris, 1996. anexes.

Palermo, N., Porto, C. G., & Costa Junior, C. N., 2000. The Mara Rosa gold district, central Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(2), 256-260. Passchier, C. W., & Trouw, R. A., 2005. Microtectonics. Springer Science & Business Media.

PENA, Rodolfo F. Alves. "Sensoriamento Remoto"; Brasil Escola.

Pimentel, M. M., 2016. The tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil: a geochronological and isotopic approach. Brazilian Journal of Geology, 46, 67-82.

Pimentel M.M. & Fuck R.A., 1992. Neoproterozoic crustal accretion in central Brazil. Geology, 20:375-379.

Pimentel M.M., Fuck R.A., Gioia D.M.C.L., 2000b. The Neoproterozoic Goiás Magmatic Arc, Central Brazil: A review and new Sm-Nd isotopic data. Revista Brasileira de Geociências, 30(1):35-39

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. 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro, p. 195-229.

Pimentel, M. M.; Jost H.; Fuck R. A. O embasamento da Faixa Brasília e o Arco Magmático de Goiás. In Mantesso Neto, V. et al. (Org.). Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Beca, 2004. p. 355-368.

Pimentel M.M., Whitehouse M.J., Viana M.J., Fuck R.A., Machado N., 1997. The Mara Rosa arc in the Tocantins Province: Further evidence for Neoproterozoic crustal accretion in central Brazil. Precambrian Research, 81:299-310.

Piuzana D., Pimentel M.M., Fuck R.A., Armstrong R.A., 2003b. Neoproterozoic granulite facies metamorphism and coeval granitic magmatism in the Brasilia Belt, Central Brazil: regional implications of new SHRIMP U-Pb and Sm-Nd data. Precambrian Research, 125:245-273. Poll, N. J. (1994). Geology of the Zacarias gold-silver-barite deposit, Goiás State, Brazil, The. *1990-1999-Mines Theses & Dissertations*.

Reeves C., 2005. Aeromagnetic surveys. Principles, practice and interpretation. Seequent E-publication. Aeromagnetic\_Survey\_Reeves-october-2005.pdf (seequent.com)

Ribeiro J. F., Walter B. M. T., 1998. Fitofisionomias do Bioma Cerrado. Em: Sano S.M., Almeida S. P. (Eds.). Cerrado: ambiente e flora. Planaltina:Embrapa-CPAC, 87-166 p

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.

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

Schmidt, M. W., & Thompson, A. B., 1996. Epidote in calcalkaline magmas; an experimental study of stability, phase relationships, and the role of epidote in magmatic evolution. *American Mineralogist*, 81(3-4), 462-474.

Sial, A. N., Toselli, A. J., Saavedra, J., Parada, M. A., & Ferreira, V. P., 1999. Emplacement, petrological and magnetic susceptibility characteristics of diverse magmatic epidote-bearing granitoid rocks in Brazil, Argentina and Chile. *Lithos*, *46*(3), 367-392.

Sial, A. N., Vasconcelos, P. M., Ferreira, V. P., Pessoa, R. R., Brasilino, R. G., & Neto, J. M. M., 2008. Geochronological and mineralogical constraints on depth of emplacement and ascencion rates of epidote-bearing magmas from northeastern Brazil. *Lithos*, 105(3-4), 225-238.

Sistema Estadual De Geoinformação do Governo do Estado De Goiás. Camada malha viária atualizada. Disponível em: <http://www.sieg.go.gov.br/siegdownloads />. Acesso em: 03 de agosto de 2022.

Sousa, I.M.C., Della Giustina, M.E.S., Oliveira, C.G., 2016. Crustal evolution of the northern Brasília Belt basement, central Brazil: a Rhyacian orogeny coeval with a pre-Rodinia supercontinent assembly. Precambrian Res. 273, 129–150.

Souza Filho C.R., Penteado A.C., 2003. Geotecnologias aplicadas à geologia. RBG volume 33 -Universidade Estadual de Campinas.

Valeriano, C.M., Machado, N., Simonetti, A., Valladares, C.S., Seer, H. J., Simões, L.A. U-PB geochronology of the southern Brasilia belt (SE-Brazil): sedimentary provenance, Neoproterozoic orogeny and assembly of West-Gondwana. Precambrian Research 130, 27–55, 2004.

Valeriano, C.M., Pimentel, M.M., Heilbron, M., Almeida, J.C.H., Trouw, R., 2008. Tectonic evolution of the Brasília Belt, Central Brazil, and early assembly of Gondwana. Geological Society of London Special Publication 294, p. 197–210.

Viana, M. G. et al. O arco magmático de Mara Rosa, Goiás: dados geoquímicos e geocronológicos e suas implicações regionais. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo

Vollmer, 1995. C Program for Automatic Contouring of Spherical Orientation Data Using a Modified Kamb Method. Computers & Geosciences, Vol. 21, No. 1, pp. 31--49.

Wilford, J. R., Bierwirth, P. E., & Craig, M. A., 1997. Application of airborne gammaray spectrometry in soil/regolith mapping and applied geomorphology. AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics, 17(2), 201-216.

Yardley, B. W. D., W. S. Mackenzie, and C. Guilford. "Atlas of Metamorphic RocksandtheirTextures."

LongmanScientific & Tehnical, Essex, England (1990).

### ANEXO I - MAPA DE PONTOS

# ANEXO 1



# MAPA DE PONTOS DA ÁREA II PROJETO MARA ROSA

# Dias de Ponto

- Dia 11
- Dia 10
- Dia 9
- Dia 8
- Dia 7
- Dia 6
- Dia 5
- Dia 4
- Dia 3
- Dia 2
- Dia 1



1:25.000 PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR Datum horizontal: SIRGAS 2000 Zona UTM 22 S Declinação magnética de Mara Rosa: 21.4°

Autores: Joyce de Souza Ribeiro, Isabella Conelian Fabbron e Matheus José Moreira



## ANEXO II - FICHAS PETROGRÁFICAS

TF Mara Rosa - 2022		Amostra: TF22-AII-19 Nome da Rocha: Muscovita xisto		
Coordenadas (UTM): 667487 (X) 8450511 (Y) Unidade: Metassed		Unidade: Metassedin	mentar Santa Terezinha	
Descrição Macroscópica: (coloração, granulação, tex	tura, estrutu	ira, composição e out	ras observações)	
Rocha de coloração marrom avermelhada, de granulação fina xistosidade marcada pela orientação preferencial da muscovi opacos e muscovita.	a lepidoblástica e mposta por quartzo,	Figura macroscópica:		
Descrição Microscópica:	•			
Composição Modal:	%			%
Muscovita	80			
Quartzo	15			
Opacos	5			

### Descrição:

A textura na lâmina está decussada, e estrutura é melhor visível na macro. As lamelas de muscovita bem desenvolvidas, submilimétricas. Grãos de quartzo de tamanho micrométrico, com contatos lobados e extinção ondulante. Os opacos, prováveis óxidos de Fe, são subédricos a anédricos e encontram-se nos espaços entre as fases existentes, por vezes e acima das lamelas de muscovita. Localmente, ocorre no plano de clivagem da muscovita (Figuras C e D)



#### Discussão:

Como a paragênese é composta somente por quartzo e muscovita é possível inferir um protolito pelítico para a rocha, mas não é possível especificar a fácies metamórfica. Na presença de muscovita, entende-se que pode estar em fácies anfibolito a xisto verde.

TF Mara Rosa - 2022		Amostra: TF22-AT	1-22	
Nome da Rocha: Topalito		onalito		
Coordenadas (UTM): 670313 (X) 8450433 (V) Unidade: Plúton			aina	
Descrição Macroscópica: (coloração,	granulação, textura, estrutu	ra, composição e ou	utras observações)	
Rocha de coloração cinza esverdeado, plut inequigranular seriada, de granulação fina a foliação, que é ressaltada pela orientação d agregados quartzo feldspáticos.	ônica, mesocrática, holocristali a média, hipidiomórfica e defo os minerais micáceos, principa	ina, fanerítica, rmada. Apresenta Ilmente a biotita, e	Figura macroscópica	a:
Descrição Microscópica:				
Composição Modal:	%			%
Quartzo	27	Allanita		<1
Plagioclásio	40	Apatita		<1

Composição Modal:	%		%
Quartzo	27	Allanita	<1
Plagioclásio	40	Apatita	<1
Biotita	20	Zircão	<1
Epidoto	8		
Muscovita	5		

#### Descrição:

Há fenocristais de plagioclásio (0,5mm a 1cm) imersos em matriz com cristais finos a médios de biotita e cristais finos de quartzo, minerais do grupo do epidoto e muscovita (Figuras A e B). Allanita, apatita e zircão ocorrem como minerais acessórios, principalmente como inclusões nos plagioclasio.

Os fenocristais de plagioclásio são subédricos, apresentam ou não geminação segundo a Lei da Albita, simples e Lei da Periclina e possuem zoneamento. Devido o zoneamento no mineral, não foi possível tirar teor de An. O plagioclásio se desenvolve também na matriz como cristais finos subédricos, com borda com formato lobular, indicando recristalização, e estão orientados segundo a foliação. O plagioclásio apresenta inclusões de epidoto (Figura D) e muscovita. O quartzo ocorre na forma de fitas recristalizadas e recristalizado com rotação de subgrãos.

A biotita apresenta coloração marrom e está disposta intersticialmente aos minerais. Os minerais do grupo do epidoto e a muscovita se desenvolvem como cristais euédricos e sua relação com a biotita indicam que a biotita foi formada posteriormente a esses minerais (Figura C).

Apresenta foliação com espaçamento milimétrico, evidenciada pela orientação da biotita, e pelo estiramento dos agregados de quartzo e feldspatos. A foliação é por vezes anastomosada, circundando os fenocristais de feldspatos (Figuras A e B).



### Discussão:

O magma que gerou essa rocha estava alocado a pelo menos 25 km de profundidade devido a presença de epidoto primário, ou seja, em crosta continental espessa. Inicialmente foram cristalizados os fenocristais de plagioclásio cálcico, seguidos dos cristais de biotita, muscovita e por fim, quartzo. O zoneamento do plagioclasio pode estar associado a diversos processos, como evidência de mistura de magma, por exemplo. Houve uma deformação na rocha que é evidenciada pela recristalização nas bordas dos cristais de plagioclásio, pela recristalização do quartzo e pelos indicadores cinemáticos observados nos fenocristais de feldspatos.

Classificação: Tonalito

TF Mara Rosa - 2022	Amostra: TF22-AII-24		
	Nome da Rocha: Tonalito		
Coordenadas (UTM): 670015,57 (X) 8450844,21 (Y) Unidade: Plúton Faina			
Descrição Macroscónica: (coloração, granulação, textura, estrutura, composição e outras observações)			

Rocha de coloração cinza médio, plutônica, mesocrática, holocristalina, fanerítica, de granulação fina a média, inequigranular seriada, hipidiomórfica e deformada. Apresenta leve foliação marcada pela biotita e muscovita.

Nas redondezas desse afloramento, observa-se que há diques com granulação mais fina e textura equigranular que intrudem a porção relativamente mais grossa.



Descrição Microscópica:				
Composição Modal:	%		%	
Quartzo	24	Muscovita	5	
Plagioclásio	45	Allanita	<1	
Biotita	20	Apatita	<1	
Feldspato Potássico	3	Zircão	<1	
Epidoto	8	Titanita	<1	

### Descrição:

Há fenocristais de plagioclásio de 0,5mm até 1 cm imersos em matriz com cristais finos a médios de biotita e cristais finos de quartzo, minerais do grupo do epidoto, muscovita e feldspato potássico (Figuras A e B). Allanita, apatita, zircão e titanita ocorrem como minerais acessórios, principalmente como inclusões nos feldspatos.

Os fenocristais de plagioclásio são subédricos, apresentam ou não geminação segundo a Lei da Albita, simples e Lei da Periclina e possuem zoneamento (Figura C). O plagioclásio se desenvolve também na matriz (An 25 oligoclásio) como cristais finos subédricos, com borda com formato lobular, indicando recristalização, e estão orientados segundo a foliação. O plagioclásio apresenta inclusões de epidoto e muscovita. O quartzo ocorre na forma de fitas recristalizadas e recristalizado com rotação de subgrãos.

A biotita apresenta coloração marrom e está disposta intersticialmente aos minerais. Os minerais do grupo do epidoto e a muscovita se desenvolvem como cristais euédricos e sua relação com a biotita indicam que a biotita foi formada posteriormente a esses minerais. O KF está em menor quantidade e alterado, não apresentando mais geminação. Observa-se textura mimerquítica entre o KF e o plagioclásio (Figura D).

Apresenta foliação com espaçamento milimétrico, evidenciada pela orientação dos minerais micáceos, e pelo estiramento dos agregados de quartzo e feldspatos. A foliação é por vezes anastomosada, circundando os fenocristais de feldspatos (Figuras A e B).



### Discussão:

O magma que gerou essa rocha estava alocado a pelo menos 25 km de profundidade devido a presença de epidoto primário, ou seja, em crosta continental espessa. Inicialmente foram cristalizados os fenocristais de plagioclásio cálcico, seguidos dos cristais de biotita, muscovita e por fim, quartzo. O zoneamento do plagioclasio pode estar associado a diversos processos, como evidência de mistura de magma, por exemplo. Houve uma deformação na rocha que é evidenciada pela recristalização nas bordas dos cristais de plagioclásio, pela recristalização do quartzo e pelos indicadores cinemáticos observados nos fenocristais de feldspatos.

Classificação: Tonalito

TF Mara Rosa - 2022	Amostra: TF22-AII-55		
	Nome da Rocha: Granodiorito		
Coordenadas (UTM): (X) 668326 (Y) 8445885 Unidade: Plúton Faina			
Descrição Macroscópica: (coloração, granulação, textura, estrutura, composição e outras observações)			

Afloramento em lajedo.

Figura macroscópica:

Rocha de coloração cinza médio, plutônica, mesocrática, holocristalina, fanerítica, de granulação fina a média, porfirítica, hipidiomórfica e deformada. Apresenta foliação bem marcada pela biotita e muscovita.

Nas proximidades desse afloramento, observa-se dique pegmatitico leucocrático isotrópico.



Descrição Microscópica:				
Composição Modal:	%		%	
Quartzo	25	Epidoto	8	
Plagioclásio An? provável Ab	35	Allanita	<1	
Kf (microclinio)	14	Apatita	<1	
Biotita	13	Zircão	<1	
Muscovita	5			

### Descrição:

Há fenocristais de plagioclásio (0,5 mm a 1 cm) imersos em matriz com cristais finos a médios de biotita e cristais finos de quartzo, minerais do grupo do epidoto, muscovita e feldspato potássico. Allanita, apatita, zircão e titanita ocorrem como minerais acessórios, principalmente como inclusões nos feldspatos.

Os fenocristais de plagioclásio são subédricos, apresentam ou não geminação segundo a Lei da Albita, simples e Lei da Periclina e possuem zoneamento (Figura A). O plagioclásio se desenvolve também na matriz como cristais finos subédricos, com borda com formato lobular, indicando recristalização, e estão orientados segundo a foliação. O plagioclásio apresenta inclusões de epidoto e muscovita. O plagioclásio está zonado, por isso não é possível determinar sua composição exata. O quartzo ocorre na forma de fitas recristalizadas e recristalizado com rotação de subgrãos.

A biotita apresenta coloração marrom e está disposta intersticialmente aos minerais (Figura B). Os minerais do grupo do epidoto e a muscovita se desenvolvem como cristais euédricos e sua relação com a biotita indicam que a biotita foi formada posteriormente a esses minerais. O KF está em menor quantidade e alterado, não apresentando mais geminação. Observa-se textura mimerquítica entre o KF e o plagioclásio (Figura C).

Apresenta foliação com espaçamento milimétrico, evidenciada pela orientação dos minerais micáceos, e pelo estiramento dos agregados de quartzo e feldspatos. A foliação é por vezes anastomosada, circundando os fenocristais de feldspatos (Figura D).



### Discussão:

O magma que gerou essa rocha estava alocado a pelo menos 25 km de profundidade devido a presença de epidoto primário, ou seja, em crosta continental espessa. Inicialmente foram cristalizados os fenocristais de plagioclásio cálcico, seguidos dos cristais de biotita, muscovita e por fim, quartzo. O zoneamento do plagioclasio pode estar associado a diversos processos, como evidência de mistura de magmas por exemplo. Houve uma deformação na rocha que é evidenciada pela recristalização nas bordas dos cristais de plagioclásio, pela recristalização do quartzo e pelos indicadores cinemáticos observados nos fenocristais de feldspatos.

Classificação: Granodiorito

TF Mara Rosa - 2022 Amostra: TF22 Nome da Rocha		Amostra: TF22-AII-57		
		Nome da Rocha: Gra	Granito	
Coordenadas (UTM): 668057 (X)	) 8445658 (Y)	Unidade: Plúton Faina		
Descrição Macroscópica: (coloraçã	io, granulação, textura, estruti	ura, composição e out	ras observações)	
A rocha apresenta uma coloração cinza esbranquiçada, é plutônica, leucocrática, holocristalina, fanerítica. A sua granulação varia de fina a média, e ela possui uma foliação marcada pela orientação dos filossilicatos. Sua mineralogia é composta essencialmente por quartzo, plagioclásio, feldspato potássico, e duas micas (muscovita e biotita).				
Descrição Microscópica:				
Composição Modal:	%			%
Quartzo	30	Epidoto		3
KF (microclínio)	30	Allanita		1
Plagioclásio	20	Opacos		1
Muscovita	10			
Biotita	5			
Descrição:				
Há fenocristais de feldspato potássico (k minerais do grupo do epidoto. (Figuras A entre as bordas de epidoto.	f) e plagioclasio imersos em mat A e B). Allanita ocorre como min	riz com cristais finos a r leral acessório, e é possí	nédios de muscovita e cristais f vel observar que ela se forma c	ñnos de quartzo, e como núcleos

Os fenocristais de microclínio (kf) são anédricos a subédricos, os cristais de plagioclásio apresentam ou não geminação segundo a Lei da Albita, simples e Lei da Periclina e possuem zoneamento. O plagioclásio se desenvolve também na matriz como cristais finos subédricos, com borda com formato lobular, indicando recristalização, não foi possível achar uma sessão adequada para tirar teor de An. O quartzo ocorre na forma de fitas recristalizadas e em subgrãos na forma de esteiras na borda dos fenocristais.

A biotita apresenta coloração marrom e está disposta intersticialmente aos minerais (Figura C e D). Os minerais do grupo do epidoto e a muscovita se desenvolvem como cristais euédricos e sua relação com a biotita indicam que a biotita foi formada posteriormente a esses minerais.


O magma que gerou essa rocha estava alocado a pelo menos 25 km de profundidade devido a presença de epidoto primário, ou seja, em crosta continental espessa. Inicialmente foram cristalizados os fenocristais de plagioclásio cálcico, seguidos dos cristais de biotita, muscovita e por fim, quartzo. O zoneamento do plagioclasio pode estar associado a diversos processos, como evidência de mistura de magmas por exemplo. Houve uma deformação na rocha que é evidenciada pela recristalização nas bordas dos cristais de plagioclásio, pela recristalização do quartzo e pelos indicadores cinemáticos observados nos fenocristais de feldspatos.

Classificação: Granito (monzogranito)

TF Mara Rosa - 2022		Amostra: TF22-AII-33		
		Nome da Rocha: Clorita quartzo xisto		
Coordenadas (UTM): 665571 (X8447675 (Y)		Unidade: Metassedin	nentar Santa Terezinha	
Descrição Macroscópica: (coloração, granulação, tex	tura, estrutu	ira, composição e outr	as observações)	
Rocha de coloração cinza escuro esverdeada, de granulação xistosidade marcada pela orientação de cristais principalmen opacos e clorita.	fina, textura te de clorita.	lepidoblástica, com Composta por quartzo,	Figura macroscópica:	
Descrição Microscópica:				
Composição Modal:	%			%
Clorita	80			

Quartzo	10		
Óxidos de Fe	10		
Descrição:		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	

Rocha com textura lepidoblástica e xistosidade marcada por cristais submilimétricos subédricos de clorita. Os grãos de quartzo encontram-se anédricos a subédricos dispersos pela lâmina. Os grãos de opacos submilimétricos representam hematitas (óxidos de ferro) granulares neoformadas. Existem também óxidos de ferro nas bordas dos cristais de clorita, acompanhando a foliação.

A)



B)



### Discussão:

Rocha com protolito pelítico ou vulcânica máfica metamorfizada em fácies xisto verde inferior (zona da clorita).

Classificação: Clorita xisto

TF Mara Rosa - 2022		Amostra: TF22-AII-122			
	Nome da Rocha: To				
Coordenadas (UTM): 669931 (X) 8450932 (Y)		Unidade: Plúton Faina			
Descrição Macroscópica: (coloração, granulação, textura, estrutura, composição e outras observações)					
Rocha de coloração cinza médio, plutônica, mesocrática, holocristalina, fanerítica, porfirítica, de granulação fina a média, hipidiomórfica e deformada. Apresenta foliação, que é ressaltada pela orientação dos minerais micáceos, principalmente biotita. É cortada concordantemente com a foliação por diques de granulação muito fina leucocráticos e mesocráticos e por veios de quartzo com direção NE e veios de epidoto.					
Descrição Microscópica:					
Composição Modal:	%			%	
Quartzo	25	Allanita		<1	

Plagioclásio	45	Apatita	<1
Biotita	25	Zircão	<1
Epidoto	3		
Muscovita	2		
Degeniežes			

Há fenocristais de plagioclásio milimétricos imersos em matriz com cristais finos a médios de biotita e cristais finos de quartzo, minerais do grupo do epidoto, muscovita e feldspato potássico. Allanita, apatita e zircão ocorrem como minerais acessórios, principalmente como inclusões nos feldspatos. A rocha possui veios de epidoto sintaxiais de abertura milimétrica que cortam minerais como plagioicásio (Figura A e D). Os fenocristais de plagioclásio são subédricos, apresentam ou não geminação segundo a Lei da Albita, simples e Lei da Periclina e possuem zoneamento. O plagioclásio possui teor An25, correspondente a oligoclásio, e se desenvolve também na matriz como cristais finos subédricos, com borda com formato lobular, indicando recristalização, e estão orientados segundo a foliação. O oligoclásio apresenta inclusões de epidoto e muscovita (Figura B). O quartzo ocorre na forma de fitas recristalizadas, com contatos lobados aparenta sofrer processo de recristalização dinâmica de bulging e alguma rotação de subgrão (Figura C).

A biotita apresenta coloração marrom e está disposta intersticialmente aos minerais. Os minerais do grupo do epidoto e a muscovita se desenvolvem como cristais euédricos e sua relação com a biotita indicam que a biotita foi formada posteriormente a esses minerais. Apresenta foliação com espaçamento milimétrico, evidenciada pela orientação dos minerais micáceos, e pelo estiramento dos agregados de quartzo e feldspatos. A foliação é por vezes anastomosada, circundando os fenocristais de feldspatos (Figura D).



O magma que gerou essa rocha estava alocado a pelo menos 25 km de profundidade devido a presença de epidoto primário, ou seja, em crosta continental espessa. Inicialmente foram cristalizados os fenocristais de plagioclásio cálcico, seguidos dos cristais de biotita, muscovita e por fim, quartzo. O zoneamento do plagioclasio pode estar associado a diversos processos, incluindo mistura de magmas. Houve uma deformação na rocha que é evidenciada pela recristalização nas bordas dos cristais de plagioclásio, pela recristalização do quartzo e pelos indicadores cinemáticos observados nos fenocristais de feldspatos. Destaca-se presença de veios posteriores de epidoto.

### Classificação: Tonalito

TF Mara Rosa - 2022	Amostra: TF22-AII-131X					
		Nome da Rocha: Gra	nada muscovita clorita xisto			
Coordenadas (UTM): 664939 (X) 8443167 (Y)		Unidade: Metassedimentar Santa Terezinha				
Descrição Macroscópica: (coloração, granulação, text	ura, estrutu	ra, composição e outr	as observações)			
Rocha de coloração cinza avermelhada, de granulação muito fina a grossa, com textura porfiroblástica, evidenciada por porfiroblastos de granada alterados. Apresenta textura lepidoblástica e xistosidade, marcada pela orientação dos filossilicatos. A rocha é composta por clorita, muscovita, quartzo e granada.						
Descrição Microscópica:				-		
Composição Modal:	%			%		
	10					

Ciorita	40	
Muscovita	25	
Granada	5	
Quartzo	20	
Opacos	2	
Descrição:		

A estrutura é formada por duas direções de foliação, caracterizada como foliação milonítica par S-C marcada pela orientação preferencial da clorita e muscovita que compõem a textura lepidoblástica (Figuras A, B e C). Grãos de quartzo em forma lenticular e sigmoidal também marcam a foliação, nos quais os contatos entre os grãos são interlobados a serrilhados, o que sugere migração de borda entre os grãos (Figura C). Relictos de granada evidenciam textura porfiroblástica inicial, são envoltos por clorita e muscovita fina e possuem inclusões de grãos de quartzo e clorita que formam foliação interna oblíqua à foliação externa (Figura D). A partir da análise entre a foliação externa e interna determina-se que as granadas são sin tectônicas.



A paragênese mineral inicial definida por quartzo, granada, muscovita indica associação metamórfica esperada para rochas pelíticas metamorfizadas em condições de fácies xisto verde alto a anfibolito na zona da granada. As texturas de desequilíbrio associadas aos cristais de clorita sugerem que essa fase substituiu a granada a partir de reações retrometamórficas. Essas reações ocorreram, provavelmente em condições de pressão e temperatura de fácies xisto verde baixa, já que nessas condições a clorita não é estável em associação com a granada. Nesse sentido, alguns cristais de muscovita, sobretudo aqueles de menor espessura que envolvem os porfiroblastos de granada deve compor a paragênese retrometamórfica juntamente com a clorita.

Classificação: Granada muscovita clorita xisto

TF Mara Rosa - 2022	Amostra: TF22-AII-86		
	Nome da Rocha: Ton	alito	
Coordenadas (UTM): 668817 (X) 8443877 (Y)	Unidade: Plúton Fain	a	
Descrição Macroscópica: (coloração, granulação, textura, estrutu	ura, composição e outr	as observações)	
Rocha de coloração marrom avermelhada, de granulação fina, com textur xistosidade marcada pela orientação preferencial da muscovita. Rocha co opacos e muscovita.	ra lepidoblástica e omposta por quartzo,	Figura macroscópica:	
Descrição Microscópica:	1	0/	

Composição Modal:	%	%
Qz	30	
Ms	10	
Bt	20	
Pl	35	
Epidoto	5	

A mineralogia é composta por quartzo, plagioclásio, muscovita, biotita e epidoto. Os cristais de plagioclásio estão imersos em matriz fina com cristais de biotita, quartzo, minerais do grupo do epidoto, e muscovita. Apresenta uma textura aplitica.

O plagioclásio se desenvolve na matriz como cristais finos subédricos, com borda com formato lobular, indicando recristalização, e estão orientados segundo a foliação. O quartzo ocorre na forma de fitas recristalizadas e em subgrãos na forma de esteiras na borda dos fenocristais. Não foi possível medir o teor de An.

A biotita apresenta coloração marrom e está disposta intersticialmente aos minerais. Os minerais do grupo do epidoto e a muscovita se desenvolvem como cristais euédricos e sua relação com a biotita indicam que a biotita foi formada posteriormente a esses minerais.

Apresenta um bandamento composicional com espaçamento milimétrico, evidenciada pela orientação dos minerais micáceos e epidoto, e pelo estiramento dos agregados de quartzo e feldspatos.



Fácies de borda, afloramento era bem próximo a zona de cisalhamento Serra do Faina, contato, entre as unidades Pluton Faina e Santa Terezinha. Pela textura e estrutura da rocha foi possível estabelecer que na fácies tonalítica de borda, a deformação é mais intensa.

Classificação: Tonalito

TF Mara Rosa - 2022		Amostra: TF22-AI	I-131A	
		Nome da Rocha: Granada muscovita clorita xisto		
Coordenadas (UTM): 664939 (X) 8	443167 (Y)	Unidade: Metassedimentar Santa Terezinha		
Descrição Macroscópica: (coloração,	granulação, textura, estruti	ira, composição e o	ıtras observações)	
Rocha de coloração marrom avermelhada, c	le granulação fina, com textu	ra lepidoblástica e	Figura macroscópica:	:
xistosidade marcada pela orientação prefere	encial da clorita e muscovita.	Rocha composta por		
quartzo, opacos e muscovita.				
Descrição Microscópica:				
Composição Modal:	%			%
Clorita	40			
Muscovita	30			
Granada	8			
Quartzo	20			
Opacos	2			

Rocha com textura lepidoblástica e xistosidade marcada pela orientação dos filossilicatos. Também apresenta textura porfiroblástica, marcada por porfiroblastos centimétricos de granada alterados. Parte dos porfiroblastos de granada foram consumidos e observa-se clorita, quartzo e opacos como substituição. Os grãos de clorita são submilimétricos e euédricos. A muscovita ocorre nos planos da foliação e os grãos de quartzo são micrométricos, levemente estirados no plano da foliação e possuem extinção ondulante.



### Discussão:

Rocha com protolito pelítico metamorfizada em fácies xisto verde superior/anfibolito inferior (zona da granada) que posteriormente sofreu um retrometamorfismo de mais baixa condições de pressão e temperatura em fácies xisto verde inferior (zona da clorita).

TF Mara Rosa - 2022		Amostra: TF22-AII-26 Nome da Rocha: Biotita muscovita ganaisse			
Coordenadas (UTM): 669167 (X) 8447820 (Y)	Unidade: Metassedi	imentar Santa Terezinha			
Descrição Macroscópica: (coloração, granulação,	textura, estruti	ıra, composição e ou	tras observações)		
Rocha de coloração marrom avermelhada, de granulação	fina, com textur	a lepidoblástica e	Figura macroscópica:		
xistosidade marcada pela orientação preferencial da muso	covita. Rocha co	omposta por quartzo,	0 1		
opacos e muscovita.					
Descrição Microscópica:					
Composição Modal:	%			%	
Quartzo	40	Clorita		3	
f-11	15	0			

	70		/0
Quartzo	40	Clorita	3
feldspatos	15	Opacos	2
Sericita	25	Turmalina	<1
Muscovita	10		
Biotita	5		
Descrição:			

A estrutura da rocha é marcada por foliação espaçada (bandamento) definida pela orientação das fitas de quartzo, opacos estirados e pontualmente pelas lamelas de muscovita e biotita que compõem textura lepidoblástica. Os domínios de clivagem são alternados com níveis lineares ou sigmoidais constituídos essencialmente por agregados de sericita/muscovita (Figuras A, B). Nesses níveis foi possível reconhecer grãos euédricos de turmalina (Figura C) e, em raros casos, resquícios de feldspato potássico quase completamente substituídos pelos agregados de sericita/muscovita. Além das fitas de quartzo, essa fase pode ocorrer como agregados com forma lenticular a sigmoidal, nos quais os contatos entre os grãos são interlobados a serrilhados, o que sugere migração de borda entre os grãos (Figura D). Feições como extinção ondulante e formação de subgrãos são comuns, também agregados de neoblastos poligonais que ocorrem localmente e definem textura granoblástica poligonal. Os minerais opacos são magnetitas que estão em transformação para hematita nos limites dos grãos e ao longo das fraturas. Verifica-se, ainda, a presença de cristais de clorita nas bordas e planos de clivagem das lamelas de biotita, o que sugere desequilíbrio entre as duas fases minerais (Figura E).

A)

C)



As feições observadas nessa amostra demonstram a atuação de processos metamórficos que, nesse caso, estão representados por sericitização/muscovitização, cloritização e martitização responsável pelo reequilíbrio da paragênese mineral original. A atuação dos processos metamórficos permitiu o desenvolvimento de paragênese metamórfica estável em condições de fácies xisto verde baixa representada por clorita, sericita, quartzo, turmalina e hematita. Como relictos da associação metamórfica anterior são observados cristais lamelares parcialmente preservados de biotita e muscovita, além de magnetita e fitas de quartzo que devem representar relictos da fase anterior. Essa associação reliquiar é estável em amplo intervalo de pressão e temperatura o que torna difícil estabelecer o grau metamórfico da fábrica anterior à alteração hidrotermal. Nesse sentido, o magnetita-biotita-muscovita gnaisse pode estar relacionado a protolito sedimentar psamítico ou vulcânica acida, entretanto, é importante destacar que, dado o grau de alteração dessas rochas, considerações acerca do protolito tornam-se especulativas.

Classificação: Biotita muscovita gnaisse

TF Mara Rosa - 2022		Amostra: TF22-AII-118 Nome da Rocha: Metaultramáfica(talco-clorita xisto com anf		
Coordenadas (UTM): 669877 (X8452412 (Y)		Unidade: Máfica-Ult	ramáfica	
Descrição Macroscópica: (coloração, granulação, tex	xtura, estrutu	ra, composição e outr	as observações)	
Rocha metaultramáfica de coloração cinza esverdeada, gran	ulação fina a	média, com textura	Figura macroscópica:	
Composição Modal:	%			%
Clorita	45			
Talco	25			
Anfibolio	20			
Óxidos	10			

Os grãos de anfibólios são milimétricos, verdes com pleocroismo variando de verde pálido a verde levemente azulado. Encontram-se parcial ou totalmente consumidos por clorita e talco (Figuras 5.3 E e F). A clorita ocorre como mineral mais abundante da rocha, como lamelas muito finas a finas. O talco está associado a clorita e ocorre muito fino. Ambos estão substituindo o anfibólio nas bordas, regularmente a alteração é feita nas bordas dos grãos. Há ainda oxidação pervasiva meio as fraturas, principalmente nos grãos de anfibólio.





### Discussão:

A descrição permite relacionar duas paragêneses para essa rocha. A primeira com anfibólio e a segunda com clorita, talco e óxidos. Dessa maneira, é possível estabelecer dois eventos metamórficos para essa rocha. O primeiro se relaciona com a formação de hornblenditos em condições de fácies anfibolito, derivados da hidratação de rochas ultrabásicas como piroxenitos no processo de uralitização. Por sua vez, o segundo se relaciona com a transformação do anfibólio e geração de clorita e talco, evidenciando condições metamórficas de mais baixo grau em fácies xisto verde.

Classificação: Metaultramáfica (talco-clorita xisto com anfibólio)

TF Mara Rosa - 2022		Amostra: TF22-A	II-PC20		
		Nome da Rocha: N	Metagabro		
Coordenadas (UTM): 667083 (X) 8	Unidade: Máfica-Ultramáfica				
Descrição Macroscópica: (coloração,	granulação, textura, estrutu	ira, composição e c	utras observações)		
Rocha de coloração cinza escuro, de granu maciça e é composto por anfibólio, plagioo	lação média, com textura inter lásio, quartzo e mica.	granular, estrutura	Figura macroscópica:		
Descrição Microscópica:			•		
Composição Modal:	%			%	
Anfibolio	55	Apatita		<1	
Plagioclasio	25	Rutilo		<1	
Quartzo	12				
Paragonita	8				
Epidoto	<1				

Os grãos de anfibólio são subédricos, milimétricos (1 a 5mm) de coloração verde com pleocroismo verde pálido a verde intenso azulado e apresentam-se com múltiplas inclusões de quartzo e mica. Localmente no centro dos grãos há alteração para minerais opacos, prováveis óxidos de Fe. O plagioclásio tem composição An 10, ou seja, de albita a oligoclásio, são muito finos a finos. Ocorrem nos interstícios dos grãos de anfibólio. Ainda no domínio intersticial, existem grãos de quartzo muito finos a finos com textura granoblástica. Normalmente fazem contato tríplices de 120° entre eles e extinção levemente ondulante. Também aparecem microcristalinos como inclusões no anfibólio. Por fim, a mica sódica paragonita é bem desenvolvida em lamelas de até 3 mm, ocorrem tanto no domínio intersticial em equilíbrio com as fases desses domínio e localmente como inclusões no anfibólio. A natureza da mica foi descoberta a partir de análise EDS em microssonda eletrônica do Laboratório de Microssonda Eletrônica da UnB.

A)

C)

Descrição:





A paragênese plagioclásio (An 10) + hornblenda + paragonita sugere condições de temperatura e pressão na fácies xisto verde a anfibolito. Ressalta-se que a mineralogia da rocha não é típica de rochas metamáficas gabróicas pois apresenta quantidade significativa de sílica e mica sódica em sua composição, exigindo estudos mais detalhados sobre o protolito e sistema químico envolvido na formação da rocha.

Classificação: Metagabro

# ANEXO III - MAPA DO PROJETO





			IV	V	VI	
VII	Mapeamento 2 Projeto Mara Rosa		VIII	IX	X	
	XI					



# Mapa Geológico Integrado - Projeto Mara Rosa

	Unidades Geológicas
	Neoproterozoico
	Ediacarano Plutônicas Tardi a Pós-Tectônicas
	Leucogranitos Bom Jesus
	NP3y3I Biotita-muscovita leucogranito e muscovita granito, de granulação fina a grossa, com fácies tonalítica subordinada e ocorrências pegmatoides
	NP3y3m Metagabro e metahornblendito de granulação grossa a muito grossa.
	Plúton Faina 576 Ma (U-Pb em zircão)
	NP3y3f2 Associação de biotita tonalitos e biotita granodioritos de granulação fina a média.
	NP3y3f1 Biotita granito, localmente a duas micas, de granulação fina a média.
	Criogeniano
	<u>Grupo Serra da Mesa</u> Unidade Metassedimentar Psamo-Pelítica
	NP3smb Muscovita-quartzo xisto.
	Ortognaisses Santa Terezinha
	Ontognaisses Santa Terezinna   NP2y1st Granada-muscovita-biotita gnaisse tonalítico.
	<u>Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha</u>
	Unidade Metassedimentar Química
	NP2stg3 Gondito e formação ferrífera bandada.
	Unidade Metassedimentar Psamo-Pelitica 604 Ma (Sm-Nd em granada) Granada-muscovita-quartzo xisto, granada-clorita xisto com magnetita, muscovita-quartzo xisto, clorita xisto, muscovita-biotita-quartzo gnaiss
	NP2stg2 granada-muscovita xisto, clorita-quartzo xisto, granada-clorita xisto, biotita-quartzo gnaisse, cianita-estaurolita-granada xisto, granada estaurolita-quartzo xisto, muscovita-actinolita xisto, quartzo-actinolita xisto, muscovita-estaurolita gnaisse, estaurolita-muscovita quartzito.
	Unidade Metamáfica-Ultramáfica NP2stg1 Metahornblendito metagabro talco xisto
	Associação Aluminosa Cianita-muscovita-guartzo xisto, cianita-guartzo-muscovita xisto, muscovita-guartzo xisto, cianita-muscovita xisto, cianita-epidot
	NP3cn granada-clorita-muscovita xisto, cianitito e cianita quartzito. Clorita-muscovita-quartzo xisto, clorita-estaurolita-quartzo-muscovita xisto, quartzo-muscovita xisto, quartzo-muscovita xisto e granada-quartzo-muscovita xisto. Fácies quartzo-muscovita xisto e quartzo-biotita xisto subordinadas.
	Associação Calcissilicática Zoisita-plagioclásio-hornblenda-diopsídio calcissilicática fina bandada, diopsídio-epidoto-hornblenda calcissilicática média, hornblenda-guartz
	plagioclásio-epidoto calcissilicática fina, diopsídio-epidoto-quartzo calcissilicática média, epidoto-diopsídio-hornblenda calcissilicática fina bandada, hornblenda calcissilicática grossa, biotita-clorita calcissilicática fina, biotita-clorita calciss
	com rutilo e epidosito.
	Toniano Ortognaisses Mara Rosa
	Ortognaisse Amarolândia 897 Ma (U-Pb em zircão)
	Ortognaisses dioriticos, com facies tonalitica subordinada. Ortognaisses Indiferenciados
	NP3y2mr Ortognaisses dioríticos, quartzo-dioríticos, tonalíticos e granodioríticos, localmente migmatizados. Subordinadamente, granada-biotita muscovita gnaisse, biotita gnaisse e epidoto-biotita gnaisse.
	<u>Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa</u>
	Unidade Metassedimentar Química   NP1mr4 Gondito e metachert.
	Unidade Metassedimentar Psamo-Pelítica Muscovita-biotita paragnaisse com bandamento milimétrico, a centimétrico, marcado por bandas guartzo-feldenáticas e bandas micácea
	NP1mr3 Localmente com granada, epidoto e anfibólio.
	Reference of the second dependence of the seco
	Unidade Metavulcânica Máfica Diopsídio apfibolito, grapada guartzo apfibolito, motaborphlopdito, actinolitito o apfibólio visto, intercalados com apfibolitos finos a módios, o
	NP1mr1 Diopsidio ambolito, granada-quanzo ambolito, metanombiendito, actinolitito e ambolito xisto, intercalados com ambolitos inos a medios, e   fácies quartzo anfibolito, epidoto anfibolito, biotita anfibolito e granada anfibolito.   Unidade Metaultreméfice.
	NPμmr Talco-clorita xisto, clorita-talco xisto, tremolita-talco xisto e anfibólio xisto.
	Paleoproterozoico
	Riaciano <u>Complexo Granulítico Uruaçu</u> 2.14-2.08 Ga (U-Pb em zircão)
	PP2gu Hiperstênio granulito, microclínio-biotita-granada granulito e biotita-sillimanita-granada granulito.
	Suíte Pau de Mel 2.19-2.15 Ga (U-Pb em zircão) Granito milonítico a ultramilonítico, com fácies tonalítica subordinada, guartzo-biotita-muscovita xisto, guartzo-clorita xisto, granada-muscov
	xisto e clorita-muscovita xisto. Localmente, intercalado com pseudotaquilitos.
	Unidade Metassedimentar Psamo-pelítica
	PP2c2 Quartzo-muscovita-clorita xisto, muscovita-granada-quartzo xisto, biotita-muscovita xisto, granada-muscovita xisto, quartzo xisto feldspático muscovita-quartzo xisto. Localmente, intercalados com metatufo, gondito e cataclasito.
	Unidade Metavulcânica Félsica   PP2c1 Metadacitos e metariolitos.
	Convenções Cartográficas Recursos Minerais Au - Ouro Mlc - Malaguita
	— Rodovia ✓ Garimpo Ccp - Calcopirita Mn - Manganês   — Ferrovia ■ Ocorrência Fe - Ferro Py - Pirita
	— Drenagem Grt - Granada Sul - Sulfetos   Ky - Cianita Tlc - Talco   Ture Turmeline
	Areas - Projeto Mara Rosa
	Convenções Geológicas Petrografia
	— Foliação — Zona de Cisalhamento Dextral Amostras Laminadas
	Lineação Zona de Cisalhamento Sinistral   —— Contato Definido Image: Alternative Sinistral
	Contato Inferido — Falha Dextral ———— Falha Indiscriminada — Falha Sinistral
	Falha Rio d
	Falha Rio de ル
(X) 1	Falha Rio d 1 ℓ
× 1 2	Falha Rio de finale de fi