

Universidade de Brasília Instituto de Geociências Curso de Graduação em Geologia

# TRABALHO DE MAPEAMENTO GEOLÓGICO FINAL

# PROJETO MARA ROSA ÁREA XI

Heliana Ribeiro Gregório - 180112457 Luca de Moraes Ohashi - 170016498

> Brasília – DF 2023

Universidade de Brasília Instituto de Geociências Curso de Graduação em Geologia

# PROJETO MARA ROSA ÁREA XI

Heliana Ribeiro Gregório - 180112457 Luca de Moraes Ohashi - 170016498

### **ORIENTADORES:**

Prof. Dr. Claudinei Gouveia de Oliveira (Coordenador) Profa. Dra. Maria Emília Schutesky (Vice-Coordenadora) Prof. Dr. Elton Luiz Dantas Prof. Dr. Guilherme de Oliveira Gonçalves Prof. Dr. Henrique Llacer Roig Prof. Dr. Luis Gustavo Ferreira Viegas Profa. Dra. Natalia Hauser Profa. Dra. Roberta Mary Vidotti Prof. Dr. Valmir da Silva Souza

## **BANCA EXAMINADORA:**

Prof. Dr. Elton Luiz Dantas (Orientador) Prof. Dr. Carlos Jorge de Abreu Prof. Dr. Flávio Freitas e Silva UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA Instituto de Geociências

# MAPEAMENTO GEOLÓGICO FINAL

# Projeto Mara Rosa (GO) Subárea XI

Heliana Ribeiro Gregório Luca de Moraes Ohashi

Banca Examinadora

Prof. Dr. Elton Luiz Dantas, IG/UnB Orientador Prof. Dr. Flávio Freitas e Silva, IG/UnB Convidado Prof. Dr Carlos Jorge de Abreu, IG/UnB Convidado



"Andando por cima da terra, conquistando o seu próprio espaço, é onde você pode estar agora" - Nação Zumbi

#### AGRADECIMENTOS

Por fim, uma parte do desafio de ser geóloga completou-se e gostaria de começar meu agradecimento com uma frase de Isaac Newton "Se eu vi mais longe, foi por estar sobre ombros de gigantes".

Primeiramente, agradeço a Deus por ter chegado até aqui. Agradeço à minha família, mãe e pai, que moldaram meu ser e sempre me incentivaram a ser destemida, corajosa e estudiosa sendo eles mesmos minha fonte de inspiração para enfrentar o mundo e buscar minhas realizações pessoais.

Agradeço ao corpo docente do curso de Geologia da UnB e UFG, os quais são o espelho da profissional que quero me tornar com tamanha inteligência. Em especial, agradeço ao prof. Dr. Nilson Botelho que me orienta através da iniciação científica desde que ingressei na UnB, sendo um ponto chave para minha evolução durante o curso. Agradeço ao coordenador do Trabalho Final prof. Dr. Claudinei Gouveia, pela empatia, compreensão, cuidado com respeito ao trabalho e a moldagem profissional. Agradeço ao nosso orientador, prof. Dr. Elton Dantas, pelo zelo por um trabalho de qualidade mostrando extrema paixão pela geologia e pelo ato de lecionar.

Agradeço ao meu parceiro de longa data, Ohashi, o qual compartilhei momentos desafiadores desde o mapeamento 2 até o trabalho final. Crescemos juntos nessa caminhada. Foi bom acompanhar nossa evolução, te desejo todo o sucesso na vida.

Agradeço aos meus amigos de graduação, os quais sempre me apoiaram e me ajudaram em questões acadêmicas e de vida pessoal. São muitos os que tenho bastante apreço, mas em especial, ao Gustavo Bianchi, parceiro de graduação onde nossa amizade ficou cada vez mais forte frente aos desafios do curso, onde dos assuntos mais complexos ele era o primeiro a quem recorria, nos levando a altas discussões geológicas. Em coletivo, aos colegas da turma 2018/2, turma que mais me fez sentir querida e cujas amizades não mudaram mesmo que nos desencontramos nas disciplinas do curso, avisto o sucesso de vocês.

Estou extremamente feliz por isso.

- Heliana Ribeiro Gregório

#### **AGRADECIMENTOS**

É com imensa gratidão que escrevo este texto de agradecimento. Completar uma jornada de 6 anos de graduação em Geologia não foi tarefa fácil, aliás, foi muito mais difícil que um dia já imaginei. Por um longo tempo acreditei que não chegaria aqui, confesso, no entanto, essa conquista é fruto de muita dedicação, resiliência e, acima de tudo, de muito apoio por parte de pessoas que sempre iluminaram meu caminho, quando tudo parecia sombrio.

Gostaria de agradecer, em primeiro lugar, à minha família, que sempre esteve presente em todos os momentos, acreditando em mim e me apoiando incondicionalmente. Vocês são e sempre serão minha base e fonte de motivação constante. Em especial, gostaria de agradecer a meus pais, Bruno Ohashi e Maiara de Moraes, que sempre acreditaram na minha capacidade, sempre respeitando minhas decisões ao longo da vida. Vocês são minha inspiração e espero algum dia chegar próximo ao sucesso que vocês alcançaram.

Em seguida, gostaria de agradecer aos meus professores e orientadores, que foram verdadeiros guias e fontes de conhecimento ao longo desta jornada. Em especial, agradeço imensamente aos professores Claudinei e Elton, que me apoiaram e fizeram com que a realização do trabalho fosse possível. Com sua dedicação e paixão pela geologia, vocês me inspiraram a mergulhar ainda mais fundo nesta área e a buscar sempre mais conhecimento.

Gostaria também de agradecer minha parceira de trabalho, Heli, que, por um acaso do destino, realizamos os dois últimos mapeamentos geológicos da graduação juntos. Nossa parceria sempre foi de respeito e companheirismo, diante do desafio que nos foi colocado. Se estamos aqui é porque somos vencedores, e tenho muito orgulho de ter realizado este trabalho com você.

Aos meus colegas de classe, que tornaram esta jornada ainda mais especial. Juntos, compartilhamos momentos de dúvida, desafios e aprendizados, e juntos, celebramos as conquistas. Em especial, agradeço aos meus parceiros de vida, Thomaz e Murilo, que estiveram presentes ao longo de toda essa jornada geológica.

Por fim, gostaria de agradecer à instituição de ensino que tive a honra de frequentar e que, com certeza, foi fundamental na formação tanto profissional quanto pessoal. Meus agradecimentos à UnB, ao IG, e a todas as pessoas que fazem desta instituição uma referência mundial.

Este é um momento de muita alegria e orgulho, mas também de reflexão ao olhar para trás e perceber todo o caminho percorrido. Sou imensamente grato a todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para que eu chegasse até aqui.

| 1    | Intro | Índice  | 1      |
|------|-------|---|--------|
| 1.1. | Ob    | jetivos   | •••• 1 |
| 1.2. | Lo    | calização da Área e Vias de Acesso                                | 2      |
| 1.3. | Ma    | nteriais e Métodos  | 3      |
| 1.   | .3.1. | Etapa Pré-Campo   | 4      |
| 1.   | .3.2. | Etapa Campo   | 5      |
| 1.   | .3.3. | Etapa Pós-Campo   | 7      |
| 1.4. | As    | pectos Fisiográficos  | 7      |
| 1.   | .4.1. | Clima   | 8      |
| 1.   | .4.2. | Geomorfologia   | 9      |
| 1.   | .4.3. | Pedologia   | .12    |
| 1.   | .4.4. | Vegetação e Ocupação do Solo                                      | .16    |
| 1.   | .4.5. | Hidrografia   | .19    |
| 2.   | Geol  | ogia Regional   | .21    |
| 2.1. | Co    | ntexto Geológico do Projeto Mara Rosa                             | .25    |
| 2.   | .1.1. | Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte (PP2c)                | .25    |
| 2.   | .1.2. | Suíte Plutônica Pau de Mel (PP2y1pm)                              | .26    |
| 2.   | .1.3. | Grupo Serra da Mesa (PP4sm)                                       | .26    |
| 2.   | .1.4. | Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa (NP1mr)                | .28    |
| 2.   | .1.5. | Ortognaisses tonalíticos (NP1y1gnt)                               | .29    |
| 2.   | .1.6. | Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha de Goiás (NP2st) | 29     |
| 2.   | .1.7. | Suíte Amarolândia (NP3y3am)                                       | .30    |
| 2.   | .1.8. | Granito Faina (NP3γ4f)  | .30    |
| 2.   | .1.9. | Cianititos (NP3cn)  | .31    |
| 3.   | Sense | oriamento Remoto e Geofísica                                      | .32    |
| 3.1. | Sei   | nsoriamento Remoto  | .32    |
| 3.   | .1.1. | Imagens Multiespectrais   | .33    |

|     | 3.1.2. | Modelo Digital de Elevação                        | 34 |
|-----|--------|---|----|
|     | 3.1.3. | Etapas do processamento de dados                  | 35 |
|     | 3.1.4. | Produtos e Interpretações                         | 37 |
| 3.2 | 2. Ae  | rogeofísica                                       | 46 |
|     | 3.2.1. | Características do levantamento aerogeofísico     | 46 |
|     | 3.2.2. | Gamaespectrometria                                | 48 |
|     | 3.2.3. | Aeromagnetometria                                 | 52 |
|     | 3.2.4. | Análises e Interpretações dos Produtos Geofísicos | 56 |
| 4.  | Geol   | ogia do Projeto Mara Rosa                         | 61 |
| 4.1 | . Are  | co Magmático Campinorte                           | 61 |
| 4.2 | 2. Are | co Magmático Mara Rosa                            | 62 |
| 2   | 4.2.1. | Unidade Metavulcanossedimentar                    | 62 |
| 2   | 4.2.2. | Unidade Metassedimentar                           | 63 |
| 2   | 4.2.3. | Rochas intrusivas Pré a Sin-Tectônicas            | 64 |
| 2   | 4.2.4. | Unidade Hidrotermal                               | 65 |
| 4.3 | 3. Gri | upo Serra da Mesa                                 | 65 |
| 4.4 | I. Ro  | chas Intrusivas Tardi a Pós-tectônicas            | 66 |
| 5.  | Litoe  | stratigrafia e Petrografia da Área XI             | 68 |
| 5.1 | . Un   | idade Metavulcanossedimentar                      | 68 |
|     | 5.1.1. | Metavulcânicas Máficas - NP1mr1                   | 71 |
|     | 5.1.2. | Metassedimentar Química - NP1mr4                  | 78 |
| 5.2 | 2. Ort | tognaisses Mara Rosa                              | 79 |
| -   | 5.2.1. | Ortognaisses indiferenciados - NP3y2mr            | 80 |
| 6.  | Geol   | ogia Estrutural                                   | 91 |
| 6.1 | . Do   | mínios Estruturais do Projeto Mara Rosa           | 91 |
| (   | 6.1.2. | Domínio Mara Rosa                                 | 94 |
| (   | 6.1.3. | Domínio Transbrasiliano                           | 95 |
| (   | 6.1.4. | Domínio Bom Jesus                                 | 96 |

| 6.2. | Are   | cabouço Estrutural da Área XI                                 | 97  |
|------|-------|---|-----|
| 6.3. | Are   | cabouço Estrutural Dúctil                                     | 98  |
| 6.   | 3.1.  | Foliações   | 98  |
| 6.   | 3.2.  | Lineações   | 100 |
| 6.   | 3.3.  | Dobras  | 102 |
| 6.4. | Are   | cabouço Estrutural Rúptil                                     | 104 |
| 6.5. | Co    | nsiderações Estruturais                                       | 107 |
| 6.6. | Eve   | olução Estrutural   | 110 |
| 7.   | Geol  | ogia Econômica  | 112 |
| 7.1. | Re    | cursos Minerais do Projeto Mara Rosa                          | 112 |
| 7.   | 1.1.  | Sistema Pórfiro-Epitermal                                     | 113 |
| 7.   | 1.2.  | Sistema Aurífero Orogênico                                    | 114 |
| 7.   | 1.3.  | Sistema Residual/Supergênicos                                 | 114 |
| 7.   | 1.4.  | Minerais e Rochas Industriais                                 | 114 |
| 7.2. | Re    | cursos Minerais Locais  | 116 |
| 7.   | 2.1.  | Sulfetos (Py-Ccp-Mag) associadas a gnaisses ricos em biotita  | 117 |
| 7.   | 1.1.  | Sulfeto e óxidos (Ccp, Py, Mag, Ilm) associados a anfibolitos | 119 |
| 7.   | 1.2.  | Muscovita associada a veios pegmatíticos                      | 121 |
| 7.2. | Co    | nsiderações Metalogenéticas                                   | 122 |
| 8.   | Evoli | ução Tectônica  | 126 |
| 8.1. | Eve   | olução Tectônica do Orógeno Brasília                          | 127 |
| 8.2. | Eve   | olução Tectônica do Arco Magmático Goiás                      | 128 |
| 8.   | 2.1.  | Estágio de Arco Paleoproterozoico                             | 128 |
| 8.   | 2.2.  | Estágio de Arco Intra-Oceânico Neoproterozoico                | 131 |
| 8.   | 2.3.  | Estágio de Colisão Arco-Continente                            | 132 |
| 8.   | 2.4.  | Estágio Colisional a Pós-Colisional                           | 133 |
| 8.   | 2.5.  | Estágio Extensional Pós-Orogênico                             | 135 |
| 8.1. | Mo    | odelo Evolutivo do Arco Magmático Mara Rosa                   | 135 |

| 9.    | Considerações Finais1  | 37 |
|-------|------------------------|----|
| Refer | ências Bibliográficas1 | 41 |
| Apên  | dices1                 | 52 |

# Lista de Tabelas

| Tabela 1.1: Cronograma de atividade. 4   |
|--|
| <b>Tabela 1.2</b> : Relação de amostras para petrografia. 7                                    |
| <b>Tabela 1.3:</b> Classificação dos tipos de relevo presentes no Projeto Mara Rosa.10         |
| Tabela 3.1: Especificações da câmera WPM do satélite CBERS 04A, e metadados da cena            |
| utilizada no Projeto Mara Rosa33   |
| Tabela 3.2: Especificações dos sensores OLI e TIRS do satélite Landsat 8 e metadados da        |
| cena utilizada   |
| Tabela 3.3: Especificações do Modelo Digital de Elevação produzido pelo sensor ALOS            |
| PALSAR e metadados da cena utilizada no Projeto Mara Rosa                                      |
| Tabela 3.4: Parâmetros de entrada para os algoritmos de geração do hillshade e das curvas de   |
| nível  |
| Tabela 3.5: Faixas de valores dos sensores de gamaespectrometria e magnetometria47             |
| <b>Tabela 3.6:</b> Descrição dos domínios gamaespectrométricos do Projeto Mara Rosa.58         |
| Tabela 5.1. Composição modal dos principais minerais constituintes da subunidade               |
| metavulcanica máfica das amostras laminadas. Abreviações: Am = anfibólio, Pl =                 |
| plagioclásio, $Qtz = quartzo$ , $Ep = epidoto$ , $Px = clinopiroxênio + ortopiroxênio e Grt =$ |
| granada71  |
| Tabela 5.2: Critério de classificação de ortognaisses de acordo com porcentagem modal de       |
| quartzo81  |
| Tabela 8.1: Resumo dos principais estágios de evolução tectônica das unidades geológicas       |
| da área do PMR126  |

# Lista de Figuras

| Figura 1.1: Mapa de Localização das Áreas de Estudo do Projeto Mara Rosa e principais        |
|--|
| vias destacadas  |
| Figura 1.2: Trajeto rodoviário saindo de Brasília - DF até chegar à cidade de Mara Rosa -    |
| GO   |
| Figura 1.3: Mapa de pontos da Área XI6   |
| Figura 1.4: Gráfico com a média de precipitação e de temperaturas máximas e mínimas          |
| anuais dos últimos 30 anos no município de Alto Horizonte. Fonte: Climatempo9                |
| Figura 1.5: Contraste entre o relevo aplainado e o relevo de Morros e Colinas, do Granito    |
| Faina em a, e do Morro Redondo em b10  |
| Figura 1.6: Mapa Geomorfológico Simplificado do Projeto Mara Rosa11                          |
| Figura 1.7: Solos observados, em campo, na Área XI. (A) Neossolo; (B) Latossolo Vermelho     |
| com concreções e gretas de ressecamento; (C) Saprólitos de gnaisse a esquerda e anfibolito a |
| direita; (D) Gleissolo com gretas de ressecamento14  |
| Figura 1.8: Mapa Pedológico Simplificado do Projeto Mara Rosa15                              |
| Figura 1.9: Vegetação presente na Área XI. (A) Árvores de acácia preservadas junto a         |
| afloramentos de rocha, em meio às pastagens; (B) Mata Ciliar nas margens do Rio Formiga.     |
|  |
| Figura 1.10: Mapa de cobertura vegetal e uso do solo simplificado do Projeto Mara Rosa18     |
| Figura 1.11: Drenagem do Rio Formiga. (A) Período de estiagem e (B) Período chuvoso. Em      |
| (A) imagem fornecida por integrantes da Área V19   |
| Figura 1.12: Mapa hidrográfico do Projeto Mara Rosa20  |
| Figura 2.1: Localização da Província Tocantins no contexto geotectônico do Brasil (a), com   |
| enfoque no Orógeno Brasília (b)21  |
| Figura 2.2: Compartimentação de unidades geológicas do Orógeno Brasília. Fonte: Adaptada     |
| de Fuck (2017)   |
| Figura 2.3: Mapa Geológico do Arco Magmático de Mara Rosa, evidenciando as sequências        |
| metavulcanossedimentares Mara Rosa (900-800 Ma) e Santa Terezinha (670-600 Ma). Fonte:       |
| Adaptado de Oliveira et al. (2016)24   |
| Figura 2.4: Unidades litoestratigráficas presentes na área do Projeto Mara Rosa, segundo     |
| dados da CPRM (Folhas Campinorte e Santa Terezinha, 2007)                                    |
| Figura 3.1: Etapas de processamento dos dados de sensoriamento remoto do Projeto Mara        |
| Rosa   |

Figura 3.2: Relevo sombreado e curvas de nível geradas a partir do MDE ALOS PALSAR utilizado no Projeto Mara Rosa. (a) Relevo sombreado das áreas do Projeto. (b) Relevo Figura 3.3: Hipsometria da região de estudo do Projeto Mara Rosa e na Área XI, destacando as regiões mais elevadas do terreno em cores quentes, enquanto as regiões de menor altitude Figura 3.4: Composições coloridas da imagem CBERS 04A utilizada no Projeto Mara Rosa. Figura 3.5: Composições coloridas da imagem Landsat 8, utilizada no Projeto Mara Rosa. 43 Figura 3.8: Mapa de localização das áreas do Projeto Mara Rosa e do Levantamento aerogeofísico do Estado de Goiás......47 Figura 3.10: Fluxograma referente aos produtos gerados pelo processamento dos dados gamaespectrométricos. A contagem total representa a medida da radiação em microRoentgen por hora. O canal do potássio (K) representa a concentração em % e os canais dos equivalentes de tório (eTh) e urânio (eU) representam a concentração em ppm, a partir do Figura 3.11: Produtos gamaespectrométricos regionais gerados com o processamento dos dados. (A) Contagem total (µR/h); (B) Potássio (%); (C) Equivalente de urânio (ppm); (D) Figura 3.12: Composição ternária gerada a partir dos canais de potássio (K) e equivalentes de tório e urânio (eTh e eU). (A) Imagem ternária RGB, em que o vermelho, verde e azul representam o K, eTh e eU, respectivamente; (B) Imagem ternária CMY, em que o ciano, Figura 3.13: Fluxograma referente aos produtos gerados pelo processamento dos dados aeromagnetométricos......53 Figura 3.14: Produtos magnetométricos regionais gerados com o processamento dos dados. (A) Anomalia Magnética; (B) Primeira Derivada Vertical; (C) Gradiente Horizontal Total; Figura 3.15: Mapa de domínios gamaespectrométricos do Projeto Mara Rosa (A) e da Área XI (B). Smv1, sequência metavulcanossedimentar 1; Grs, gnaisse tonalitico; Ogn, ortognaisse, Cals, calcissilicáticas, metamáficas e gonditos e Grn, granitóides......59

Figura 3.16: Mapa de lineamentos magnéticos. (A) Mapa de lineamentos magnéticos no Projeto Mara Rosa, (B) Detalhe dos lineamentos magnéticos da Área XI e (C) Diagrama de rosetas da direção dos lineamentos do Projeto Mara Rosa......60 Figura 4.1: Mapa Geológico Integrado do Projeto Mara Rosa (versão simplificada)......67 Figura 5.1: Padrões de relevo observados em rochas da Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa, evidenciando a Superfície de Aplainamento Regional, em primeiro plano, e o Figura 5.2: Mapa geológico simplificado da Área XI, evidenciando a localização das lâminas delgadas e minerais metamórficos índices encontrados em outros pontos. Abreviações Ep: Epidoto; Grt: Granada; Di: Diopsídio......70 Figura 5.3: Amostras TF22-XI-47. (A) Amostra de mão TF22-XI-47, (B) Fotomicrografia da amostra TF22-XI-47 a nicóis cruzados com cristal de epidoto vermiforme, em contato com cristais de anfibólio, (C) e (D) Aspectos texturais da amostra TF22-XI-47, textura nematoblástica com bandas granoblásticas milimétricas, na qual observa-se recristalização dos minerais como quartzo, plagioclásio e hornblenda, (C) nicóis descruzados e (D) nicóis cruzados. Abreviações: Hbl = hornblenda, Pl = plagioclásio, Qtz = quartzo, Ep = epidoto...72 Figura 5.4: Aspectos macro e microscópicos de granada anfibolito. (A) Foto tirada em escala de afloramento, evidenciando a granada com textura coronítica em anfibolito. (B) Fotomicrografia evidenciando as feições deformacionais nos cristais de quartzo e plagioclásio, em branco, apresentando contatos lobados e irregulares, a nicóis paralelos. (C) Cristais de epidoto bem formados, em contato com cristais de hornblenda. Muscovita ocorre em finas ripas em contato também com os anfibólios, à nicóis paralelos. (D) Domínio granoblástico rico em cristais de granada, mostrando também a presença de minerais opacos, dentre eles, pirita, magnetita e ilmenita, à nicóis paralelos. ......74 Figura 5.5: Amostras de mão e fotomicrografias da amostra 45, classificada como actinolitito da subunidade NP1mr1. (A) Amostra de mão TF22-XI-45 de granulação média, (B) e (C) Fotomicrografia da amostra TF22-XI-45, composta majoritariamente por actinolita e evidenciando textura nematoblástica a nicóis descruzados e nicóis cruzados respectivamente, (D) Cristais de hornblenda em meio a cristais de actinolita. Abreviações: Hbl = hornblenda, Act = actinolita.....75 Figura 5.6: Amostra de mão e fotomicrografia da amostra TF22-XI-62. (A) Amostra de mão evidenciando a granulação grossa em cristais de hornblenda. (B) Trama diablástica da amostra com cristais médios a grossos de hornblenda, à nicóis paralelos......76

**Figura 5.13:** Fotomicrografias da amostra TF22-XI-64 de biotita gnaisse tonalítico. (A) Hornblenda idioblástica com contatos irregulares. (B) Muscovita hidrotermal entre cristais de plagioclásio e quartzo e cristal de plagiclásio com maclamento deformacional na borda. (C e

Figura 6.1: Mapa Estrutural Integrado do Projeto Mara Rosa, evidenciando os domínios estruturais definidos para a região......92

Figura 6.5: Estereogramas associados ao Domínio Bom Jesus. (A) Contornos de probabilidade relativos aos polos das foliações, destacando a presença de uma direção preferencial NE-SW abrangente, englobando as inflexões E-W associadas. (B) Representação das medidas de lineação, destacando caimento preferencial para NE/N......97 Figura 6.6: Detalhe para a foliação Sn em escala de afloramento. (A) Foliação em anfibolito, com caráter difuso e milimétrico. (B) Bandamento gnáissico em ortognaisse tonalítico, com Figura 6.7: Mapa estrutural da Área XI, evidenciando as medidas coletadas em mapa Figura 6.8: Estereogramas com densidade de pólos referentes aos planos de foliação da Área XI. (A) Estereograma de foliações do Domínio Mara Rosa, no cenário da Área XI, com predominância de mergulhos para NW, com caimentos de 30° a 60°, e algumas medidas com mergulhos para NE, referente a dobramentos localizados. (B) Estereograma de foliações do Domínio Bom Jesus, no cenário da Área XI, com predominância de mergulhos para NNW, Figura 6.9: Aspectos gerais das lineações, em escala de afloramento. (A) Lineação de estiramento mineral em ortognaisse; (B) Lineação de estiramento mineral em ortognaisse, com a mesma direção observada em (A); (C) Lineação de estiramento mineral paralela a foliação, em ortognaisse milonítico......101 Figura 6.10: Estereograma com pólos e densidades das medidas de lineação da Área XI. .101 Figura 6.11: Aspectos gerais das dobras observadas na Área XI. (A) Dobra assimétrica em ortognaisse, com vergência para SSE; (B) Dobras isoclinais recumbentes, em ortognasse migmatítico; (C) Dobras de arrasto em anfibolito. .....102 Figura 6.12: Detalhe para os dobramentos suaves regionais localizados na porção sudeste da Área XI. Essas estruturas são representadas, no mapa magnetométrico (GHT), por cristas de direção NE-SW relacionadas ao eixo da estrutura. No estereograma é possível perceber o caráter suave do dobramento, com flancos com mergulhos de, aproximadamente, 30º para 

Figura 6.13: Dobra observada no ponto TF22-XI-51, referente a um ortognaisse. (A) Dobra em escala de afloramento; (B) Representação esquemática desta dobra, com medidas de Figura 6.14: Fotografia de afloramento representando as principais direções de fraturas, Figura 6.15: Mapa de estruturas rúpteis, evidenciando lineamentos de drenagem e alinhamentos estruturais, extraídos com auxílio de dados SRTM......106 Figura 6.16: Diagrama de rosetas com dados de fraturas coletados em campo, evidenciando as principais direções observadas na Área XI......107 Figura 6.17: Perfil esquemático em seção observada em corte de estrada (Ponto TF22-XI-06), evidenciando os diferentes tipos de relação entre anfibolitos (verde) e ortognaisses Figura 7.1: Mapa de ocorrências minerais e furos de sondagem localizados na área XI, assim como localização dos principais depósitos nas proximidades da área.....117 Figura 7.2: Afloramento com localização das porções isotrópicas do metadiorito em A caracterizada por metadiorito isotrópico envolto por porções anisotrópicas intensamente deformada em no limite entre os dois limites as rochas são ricas em biotita e granada......118 Figura 7.3: (A) Perfil em corte de estrada destacando superfície de empurrão em corte de perfil de ortognaisses com zona abaixo com solo de coloração esverdeada destacada em tracejado, (B) Biotitito com indicação da ocorrência de calcopirita de granulação média....119 Figura 7.4: Amostra TF22-XI-66 de ortognaisse tonalítico com malaquita e calcopirita em Figura 7.5: Fotomicrografias em luz refletida das amostras TF22-XI-72A e TF22-XI-43. (A) Calcopirita e pirita anédricas, (B) Magnetita com aspecto prismático segundo foliação, (C) Magnetita em cristal estirado, (D) e (E) Associações de pirita e magnetita, mostrando possível substituição, (F) Magnetita em bordas de granada, (G) Magnetita subédrica segundo Figura 7.6: Ocorrências de mica pegmatítitca. (A) Mica segundo fraturas de direção NE-SW com mergulho para NW, (B) e (C) grandes cristais de muscovita do tipo "folha" ou "sheet". Figura 7.7: Padrão generalizado de zoneamento de alteração-mineralização para depósitos 

Figura 7.8: Mapas geofísicos das respostas avaliadas para análise do potencial metalogenético nas adjacencias da Área XI com visão espacial dos depósitos de Chapada

(Cu-Au Chapada, Au Suruca e Cu-Au Corpo Sul), Saúva e Formiga. (A) Mapa gamaespectrométrico RGB em que se observa resposta de tonalidade esbranquiçada/ciano a sudoeste próxima à ocorrência Ccp.Pv.Mag e resposta de tonalidade cor ciano próxima à ocorrência Py, Mag, Ilm. (B) Mapa magnético de porcentagem de K indicando altas concentrações de potássio a sudoeste da Área XI. (C) Mapa de anomalia magnética evidenciando alto magnético homogêneo de aproximadamente 35.1 nT abrangendo a ocorrência Ccp, Py, Mag a sudoeste da Área XI e alto magnético de aproximadamente 46 nT 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)......130 Figura 8.2: Estágio de Arco Intra-Oceânico Neoproterozoico. (A) Formação do Arco Mara Rosa em um ambiente intra-ocêanico; (B) Colisão do Arco Insular recém-formado com o Figura 8.4: Estágio Colisional a Pós-Colisional. (A) Estágio Colisional; (B) Estágio Tardi a Figura 8.5: Estágios de evolução tectônica do Orógeno Brasília envolvendo os arcos Campinorte, Mara Rosa e Santa Terezinha de Goiás; (A) Estágio de Arco Intra-Oceânico Paleoproterozoico, correspondente ao Arco Campinorte, 2200-2000 Ma; (B) Maciço de Goiás como uma extensão pericratônica do Cráton São Francisco, 2000 Ma; (C) Estágio de Arco Intra-Oceânico Neoproterozoico, correspondente ao Arco Mara Rosa, 900-800 Ma; (D) Estágio de Colisão Arco-Continente, correspondente ao Arco Santa Terezinha de Goiás, 670-600 Ma; (E) Estágio Colisional a Pós-Colisional, destacando a influência do Lineamento Transbrasiliano no Orógeno Brasília após a formação do supercontinente Gondwana pela colisão entre os crátons. Adaptado de Oliveira et al. (2004)......136 Figura 9.1: Mapa geológico final da Área XI.....140

# **CAPÍTULO 1**

# 1. Introdução

Apresenta-se neste relatório o trabalho desenvolvido na Área XI do Projeto Mara Rosa, que trata de um mapeamento geológico em escala 1:25.000, realizado na região norte do estado de Goiás, incluindo parcialmente os municípios de Mara Rosa, Alto Horizonte, Nova Iguaçu de Goiás e Amaralina. Este projeto cobre uma área de 665.5 km<sup>2</sup>, subdividida em 11 áreas (I-XI), sendo a Área VIII de 80 km<sup>2</sup>, a Área XI de 45.5 km<sup>2</sup> e as demais de 60 km<sup>2</sup>.

O projeto em questão foi executado sob a coordenação do Professor Dr. Claudinei Gouveia de Oliveira, juntamente com a orientação dos Professores Drs. Elton Luiz Dantas, Natalia Hauser, Maria Emília Schutesky, Roberta Mary Vidotti, Valmir da Silva Souza, Luis Gustavo Ferreira Viegas, Guilherme de Oliveira Gonçalves e Henrique Llacer Roig.

O trabalho de mapeamento geológico se baseia em um estudo geral das unidades geológicas da região de interesse. No caso do Projeto Mara Rosa, estas unidades estão relacionadas ao Segmento Mara Rosa do Arco Magmático de Goiás, juntamente com a Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte, Grupo Serra da Mesa e Complexo Granulítico Uruaçu, além dos corpos intrusivos relacionados, como o Granito Faina e a Suíte Pau de Mel.

## 1.1. Objetivos

Os objetivos específicos do Projeto Mara Rosa abrangem questões relacionadas a complementação de trabalhos anteriores, estudo dos depósitos de Cu-Au da região e detalhamento das estruturas da área.

a) Dessa maneira, propõe-se complementar os trabalhos anteriores, representadas nas Folhas Campinorte e Santa Terezinha de Goiás, realizadas pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) em 2007 (Oliveira *et al.*, 2007; Fuck *et al.*, 2007), o Projeto Mutunópolis, realizado por integrantes do Trabalho Final do Instituto de Geociências (IG) da UnB em 2006 e o Projeto Alto Horizonte, realizado por integrantes do Trabalho Final do Instituto de Geociências (IG) da UnB em 1997. Será proposto um mapa geológico integrado em escala de semidetalhe (1:25.000) da região, bem como notas explicativas para cada subárea mapeada. Além disso, melhorar o entendimento da evolução crustal que originou o Arco Magmático Goiás e suas relações tectônicas com o Orógeno Brasília.

- b) Estudar o contexto em que os depósitos vulcanogênicos e depósitos de Cu-Au pórfiro, como o depósito Cu-Au de Chapada se formaram, e avaliar o potencial prospectivo das unidades mapeadas e como se relaciona com as estruturas cisalhantes.
- c) Responder como se dá o caráter comportamental das estruturas de direção EW, principal responsável pela inflexão da Sequência Mara Rosa e Santa Teresinha presentes principalmente na Área XI. Assim como entender as estruturas NW e suas contribuições para estabelecimento das principais alterações hidrotermais, com o objetivo de definir a evolução estrutural da área do Projeto Mara Rosa e suas relações com os eventos tectônicos.

## 1.2. Localização da Área e Vias de Acesso

A área do Projeto Mara Rosa está localizada no noroeste do Estado de Goiás, próxima aos municípios de Mara Rosa, Alto Horizonte e Amaralina, com a base do projeto estabelecida na cidade de Mara Rosa, tendo em vista sua proximidade da área de estudo e por oferecer a infraestrutura adequada ao desenvolvimento do projeto.



Figura 1.1: Mapa de Localização das Áreas de Estudo do Projeto Mara Rosa e principais vias destacadas.

A principal rota de acesso à cidade de Mara Rosa, a partir da Universidade de Brasília, se dá pela BR-070 até a cidade de Cocalzinho de Goiás, em seguida pela BR-414 até a cidade de Assunção de Goiás e acesso pela BR-080 até a cidade de Uruaçu. O trajeto

continua pela BR-153 (Belém-Brasília) até a GO-253, de onde segue para a cidade de Mara Rosa (Figura. 1.2). A Área XI pode ser acessada pelas rodovias BR-080 e GO-347 estando localizada na porção sudoeste inferior da área total do projeto, a aproximadamente 10 km de distância da cidade de Alto Horizonte e a jusante da barragem de rejeitos da mina de Chapada.

A partir da cidade de Goiânia, a área do projeto dista aproximadamente 350 km sendo possível ser acessada pelas rodovias GO-080 e GO-239.



Figura 1.2: Trajeto rodoviário saindo de Brasília - DF até chegar à cidade de Mara Rosa – GO.

## 1.3. Materiais e Métodos

Ao longo do trabalho, as atividades foram desenvolvidas em três etapas: Pré-campo, Campo e Pós-campo, organizadas conforme o cronograma de atividades da Tabela 1.1, e com reestruturação dos capítulos feitos durante a etapa de pré-campo. Os prazos de entrega foram adaptados em virtude da mudança da data de realização do campo, em decorrência de problemas de saúde, por parte de ambos os integrantes do grupo, que impossibilitaram a realização do trabalho de campo na data prevista.

| Etapas     | Atividades                                  | Jun. | Jul. | Ago. | Set. | Out. | Nov. | Dez. | Jan. | Fev. |
|------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|            | Cap. de Introdução                          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Pré-Campo  | Cap. de Sensoriamento<br>Remoto e Geofísica |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| r re-campo | Cap. de Geologia<br>Regional                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|            | Mapa Base                                   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Campo      | Mapeamento Geológico                        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|            | Confecção do Mapa<br>Geológico Integrado    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|            | Cap. de Geologia do<br>Projeto Mara Rosa    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|            | Cap. de Estratigrafia e<br>Petrografia      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|            | Cap. de Geologia<br>Estrutural              |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Pós-Campo  | Cap. de Geologia<br>Econômica               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|            | Cap. de Evolução<br>Tectônica               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|            | Cap. de Conclusões e<br>Recomendações       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|            | Volume Final                                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|            | Apresentação e Defesa                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

Tabela 1.1: Cronograma de atividade.

#### 1.3.1. Etapa Pré-Campo

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

No âmbito do presente relatório, a compilação de trabalhos anteriores pode ser vista no Capítulo 2, tendo como foco a geologia e evolução do Orógeno Brasília, especialmente do Arco Magmático de Goiás e seu Segmento Mara Rosa. Já as etapas de processamento e aplicação dos dados geofísicos e de sensoriamento remoto se encontram no Capítulo 3, incluindo seu uso como elementos complementares ao mapeamento geológico e como base para as etapas decorrentes. A geofísica utilizada inclui dados aéreos de gamaespectrometria e magnetometria, enquanto o sensoriamento remoto abrange imagens orbitais multiespectrais e dados de radar.

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

### 1.3.2. Etapa Campo

O trabalho de campo ocorreu entre os dias 10 a 21 de novembro de 2022, com o suporte acadêmico, financeiro e logístico fornecido pela Universidade de Brasília, contando com a orientação em campo dos professores Claudinei Gouveia de Oliveira e Elton Luiz Dantas, e auxílio dos alunos Miguel Oliveira e Yuri Rafael Silva.

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

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

Ao final de cada dia de trabalho, foram realizadas compilações e discussões acerca dos elementos observados ao longo do dia. No total, a coleta de dados da Área XI resultou na descrição de 89 pontos com afloramentos (Figura. 1.3), além de 26 pontos de controle, onde não ocorriam exposições de rocha.

Ao final da etapa de campo foi elaborado o mapa geológico preliminar da Área XI, na escala 1:25.000, com os limites geológicos e a orientação das principais estruturas identificadas.



Figura 1.3: Mapa de pontos da Área XI.

#### 1.3.3. Etapa Pós-Campo

A etapa pós-campo iniciou-se após o retorno da atividade de campo, no dia 22 de novembro seguindo até o início de fevereiro de 2023, com a apresentação e defesa do trabalho final. Neste estágio, foram compilados e organizados os dados coletados em campo, complementando-os com análises petrográficas e geoquímicas das amostras de rocha coletadas em campo, visando aumentar o nível de detalhamento do mapa geológico e de suas interpretações derivadas.

No contexto da Área XI, foram selecionadas nove amostras representativas foram laminadas para análise petrográfica (Tabela 1.2). As lâminas delgadas da Área XI foram confeccionadas e polidas no Laboratório de Laminação do Instituto de Geociências da UnB e as análises geoquímicas de rocha total foram realizadas pelo Laboratório ALS Canadá, em parceria com a empresa Lunding Mining. As amostras analisadas foram adicionadas ao banco de dados do Projeto Mara Rosa, totalizando 102 lâminas petrográficas, das quais nove são da Área XI.

Assim, os resultados desta etapa, juntamente com as anteriores, permitiram a elaboração das discussões presentes nos Capítulos 4 a 7 deste relatório. Estes capítulos detalham, respectivamente, a geologia geral do Projeto Mara Rosa, a geologia local da Área XI, os aspectos econômicos da região e sua evolução tectônica.

| L | 1.2. Relação de alhostras para pero |              |  |  |  |  |
|---|-------------------------------------|--------------|--|--|--|--|
|   | Amostra                             | Litotipo     |  |  |  |  |
|   | TF22-XI-45                          | Anfibolito   |  |  |  |  |
|   | TF22-XI-47                          | Anfibolito   |  |  |  |  |
|   | TF22-XI-33                          | Anfibolito   |  |  |  |  |
|   | TF22-XI-43                          | Anfibolito   |  |  |  |  |
|   | TF22-XI-31                          | Ortognaisse  |  |  |  |  |
|   | TF22-XI-62                          | Hornblendito |  |  |  |  |
|   | TF22-XI-72A                         | Ortognaisse  |  |  |  |  |
|   | TF22-XI-72B                         | Ortognaisse  |  |  |  |  |
|   | TF22-XI-64                          | Ortognaisse  |  |  |  |  |

Tabela 1.2: Relação de amostras para petrografia.

## **1.4.** Aspectos Fisiográficos

Os aspectos fisiográficos estão relacionados com expressões diretas e/ou indiretas das características geológicas da região, sendo condicionados, entre outros fatores, por uma combinação da geologia e do clima do local.

A seguir, serão abordados os principais tópicos relativos à fisiografia das áreas do Projeto Mara Rosa, com foco na Área XI, compreendendo seu clima, geomorfologia, pedologia, vegetação, hidrografia e uso e ocupação do solo. Em razão da proximidade da área de estudo com o município de Alto Horizonte, os aspectos fisiográficos foram analisados e consultados a partir dos dados públicos deste município.

## 1.4.1. Clima

O clima da região de estudo é definido, de acordo com a classificação de Köppen-Geiger (Cardoso, 2014), como tropical úmido com inverno seco (Aw). Desta maneira, se estabelecem duas estações bem definidas, sendo elas um verão chuvoso e um inverno seco (Figura. 1.4).

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

Em relação às temperaturas, a região apresenta um valor anual médio de 25°C. Durante a estação do verão, são vistos valores de temperatura com pouca variação, mantendo as mínimas entre 22 e 23°C, e as máximas entre 29 e 33°C. Já no período seco do inverno, as temperaturas mínimas ficam entre 20 e 23°C, com máximas variando de 31 até 34°C, mostrando uma maior amplitude.



#### Alto Horizonte - BR



### 1.4.2. Geomorfologia

A região de estudo do Projeto Mara Rosa está inserida no contexto geomorfológico do Planalto Central Goiano, mais especificamente na Região de Superfícies Aplanadas (Lacerda Filho, 1999). Conforme mostra a Figura 1.5 e 1.6, a área do projeto é dominada por um sistema erosivo (denudacional), representado pelas porções de Morros e Colinas e pelas Superfícies de Aplainamento. Apenas uma pequena porção no sudoeste da área se encontra em um sistema deposicional (agradacional), configurando uma Planície Fluvial na Área VII.

O padrão de relevo que predomina na área do Projeto Mara Rosa é de Superfície Regional de Aplainamento e Morros e Colinas. Cerca de 80% da área total caracteriza-se em relevo do tipo SRAIVC1(fr), com cotas entre 250 e 400 m e dissecação fraca, desenvolvida sobre rochas pré-cambrianas. Nas laterais extremas há variação da superfície de aplainamento conforme dissecação e altitude. O relevo do tipo Morros e Colinas (MC) pode ser diretamente relacionado a importantes unidades geológicas da região, como o Granito Faina e o Morro Redondo, a oeste; os cianititos e a Serra de Bom Jesus, da Sequência Mara Rosa, a nordeste; e o Grupo Serra da Mesa, representado pela Serra Amaro Leite, a sudeste (Sistema Estadual de Geoinformação do estado de Goiás).



**Figura 1.5:** Contraste entre o relevo aplainado e o relevo de Morros e Colinas, do Granito Faina em a, e do Morro Redondo em b.

| Sigla          | MC                               | PFm   | SRAIVC1(fr)   | SRAIVC1(m)  | SRAIVA(fr)  | SRAIIIA(fr)   |  |
|----------------|----------------------------------|---|---|---|---|---|--|
| Classificação  | Relevo de<br>Morros e<br>Colinas | Planície  | Superficie<br>Regional de<br>Aplainamento           | Superficie<br>Regional de<br>Aplainamento           | Superficie<br>Regional de<br>Aplainamento           | Superficie<br>Regional de<br>Aplainamento           |  |
|                |                                  | Fluvial   | IVC   | IVC   | IVA   | IIA   |  |
| Característica | Relevo de<br>Morros e<br>Colinas | Planície<br>Fluvial com<br>Padrão<br>Meandriforme | Cotas entre<br>250 e 400 m e<br>dissecação<br>fraca | Cotas entre<br>250 e 400 m e<br>dissecação<br>média | Cotas entre<br>400 e 550 m e<br>dissecação<br>fraca | Cotas entre<br>700 e 800 m e<br>dissecação<br>fraca |  |

Tabela 1.3: Classificação dos tipos de relevo presentes no Projeto Mara Rosa.

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

O contexto específico da Área XI mostra, quase que integralmente, padrão enquadrado em superfícies de aplainamento regional, mais especificamente a SRAIVC1 (fr). Aproximadamente 95% da área é caracterizada por este tipo de relevo, justificando a predominância de áreas de pasto e plantio. A única região com relevo acentuado, é representada pelas encostas do Morro Redondo, no centro-norte da subárea XI. Esta região é caracterizada pelo relevo de Morros e Colinas, e justifica-se pela presença de rochas mais resistentes à erosão.

10



Figura 1.6: Mapa Geomorfológico Simplificado do Projeto Mara Rosa.

### 1.4.3. Pedologia

De acordo com o mapa de solos (Figura. 1.8), construído com base no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), com dados disponibilizados pelo Sistema Estadual de Geoinformação do estado de Goiás, a região do Projeto Mara Rosa possui cobertura dos solos: Plintossolo Pétrico concrecionário (FFc); Latossolo Vermelho distrófico (LVd); Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd); Neossolo Litólico distrófico (RLd); Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (PVAd); e Cambissolo Háplico distrófico (CXbd).

O Cambissolo Háplico distrófico (Figura. 1.7 A) ocorre predominantemente na porção nordeste do Projeto Mara Rosa e normalmente em relevos fortemente ondulados ou montanhosos. Compreendem solos com desenvolvimento incipiente caracterizados pela pouca diferenciação dos horizontes nas características morfológicas, principalmente pela cor e estrutura. Quando háplicos, não apresentam horizonte superficial A Húmico (Santos *et al.*, 2018).

O Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico representa somente 2% da área do Projeto Mara Rosa, ocorrendo especificamente na Área X. Estão associados a áreas de relevos mais acidentados e dissecados, caracterizados por conter maior teor de argila nos horizontes subsuperfíciais em relação aos superficiais (Santos *et al.*, 2018).

Os latossolos são solos minerais, profundos, com pouca diferenciação entre horizontes e cor homogênea. É comum a presença de argilo-minerais do tipo 1:1 e de óxidos de ferro e alumínio (Palmieri & Larach, 2004). No Projeto Mara Rosa, ocorre em 20% da área Latossolo Vermelho distrófico na porção mais a oeste e Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico mais a Leste na Área VIII, com pequenas ocorrências nas Áreas VI, X e XI.

O Latossolo Vermelho-Amarelo se diferencia principalmente do Latossolo Vermelho por possuir maior relação Al2O3/Fe2O3 e menor porcentagem de Fe2O3 (Netto, 2008). Normalmente o Latossolo Vermelho distrófico associa-se a relevo plano ou suavemente ondulado, possui textura argilosa, muito argilosa ou média com teores médios a altos de Fe2O3 (Laborsolo). Já o Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico é associado aos relevos, plano, suave ondulado ou ondulado, ocorrendo em ambientes bem drenados, ou seja, são solos porosos ou muito porosos, sendo muito profundos e uniformes em características de cor, textura e estrutura em profundidade (Santos *et al.*, 2018).

O Neossolo Litólico distrófico ocorre na área do Projeto Mara Rosa associado a altos do relevo, ou relevo do tipo Morros e Colinas, acidentado. São solos onde encontram-se afloramentos rochosos, pois são muito pouco desenvolvidos, rasos, não hidromórficos (sem a presença de água), apresentando horizonte A diretamente sobre a rocha ou horizonte C de pequena espessura (Santos *et al.*, 2018).

Na maior parte da área do Projeto Mara Rosa há predomínio do Plintossolo Pétrico concrecionário representando 70% da sua totalidade e onde as pastagens constituem o uso mais comum. Os Plintossolos são formados sob condições de restrição à percolação da água, sujeitos ao efeito temporário do excesso de umidade, de maneira geral imperfeitamente ou mal drenados, relacionados a terrenos de várzea, áreas com relevo plano ou suave ondulado, e tem terço inferior de vertentes. Os Plintossolos Pétricos concrecionários apresentam um horizonte concrecionário ou litoplíntico com camada de concreções de óxido de ferro (plintita endurecida e consolidada) (Santos *et al.*, 2018).

Dentre essas variações de solo observadas em campo destaca-se perfil de Neossolo cujo material de origem corresponde a gnaisses (Figura. 1.7 A), Plintossolo com pequenas concreções de tamanho milimétrico a centimétrico e gretas de ressecamento e o Gleissolo (Figura. 1.7 D) com gretas de ressecamento que ocorre em porções sujeitas a inundação de cor acinzentada e granulometria fina. Também se observou solos residuais de saprólitos das rochas que ocorrem na área, sendo elas gnaisse que caracteriza solos de textura arenosa com grãos de quartzo preservados de tamanho milimétrico e coloração variável de branca a rosada e granulometria média a fina e anfibolito que caracteriza solos de textura silte-arenosa de coloração avermelhada e granulometria fina (Figura. 1.7 C).



**Figura 1.7**: Solos observados, em campo, na Área XI. (A) Neossolo; (B) Latossolo Vermelho com concreções e gretas de ressecamento; (C) Saprólitos de gnaisse a esquerda e anfibolito a direita; (D) Gleissolo com gretas de ressecamento.



Figura 1.8: Mapa Pedológico Simplificado do Projeto Mara Rosa.
### 1.4.4. Vegetação e Ocupação do Solo

A cobertura vegetal na região do Projeto Mara Rosa é dominada por áreas de pastagem, ou seja, superfícies antropizadas, aplicadas para atividades agropecuárias. Este aspecto deve ser considerado para as atividades do mapeamento geológico, afinal, este tipo de cobertura, não natural, pode mascarar o reconhecimento de afloramentos e feições geológicas, tanto em campo quanto nas respostas de dados remotos.

A grande expressão das pastagens no local se deve à importância socioeconômica do agronegócio para a região. Além da criação de gado e da agricultura tradicional, a região atua na produção do famoso açafrão de Mara Rosa, reconhecido como patrimônio cultural e imaterial goiano pela Lei Estadual nº 21.570, de 6 de setembro de 2022.

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

A região de estudo está inserida no bioma cerrado (IBGE, 2022), com vegetação nativa de savana, e características xeromórficas arbustivas-arbóreas, ou seja, adaptadas a climas estacionais áridos ou semi-áridos (Sano *et al.* 2007; Santos, 2000). Localmente, a Savana Florestada se apresenta na forma de vegetação herbácea, como gramíneas e arbustos, associada com solos profundos, como os latossolos presentes na região, enquanto a Floresta Estacional Semidecidual Aluvial se expressa ao redor de canais de drenagem, gerando uma vegetação mais densa e expressiva (Figura 1.9).



**Figura 1.9:** Vegetação presente na Área XI. (A) Árvores de acácia preservadas junto a afloramentos de rocha, em meio às pastagens; (B) Mata Ciliar nas margens do Rio Formiga.

No contexto da Área XI, observa-se um predomínio de áreas de pastagem, assim como na região de forma geral (Figura 1.10). Em sua porção norte, são vistas manchas de vegetação nativa preservada, do tipo Savana Arborizada sem Mata de Galeria. Já a Savana Arborizada com Mata de Galeria ocorre em manchas, associadas a regiões com vegetação preservada ao redor do Rio Formiga e seus afluentes.



Figura 1.10: Mapa de cobertura vegetal e uso do solo simplificado do Projeto Mara Rosa.

#### 1.4.5. Hidrografia

A área do Projeto Mara Rosa insere-se na Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia que abrange o noroeste do estado do Goiás e os estados do Tocantins, Pará, Maranhão, Mato Grosso e o Distrito Federal, (Ministério do Meio Ambiente), mais precisamente na região hidrográfica do Rio Araguaia.

O IBGE e ANA, utilizam a metodologia de Otto Pfafstetter (1989) para delimitação e codificação das bacias hidrográficas no Brasil, as áreas do Projeto Mara Rosa estão distribuídas entre as bacias hidrográficas Córrego Armador, Ribeirão Santa Maria, Rio Formiga e Rio do Ouro segundo nível 6 da classificação de Otto e Bacia hidrográfica Rio dos Bois de acordo com nível 5 da classificação de Otto (Figura 1.12).

Os principais rios da região são o Rio Formiga e Rio dos Bois que são estruturalmente controlados na direção NE-SW onde somente o rio Formiga tem inflexão na direção EW. Os rios e seus afluentes são frequentemente intermitentes, controlados pela sazonalidade do clima da região, apresentando alto volume de água no período chuvoso (Figura 1.11).

No que abrange as áreas do Projeto Mara Rosa, na bacia hidrográfica Rio Formiga predomina o padrão dendrítico a sub-dendrítico e densidade moderada. Na bacia hidrográfica do Rio dos Bois o padrão é sub-dendrítico a sub-paralelo com baixa densidade e assimétrico, em razão de um controle estrutural de direção N-S, que delimita a bacia. Na bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Maria temos padrão dendrítico de densidade moderada e simétrico delimitada a oeste por alto de relevo dado pelo granito Faina.



**Figura 1.11:** Drenagem do Rio Formiga. (A) Período de estiagem e (B) Período chuvoso. Em (A) imagem fornecida por integrantes da Área V.



Figura 1.12: Mapa hidrográfico do Projeto Mara Rosa.

# **CAPÍTULO 2**

# 2. Geologia Regional

A amalgamação do Gondwana Ocidental ocorreu a partir de uma série de eventos tectônicos colisionais que ocorreram no neoproterozoico, dentre eles o Ciclo Orogênico Brasiliano (Brito Neves *et al.* 1999; Meert 2003). Estes eventos envolveram o movimento convergente dos paleocontinentes São Francisco-Congo, Paranapanema e Amazônico, que, ao colidirem, estabeleceram uma trama de dobramentos nas unidades de bacias sedimentares meso a neoproterozoicas, na região intercratônica.

Este sistema orogênico, foi englobado na Província Tocantins (Almeida *et al*, 1981), é composta pelos Orógenos Araguaia, Paraguai e Brasília (Figura 2.1), sendo que os dois primeiros se desenvolveram nas bordas leste e sul/sudeste do Cráton Amazônico, respectivamente, enquanto o último se dispôs na borda oeste do Cráton São Francisco (Pimentel *et.al*, 2000; Dardenne *et.al*, 2000; Valeriano *et al*. 2008).



Figura 2.1: Localização da Província Tocantins no contexto geotectônico do Brasil (a), com enfoque no Orógeno Brasília (b).

Diversos modelos de compartimentação foram propostos para o Orógeno Brasília a fim de integrar zonas com semelhanças tectono-estruturais. Uhlein *et al.* (2013) sintetizando o que é apresentado em Dardenne (2000), Pimentel *et al.* (2000, 2004) e Valeriano *et al.* (2004, 2008), subdivide o orógeno em Faixa Brasília Setentrional (FBS) e Faixa Brasília

Meridional (FBM). A Faixa Brasília Setentrional apresenta, predominantemente, uma estruturação NNE, enquanto na Faixa Meridional predomina a estruturação NNW. A separação entre os segmentos norte e sul da Faixa Brasília é estabelecida pela Sintaxe dos Pirineus (Araújo Filho, 2000), que consiste em uma estrutura côncava para leste que reflete a acomodação diacrônica dos terrenos acrescionários ao redor da margem oeste do Cráton São Francisco (Figura 2.2).





O Orógeno Brasília apresenta uma compartimentação tectônica, conforme Fuck *et al.* (1994) e mais recentemente apresentado por Valeriano *et al* (2008), separando-a de leste a

oeste em: Cratônica, Zonas Externa e Interna, juntamente com as unidades geotectônicas do Maciço de Goiás e Arco Magmático de Goiás.

**O Cráton São Francisco**: é recoberto pelas rochas supracrustais dos grupos Bambuí e Vazante (Dardenne 1981, 2000), sendo um domínio autóctone onde o embasamento não está envolvido na deformação. O limite com a Faixa Brasília Externa é indicado por falhas de empurrão de baixo a médio ângulo, que afloram as unidades neoproterozoicas do Grupo Paranoá e Grupo Canastra (Uhlein *et al.* 2013).

A Zona Externa da Faixa Brasília: é composta por unidades metassedimentares do Mesoproterozoico (Grupos Araí, Natividade, Paranoá, Canastra e Ibiá), assim como porções do embasamento arqueano-paleoproterozoico (Uhlein *et al.*, 2013). O setor meridional da faixa, no Estado de Minas Gerais, apresenta estrutura de um cinturão de dobras e cavalgamentos, com extensas falhas de empurrão longitudinais, que invertem a estratigrafia dos grupos Vazante, Canastra e Ibiá (Campos Neto 1979, Freitas-Silva 1991, Pereira 1992).

A Zona Interna da Faixa Brasília: inclui unidades alóctones dos Grupos Araxá e Serra da Mesa, assim como porções do embasamento, envolvido na tectônica brasiliana, conforme descrito por Pimentel *et al.* (2000). Em comparação com a porção externa, esta unidade apresenta grau metamórfico mais alto, chegando à fácies granulito (Ferreira Filho *et al.*, 1998). A aloctonia da Zona Interna da Faixa Brasília se dá na forma de um sistema de nappes, sobrepondo o cinturão de dobras e cavalgamentos da Zona Externa (Valeriano *et al.*, 2008).

Maciço de Goiás: o termo "Maciço de Goiás" (Marini *et. al*, 1984), foi interpretado por Fuck (1994) como um microcontinente acrescido durante o ciclo orogênico Brasiliano sendo que diversos estudos tectônicos seguiram essa interpretação (Pimentel *et al.*, 2000, 2003; Valeriano *et al.*, 2008). Contudo, outros estudos (D'El-Rey Silva *et al.*, 2008; Cordeiro *et al.*, 2014; Cordeiro & Oliveira, 2017) sugeriram correlacionar o Maciço com porções do Cráton São Francisco. A interpretação mais recente é dada por Cordeiro & Oliveira (2017), que apresentam evidências geológicas, geocronológicas e geofísicas de amalgamação entre o maciço e o Cráton São Francisco no Paleoproterozoico (2.19 a 2.04 Ga), sendo o maciço composto por quatro domínios principais, a saber, o domínio Crixás - Goiás, o domínio Campinorte, o domínio Cavalcante - Arraias e o domínio Almas - Tocantins. Assim, na concepção de Cordeiro & Oliveira (2017), o Maciço de Goiás representaria uma extensão

pericratônica das margens oeste do Cráton São Francisco, devido suas similares idades de formação e metamorfismo, e outras evidências geofísicas.

Arco Magmático de Goiás: esta unidade é composta por diversas sequências metavulcanossedimentares típicas de um arco magmático as quais estão associadas a ortognaisses tonalíticos a graníticos e rochas graníticas sin-tectônicas até tardi e pós tectônicas, essas últimas com idades entre  $590 \pm 480$ Ma (Pimentel & Fuck, 1992; Pimentel, 2000 e Laux *et.al*, 2004). O Arco Magmático de Goiás ocupa uma extensa área, com direção preferencial N-NE, na porção oeste do Orógeno Brasília, sendo subdividida em duas porções, descontínuas geograficamente, a saber, o Segmento Mara Rosa, ao norte da faixa (Figura 2.3) e o Segmento Arenópolis, ao sul (Oliveira *et al.*, 2000).



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

## 2.1. Contexto Geológico do Projeto Mara Rosa

A área de estudo contemplada pelo Projeto Mara Rosa é constituída, principalmente, por rochas relacionadas ao Arco Magmático de Goiás, Segmento Mara Rosa, além do embasamento paleoproterozoico, representado pela Sequência Campinorte (Kuyumjian *et al.*, 2004 e Oliveira *et al.*, 2006), e unidades metassedimentares do Grupo Serra da Mesa (Barbosa, 1955 e Marini, 1977), que afloram no extremo SE da Área X (Figura 2.4). Dessa forma, maior detalhamento será dado a estas unidades.

#### 2.1.1. Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte (PP2c)

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

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

A Sequência Campinorte inclui metapsamitos (quartzito, muscovita quartzito e quartzo-mica xisto), metapelitos (muscovita xisto, clorita-muscovita xisto com ou sem granada, clorita-biotita xisto, muscovita-quartzo xisto e, subordinadamente, xistos carbonosos) e rochas metassedimentares químicas (gondito e metachert). Metavulcânicas ácidas a intermediárias são esporádicas, ocorrendo quase sempre em camadas lenticulares de dimensões variáveis, intercaladas nas rochas metassedimentares. Rochas piroclásticas ácidas, riolitos e riodacitos porfiríticos, são os litotipos mais representativos dos componentes vulcânicos dessa sequência. Intercalações de rochas metaultramáficas (talco-clorita xisto, anfibólio xisto, actinolititos), anfibolito fino e epidoto anfibolito ocorrem subordinados (Oliveira *et al.*, 2006).

25

Atribui-se as rochas da Sequência Campinorte a idade máxima de deposição de ~2.2 Ga (Giustina *et al.*,2009), indicando, provavelmente, que as rochas metassedimentares desta unidade foram formadas a partir da erosão do arco paleoproterozoico periférico.

#### 2.1.2. Suíte Plutônica Pau de Mel (PP2y1pm)

A Suíte Plutônica Pau de Mel engloba uma ampla variação de rochas plutônicas ácidas calci-alcalinas (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 principais corpos graníticos representantes desta suíte são as intrusões Mundinho e Viúva, que hospedam depósitos do tipo ouro orogênico, relacionados a zonas de cisalhamento transcorrentes neoproterozoicas (Oliveira *et al.*, 2004).

**Granito Milonítico Mundinho:** constitui um metagranito com geometria alongada e foliação milonítica subvertical, resultante de intensa deformação controlada por uma zona de cisalhamento transcorrente norte-sul. O corpo intrude um pacote de quartzitos e xistos da sequência vulcanossedimentar Campinorte.

Os corpos intrusivos da Suíte Pau de Mel apresentam idades de cristalização em zircões de 2.17 a 2.07 (Cordeiro *et al.*, 2014).

#### 2.1.3. Grupo Serra da Mesa (PP4sm)

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

O posicionamento cronoestratigráfico desta unidade é controverso, e, a partir de sua distribuição e associação faciológica, é correlacionada ao grupo Araí (Marques, 2009; Pimentel *et al.*, 2011), porém ainda não foram apresentados dados consistentes que comprovem essa hipótese (Martins-Ferreira *et al.*, 2018). O embasamento do Grupo Serra da Mesa é representado pelo Maciço de Goiás, sendo, na área de estudo, representado por rochas da Sequência Campinorte. A idade máxima de deposição é de 1557  $\pm$  22 Ma (Marques, 2009).



Figura 2.4: Unidades litoestratigráficas presentes na área do Projeto Mara Rosa, segundo dados da CPRM (Fuck et al, 2007 e Oliveira et al., 2007).

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

Descrita inicialmente por Arantes *et al.* (1991), esta sequência é constituída por três faixas estreitas e anastomosadas (oeste, central e leste) com disposição NNE e mergulhando para W.

As três faixas, são constituídas por metabasaltos, metatufos intermediários a ácidos, rochas metaultramáficas, metagrauvacas finas a médias, metacherts, formações ferríferas e gonditos, assim como uma ampla variedade de rochas metassedimentares psamo-pelíticas e rochas características de hidrotermalismo, sendo que todas essas rochas apresentam evidências de um metamorfismo em condições de fácies xisto verde a anfibolito (Arantes et al., 1991). As faixas leste e oeste são dominantemente formadas por rochas metassedimentares, enquanto a faixa central, hospedeira dos principais depósitos de Au e Cu-Au da região, é caracterizada por maior abundância de rochas metavulcânicas básicas (Oliveira et al., 2006).

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

**Subunidade Metavulcânicas Básicas - NP1mr1:** associação de rochas metavulcânicas e metaplutônicas básicas, além de metassedimentares químicas e pelíticas subordinadas. As metavulcânicas básicas (metabasaltos) são representadas por anfibolitos finos constituídos essencialmente de hornblenda e plagioclásio. Pequenos corpos de metatonalitos, metadioritos e hornblenditos, pouco deformados, são comumente associados.

**Subunidade Metassedimentar - NP1mr2:** compreende uma associação de rochas metassedimentares psamo-pelíticas, encaixantes do Granito Faina, com intercalações de metassedimentares químicas, representadas por gonditos e metacherts.

Subunidade Metavulcanossedimentar - NP1mr3: compreende uma ampla variação de metavulcânicas básicas a ácidas, e metassedimentares psamo-pelíticas e químicas, além de produtos hidrotermais associados às mineralizações de Cu-Au (Chapada) e Au (Mundinho, Viúva, Sururuca), dentre os quais se destacam xistos e gnaisses com mineralogia variada. As metavulcânicas básicas são representadas, sobretudo, por anfibolitos finos bandados, sendo

comum encontrar variações de granada anfibolito, biotita anfibolito, antofilita anfibolito e epidoto anfibolito.

Dois eventos distintos para o Arco Mara Rosa foram descritos por Pimentel e Fuck (1992), Pimentel et al. (1997) e Junges et al. (2002), um primeiro evento em 900Ma relacionado a formação do arco de ilha e um segundo, em 630Ma, relacionado a Orogênese Brasiliana.

#### 2.1.5. Ortognaisses tonalíticos (NP1y1gnt)

Esta unidade é composta por ortognaisses tonalíticos (biotita gnaisses) de granulação média, bem como dioritos subordinados. Dentro dos corredores de alta deformação, caracterizados por zonas de cisalhamento transcorrente NE, estes corpos adquirem geometria sigmóide fortemente alongada (Figura 2.4), aos quais se associam intensa segregação de veios quartzo-feldspáticos (Oliveira *et al.*, 2006). Arantes *et al.* (1991) descrevem enclaves de rochas supracrustais nestes metatonalitos, característica indicativa da natureza intrusiva do protólito plutônico.

Viana *et. al* (1995) descreve que os gnaisses dioríticos a tonalíticos situados entre as faixas supracrustais são homogêneos e apresentam uma granulação média a grossa com texturas e estruturas reliquiares. Além disso, associados aos gnaisses, há presença de pequenos corpos de metagabro e hornblendito de granulação grossa, interpretados por Viana *et al* (1995) como terrenos gerados dos protólitos dos metatonalitos.

Datações U-Pb em zircões, obtidos de gnaisses tonalíticos do depósito Zacarias, mostram idades de  $845 \pm 5$  Ma (Melo, 2006). Essas idades associadas à Geoquímica isotópica Sm/Nd registram um importante evento gerador das rochas do arco magmático.

#### 2.1.6. Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha de Goiás (NP2st)

A Sequência Santa Terezinha de Goiás compreende rochas metassedimentares, resultado da erosão de depósitos vulcânicos do arco magmático adjacente, bem como rochas metamórficas, como quartzitos, clorita - muscovita xistos, clorita xistos, anfibólio xistos e xistos feldspáticos e anfibolitos (Souza, 1984 e Fuck *et. al* 2006). Também inclui produtos derivados de atividade vulcânica (Figura 2.3).

Assim como a Sequência Mara Rosa, esta unidade é subdividida em unidades com predominância de certos tipos petrográficos ou associação de mais de um tipo petrográfico (Oliveira *et al.*, 2006 e Oliveira *et al.*, 2016), à saber, uma subunidade

metavulcanossedimentar e uma metassedimentar. Destaca-se, nessa sequência, a predominância de paragêneses indicativas de fácies xisto verde superimpostas a associações de fácies anfibolito (Oliveira *et al*, 2016).

**Subunidade Metavulcanossedimentar:** Composta por anfibolitos finos (e epidoto anfibolito) intercalados com diversos xistos, estes ultimos compostos por biotita, muscovita, hornblenta, granada e epidoto (Oliveira *et. al*, 2016).

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

#### 2.1.7. Suíte Amarolândia (NP3y3am)

Constitui-se de um conjunto de corpos intrusivos com tamanhos variados, desde pequenos corpos até intrusões batolíticas de tonalitos, pouco ou não deformados. Os litotipos mais representativos desta suíte possuem granulação média e tonalidade mosqueada de branco e cinza escuro. Ocorrem aglomerados de biotita junto ao plagioclásio e quartzo, que predominam nestas rochas. Ocorrências de epidoto e clorita indicam metamorfismo em fácies xisto verde (Oliveira *et al.*, 2006).

Análises U-Pb em zircões de tonalitos do depósito Chapada mostram idade de  $635 \pm 2,4$  Ma, interpretada como a idade de cristalização magmática e tida como representativa da suíte tonalítica Amarolândia (Melo, 2006).

#### 2.1.8. Granito Faina (NP3y4f)

Suíte de rochas plutônicas ácidas, comumente representada por corpos pequenos pouco ou não deformados, de natureza pós-tectônica. As intrusões graníticas incluem, principalmente, biotita granito e leucogranitos a duas micas, que exibem granulação média a grossa e tonalidade cinza claro. O Granito Faina, por sua vez, constitui um batólito alongado, disposto segundo NE-SW e exibindo granulação média a grossa. Compõe-se de feldspato potássico, plagioclásio, quartzo, biotita, muscovita e granada. O contato deste corpo com as rochas metassedimentares encaixantes é marcado por uma faixa larga de rochas metassedimentares psamo-pelíticas proto a ultramilonitizadas (Oliveira *et al.*, 2006).

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

#### 2.1.9. Cianititos (NP3cn)

Unidade com rochas metassedimentares ricas em cianita e intercalações de metavulcânicas básicas a intermediárias subordinadas. São caracterizados por variações de xistos ricos em cianita, cianita quartzitos e cianititos. Ocorrem, principalmente, ao longo da zona de cisalhamento Serra de Bom Jesus e nas rochas encaixantes do depósito de Cu-Au Chapada. Os cianititos exibem granulação média a grossa e ocorrem em blocos métricos nas encostas íngremes (Oliveira *et al.*, 2006). De acordo com Palermo (1996), o crescimento da cianita pode estar relacionado à alteração hidrotermal, seguido por metamorfismo de fácies anfibolito de produtos hidrotermais aluminosos, em estágio avançado de alteração argílica, durante pico do metamorfismo de fácies anfibolito, em cerca de 760 Ma (Junges *et al.* 2002).

Datações U-Pb em rutilo incluso em cianita de cianitito apresentaram idade de 569  $\pm$ 9 Ma, sendo esta interpretada como ligada ao resfriamento posterior ao evento metamórfico em fácies anfibolito, iniciado em 630 Ma (Oliveira *et al.*, 2006).

# **CAPÍTULO 3**

# 3. Sensoriamento Remoto e Geofísica

Neste capítulo serão apresentadas as técnicas e metodologias de geoprocessamento e geofísica empregadas tradicionalmente como ferramentas para o mapeamento geológico. Esses recursos são essenciais para o estudo prévio da área de estudo, servindo como apoio durante a etapa de trabalho de campo até a confecção do mapa geológico final.

Esse capítulo objetiva demonstrar de que maneira os produtos de sensoriamento remoto e geofísica foram processados e gerados e as interpretações extraídas a partir da análise dos dados.

Portanto, o sensoriamento remoto e a geofísica são estudos essenciais para a execução do projeto, de forma que farão parte de todo o progresso do trabalho. Para o estudo foram utilizadas imagens orbitais multiespectrais, dados de radar e dados aerogeofísicos potenciais

Durante a etapa de pré-campo, as imagens orbitais foram utilizadas para fins de vetorização das feições de interesse, como vias de acesso, elementos hidrográficos, localidades e morfologia do relevo. Os dados de radar foram utilizados para a extração das curvas de nível e para análise hipsométrica da região. Já os dados aerogeofísicos foram empregados, juntamente com as imagens orbitais, para caracterização prévia dos litotipos que compõem a área de estudo, bem como do material que os recobre, seja ele de natureza natural ou antrópica. Durante a coleta de dados *in situ*, estas informações serviram como guia para a busca por variações litológicas na área, além de auxiliar em sua posterior interpretação e na geração do mapa geológico-geofísico final.

# 3.1. Sensoriamento Remoto

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

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

#### 3.1.1. Imagens Multiespectrais

As imagens óticas multiespectrais utilizadas têm como fonte os sensores CBERS 04A WPM e Landsat 8 OLI e TIRS, disponibilizadas gratuitamente na internet, nos portais de seus respectivos provedores. Os satélites CBERS (*China-Brazil Earth Resources Satellite* ou Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres) são geridos pelo INPE no Brasil, desde o início da missão em 1999, sendo o CBERS 04A seu sexto modelo de satélites, e também o mais recente. Segundo o INPE (2020), este modelo foi colocado em órbita em dezembro de 2019, operando e coletando dados até os dias atuais.

Dentre os três tipos de sensores a bordo, as imagens são adquiridas pela câmera WPM (Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura), a qual é o principal instrumento de aquisição do satélite. A tabela 3.1 apresenta as principais características deste sensor, bem como da cena adquirida para este trabalho.

| Câmera WPM                       | - CBERS 04A          | Cena Utilizada         |                                |
|----------------------------------|----------------------|------------------------|--------------------------------|
| Resolução Espectral<br>(Bandas)  | 0,45-0,52 µm (B)     | Identificação          | CBERS4A_WPM20913020220612      |
|                                  | 0,52-0,59 µm (G)     |                        |                                |
|                                  | 0,63-0,69 µm (R)     |                        |                                |
|                                  | 0,77-0,89 µm (NIR)   |                        |                                |
|                                  | 0,45-0,90 µm (PAN)   |                        |                                |
| D                                | 2 m (Pancromática)   | Nível de Processamento | Nível 4 (L4) - Ortorretificada |
| Resolução Espacial               | 8 m (Multiespectral) |                        |                                |
| Resolução Temporal<br>(Revisita) | 31 dias              | Tipo de Dado           | Número Digital                 |
| Resolução<br>Radiométrica        | 10 bits              | Aquisição              | 12/06/2022 - 13:59:02          |
| Largura da Faixa<br>Imageada     | 92 km                | Cobertura de Nuvens    | 0%                             |

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

Já os satélites Landsat (*Land Remote Sensing Satellite*), geridos pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e pela USGS (*United States Geological Survey*), estão em funcionamento desde a década de 60, com o programa sendo um dos pioneiros na aquisição de imagens orbitais em larga escala. O Landsat 8 foi lançado no ano de 2013, estando ainda em operação, mesmo após a chegada do Landsat 9. Seus sensores incluem OLI

(*Operational Land Imager*) e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*), cujas características encontram-se detalhadas na tabela 3.2.

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

Tabela 3.2: Especificações dos sensores OLI e TIRS do satélite Landsat 8 e metadados da cena utilizada.

## 3.1.2. Modelo Digital de Elevação

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

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

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

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

#### 3.1.3. Etapas do processamento de dados

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

As imagens orbitais, bem como os demais dados vetoriais e matriciais utilizados no Projeto Mara Rosa, foram trabalhados em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas). Para isto, diferentes softwares de geoprocessamento foram utilizados, incluindo Google Earth Pro e QGIS (3.22.11), ambos de utilização livre e gratuita, e ArcMap (10.5), licenciado por meio do uso institucional fornecido pelo Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (IG/UnB).



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

Inicialmente, as imagens CBERS 04A passaram por um empilhamento das bandas 1 a 4 (*layerstacking*), de forma a uni-las em um único arquivo raster e possibilitar suas combinações em composições coloridas. Em seguida, foi feita uma fusão da imagem empilhada com a banda 0 (pancromática), por meio da ferramenta *pansharpening*. Dessa forma, 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, resultando em uma imagem multiespectral com 4 bandas (B, G, R e NIR), todas com pixels de 2x2 metros.

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

Em relação ao processamento das imagens Landsat, inicialmente foi feito um empilhamento de bandas, assim como aplicado às imagens CBERS, agrupando as bandas de 1 a 7 em um único dado. Em seguida, foram geradas as composições coloridas, fazendo o uso também de razões espectrais, e extração de componentes principais.

Por fim, ao MDE Alos Palsar foram aplicados os algoritmos de sombreamento de relevo (*hillshade*), e de extração de curvas de nível (*contour*), com seus parâmetros de

entrada detalhados na Tabela 3.4. Este processo resultou em um dado matricial de relevo simulado, e outro de elevação do terreno.

| Hillshade       |                    | Curvas de Nível e Suavização         |      |
|-----------------|--------------------|--------------------------------------|------|
| Fator Z         | 2,5                | Espaçamento                          | 20m  |
| Azimute         | 300°               | Iterações                            | 3    |
| Ângulo Vertical | 40°                | Deslocamento                         | 0,25 |
| Escala de Cores | Branco a Cinza 50% | Ângulo máximo de nó para<br>suavizar | 180° |

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

#### 3.1.4. Produtos e Interpretações

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

Neste cenário, a Área XI apresenta relevo majoritariamente aplainado, com cotas entre 300 e 350m, sendo que a única porção com cotas mais elevadas, é representada pela encosta do Morro Redondo, no centro-norte da área.

Já os resultados alcançados pelo processamento das imagens multiespectrais podem ser vistos nas Figuras 3.4 a 3.7. Tendo em vista a alta resolução espacial das imagens CBERS 04A (2 metros quando reamostradas com a banda pancromática), seu uso pode ser mais bem explorado para caracterizações morfológicas de relevo, quando comparadas às imagens Landsat 8.

Do ponto de vista espectral, as aplicações das imagens CBERS 04A se mostram limitados devido sua restrição a apenas 4 bandas (B, G, R e NIR), enquanto as imagens Landsat 8 apresentam uma maior variedade espectral, contendo 11 bandas ao todo, se contabilizados os sensores OLI e TIRS. Esta variedade permite uma maior abrangência do espectro eletromagnético, onde suas composições coloridas podem ser mais bem exploradas para observação de padrões em escala regional, além de variações composicionais em solos, vegetação e rochas, embora sua resolução espacial de 30 metros seja um fator limitante. Assim, a integração das interpretações feitas a partir das imagens de alta resolução espacial e das imagens de alta resolução espectral se mostra um elemento essencial para uma caracterização mais assertiva da área de estudo.

Por meio da análise das composições coloridas 432 da imagem CBERS 04A (Figura 3.4), é possível notar que há maior presença de vegetação nativa ao longo das margens do Rio Formiga e na encosta do Morro Redondo. Nota-se a maior presença de domínios com vegetação fotossinteticamente ativa nesta região, onde a topografia é mais acidentada, enquanto no restante da área, a vegetação nativa se encontra mais restrita às matas ciliares e de galeria que recobrem os córregos secundários. Algumas pequenas reservas naturais são presentes ao longo da área, ao percebermos pequenos agregados de coloração rosa na Figura 3.4. Aproximadamente 75% da área apresenta vegetação rasteira em decorrência da atividade antrópica, relacionada à agropecuária.

Ainda na composição 432, aliada à cor verdadeira 321, nota-se pouca presença de solo exposto, marcado em tons rosa claro a esbranquiçados na falsa cor e marromavermelhados na cor verdadeira (Figura 3.4). Sua ocorrência associa-se com maior significância às estradas de terra ao longo da área, além de pequenos domínios isolados. Isso significa que a maior parte da área se encontra recoberta por vegetação, além de áreas antropizadas, de forma que se espera a ocorrência de afloramentos de rochas em maior quantidade ao longo das estradas de terra, dentro dos canais de drenagem, e nas saliências, representadas pela maior presença de vegetação em domínios isolados ao longo da área de estudo.



**Figura 3.2:** Relevo sombreado e curvas de nível geradas a partir do MDE ALOS PALSAR utilizado no Projeto Mara Rosa. (a) Relevo sombreado das áreas do Projeto. (b) Relevo sombreado da Área XI. (c) Curvas de nível da Área XI com espaçamento de 20 metros.



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

Ambas as composições das imagens CBERS 04A evidenciam pequenos corpos d'água isolados ao longo da área de estudo, possivelmente com grande parte sendo associados à atividade antrópica. Estes corpos são vistos na cor preta, devido suas baixas reflectâncias, em todas as quatro faixas espectrais utilizadas (Figura 3.4).

A análise dos produtos Landsat 8, além de confirmar as interpretações realizadas por meio do CBERS 04A, permite a identificação de variações composicionais ao longo da área. Ao analisar os domínios de solo exposto e vegetação rasteira na área de estudo, verifica-se a presença de dois tipos diferentes de material parental que embasam a região. As composições 753, 564 e 457 (Figura 3.5) mostram tonalidades homogêneas na porção centro-norte, em tons claros de rosa, verde e roxo, respectivamente enquanto na porção central o material do solo mostra tons mais variados, chegando a colorações um pouco mais escuras. Dessa forma, é possível inferir a presença de, no mínimo, dois grandes domínios geológicos no contexto da Área XI.



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

Os produtos e interpretações provenientes dos sensores remotos foram utilizados para a extração de feições vetoriais de interesse da área de estudo, incluindo lineações de relevo, lineações de drenagem, canais de drenagem, vias de acesso e edificações. A Figura 3.6 mostra os lineamentos extraídos para as áreas do projeto, onde as lineações de relevo mostram uma orientação preferencial NE-SW, enquanto as lineações de drenagem possuem duas direções principais, aproximadamente ortogonais, sendo elas NE-SW e NW-SE. Por fim, o mapa base simplificado pode ser visto na Figura 3.7, tendo como principal objetivo fornecer um referencial logístico para as atividades desenvolvidas durante o trabalho de campo.



Figura 3.5: Composições coloridas da imagem Landsat 8, utilizada no Projeto Mara Rosa.



Figura 3.6: Lineamentos de drenagem e de relevo das áreas do Projeto Mara Rosa.



Figura 3.7: Mapa Base simplificado referente à Área XI do Projeto Mara Rosa.

## 3.2. Aerogeofísica

A geofísica, especialmente baseada em métodos potenciais e gamaespectrométricos, tem grande aplicabilidade na delimitação de estruturas geotectônicas e na localização de alvos exploratórios minerais (Ribeiro *et al.* 2014). Os métodos geofísicos medem grandezas físicas como resistividade, densidade, magnetização dos materiais que variam em função das propriedades físicas das rochas. A partir desses dados podemos delimitar os domínios com mesmas assinaturas geofísicas. Os dados geofísicos utilizados neste trabalho foram adquiridos por levantamento aéreo contendo informações geográficas que permitem a confecção de mapas correlacionando-os com informações geológicos, sendo possível gerar mapas geológico-geofísicos.

#### 3.2.1. Características do levantamento aerogeofísico

Os dados geofísicos foram obtidos do Levantamento Aerogeofísico do Estado de Goiás 1ª Etapa: Arco Magmático de Arenópolis realizado pela CPRM nos períodos entre 15/07/2004 e 02/08/2004 com a aeronave PR-FAS e entre 06/10/2004 e 11/11/2004 com a aeronave PT-WQT.

Localizado na parte norte do Estado de Goiás, feito com altura de voo fixa de 100m sobre o terreno, o levantamento aerogeofísico recobre 36.569,73 km de perfis aeromagnetométricos e aerogamaespectrométricos de alta resolução (Figura 3.8). As linhas de vôo e controle são espaçadas em 0,5 km e 5,0 km, respectivamente e orientadas nas direções N-S e E-W, envolvendo uma área total de 15.890 km<sup>2</sup> (CPRM, 2004).

O sistema aeromagnético é acoplado a um sensor (Scintrex CS-2) de vapor de césio montado na cauda (tipo stinger) da aeronave. A resolução é de 0,001 nT e abrange as faixas entre 20.000 e 95.000 nT com leituras realizadas a cada 0,1 segundo o que equivale, para a velocidade de 260 km/h da aeronave PR-FAS, a aproximadamente 7,2 m no terreno e a velocidade de 302 km/h da aeronave PT-WQT, a aproximadamente 8,4 m no terreno.



**Figura 3.8:** Mapa de localização das áreas do Projeto Mara Rosa e do Levantamento aerogeofísico do Estado de Goiás.

O gamaespectrômetro EXPLORANIUM, modelo GR-820 possui 256 canais espectrais, onde o espectro de cada um dos cristais detectores é analisado individualmente para determinação precisa dos fotopicos de potássio, urânio e tório. As radiações gama detectadas são somadas e as leituras reduzidas a uma única saída de 256 canais espectrais. A correspondência entre as janelas do gamaespectrômetro e os picos de energia respectivos é mostrada na tabela abaixo.

| <b>Tabla 5.5.</b> Laixas de valores dos sensores de ganacspectrometria e magnetometria. |                        |          |                        |     |
|---|------------------------|----------|------------------------|-----|
| Canal Radiométrico  | Faixa de Energia (MeV) |          | Canais Correspondentes |     |
| Contagem Total  | 0,41                   | 2,81     | 34                     | 233 |
| Potássio  | 1,37                   | 1,57     | 115                    | 131 |
| Urânio  | 1,66                   | 1,86     | 139                    | 155 |
| Tório   | 2,41                   | 2,81     | 202                    | 233 |
| Cósmico   | 3,00                   | $\infty$ | 256                    | -   |

Tabela 3.5: Faixas de valores dos sensores de gamaespectrometria e magnetometria

#### 3.2.2. Gamaespectrometria

A espectrometria raios gama quando feita através de recobrimento aéreo possibilita a delimitação de diferentes litotipos e o delineamento de traços estruturais, permitindo o fornecimento de subsídios para a cartografia geológica, sendo largamente utilizados em trabalhos relacionados com mapeamento geológico e prospecção mineral (Vasconcellos *et al.* 1990).

A gamaespectrometria mede as contagens e/ou concentrações de potássio, uranio e tório provenientes dos primeiros 30-40 cm de material intemperizado, solos e rochas aflorantes pela detecção da radiação emitida por esses elementos (Ferreira *et al*, 2016). As principais fontes de radiação gama detectadas na superfície terrestre provêm da desintegração natural do potássio (40K) e dos elementos das séries do urânio (238U) e do tório (232Th) presentes na composição da maioria das rochas (Cox 1979, Telford *et al.* 1990, Dickin 1995, Faure 1997).

No levantamento gamaespectrometrico os dados são adquiridos em contagens por segundo (cps) e são transformados em concentrações por procedimentos de calibração sendo apresentados em porcentagem de potássio, e ppm de uranio equivalente (eU) e tório equivalente (eTh) (Ferreira *et al*, 2016). A contagem total de radiação abrange a janela energética de 0,41 a 2,81 MeV e nesse intervalo, cada elemento é associado a um canal da espectrometria onde suas energias estão centradas como mostra a Figura 3.9, onde raios gama emitidos pelo potássio se concentram no pico de energia de 1,46 MeV e isótopos de U e Th produto de decaimento radioativo de Bi e Tl emitem energias concentradas em 1,76 e 2,61 MeV, respectivamente (Ribeiro *et al*, 2014).



Figura 3.9: Gráfico da radiação gama. Adaptado de Ferreira et al. (2016).

O processamento dos dados foi realizado a partir do software Oasis Montaj versão 2021.2.1. do sistema GEOSOFT. O método de interpolação utilizado para os dados de gamaespectrometria foi o da curvatura mínima. O tamanho da célula unitária da malha quadrada utilizada para a interpolação foi de 125 m, sendo equivalente a 1/4 do espaçamento da linha de voo. Dentre os produtos obtidos para os dados de gamaespectrometria estão: contagem total (em microRoentgen por hora,  $\mu$ R/h), potássio (%), equivalente de tório (ppm) e equivalente de urânio (ppm) e, a partir destes, composição ternária RGB e CMY (Figuras 3.10, 3.11 e 3.12).



**Figura 3.10:** Fluxograma referente aos produtos gerados pelo processamento dos dados gamaespectrométricos. A contagem total representa a medida da radiação em microRoentgen por hora. O canal do potássio (K) representa a concentração em % e os canais dos equivalentes de tório (eTh) e urânio (eU) representam a concentração em ppm, a partir do qual, são geradas as composições ternárias RGB e CMY.



**Figura 3.11:** Produtos gamaespectrométricos regionais gerados com o processamento dos dados. (A) Contagem total (µR/h); (B) Potássio (%); (C) Equivalente de urânio (ppm); (D) Equivalente de tório (ppm).



Figura 3.12: Composição ternária gerada a partir dos canais de potássio (K) e equivalentes de tório e urânio (eTh e eU). (A) Imagem ternária RGB, em que o vermelho, verde e azul representam o K, eTh e eU, respectivamente; (B) Imagem ternária CMY, em que o ciano, magenta e amarelo representam o K, eTh e eU, respectivamente.
## 3.2.3. Aeromagnetometria

O método magnetométrico é um método potencial que consiste na determinação do contraste de susceptibilidade magnética das rochas em (sub) superfície detectando variações locais no campo magnético terrestre. Essas variações permitem a dedução da litologia e estruturas geológicas sendo uma ótima ferramenta auxiliar para realização de mapeamento geológico.

As variações locais no campo magnético estão relacionadas com a concentração e distribuição de minerais magnéticos nas rochas e sua intensidade depende da magnetização induzida e magnetização remanente. Logo, os dados magnéticos permitem localizar as principais acumulações de minerais magnéticos e a detecção de assinaturas magnéticas relacionadas ao arranjo estrutural regional.

A susceptibilidade magnética é uma medida da resposta de uma rocha a um campo magnético aplicado a ela. Quando o campo magnético terrestre afeta as rochas crustais é induzido um campo magnético em rochas com susceptibilidade magnética, permitindo que as rochas se magnetizem. Todos os minerais possuem susceptibilidade magnética e exibem três classes: i) minerais diamagnéticos, os quais possuem susceptibilidade magnética negativa muito baixa para ser observada em levantamentos aeromagnéticos e permeabilidade magnética nula, ii) minerais paramagnéticos de susceptibilidade magnética positiva baixa e, iii) minerais ferromagnéticos que exibem valores de susceptibilidade magnética positivas e altas.

A magnetização remanente surge como resultado de uma competição de forças dentro de cristais magnéticos (Isles e Rankin, 2013). De acordo com Sordi (2007), está relacionada ao resfriamento de rochas ígneas abaixo da temperatura de Curie e transformações de várias naturezas que alteram o estado da rocha durante sua história geológica. Particularmente, no Brasil, a intensidade do campo magnético é menor em função da Anomalia do Atlântico Sul, dessa forma, a componente remanente da magnetização torna-se relativamente mais importante frente a magnetização induzida (Cordani e Shukowsky, 2009).

O processamento dos dados pelo Oasis Montaj 2021.2.1, é iniciado com a correção dos dados magnéticos e interpolação. Para correção dos dados magnéticos se faz necessária a geração da Anomalia Magnética (AM), ou seja, o Campo Magnético Total sem o IGRF (International Geomagnetic Reference Field) (Figura 3.12 A). Mapas de Anomalia Magnética registram componentes da anomalia local na direção do campo principal da Terra (Reeves, 2005).

A interpolação foi em malha quadrada com dimensões de 125m x 125m pelo método de gridagem bidirecional (BIGRID), utilizado em levantamentos aéreos onde os percursos da aeronave são mais ou menos paralelos e espaçados (Reeves, 2005). Para a interpretação desses dados recomenda-se produzir mapas e imagens realçando dados por meio de filtragem e transformações digitais (Isles e Rankin, 2013). Os produtos gerados para a magnetometria foram: Derivada Vertical (Dz), Gradiente Horizontal Total (GHT) e Sinal Analítico 3D (SA3D). A Figura 3.13 apresenta o fluxograma de processamento dos dados.



Figura 3.13: Fluxograma referente aos produtos gerados pelo processamento dos dados aeromagnetométricos.

## Primeira Derivada Vertical (Dz)

A primeira derivada vertical (Dz) consiste na taxa de variação da Anomalia Magnética em relação à distância vertical da fonte causadora (Blakely 1996) (Figura 3.14 B). Esse produto realça as altas frequências do sinal analítico, fazendo com que a primeira da componente vertical z seja uma anomalia magnética, assim, fornece informações sobre os contatos, descontinuidades e lineamentos.

## **Gradiente Horizontal Total (GHT)**

O Gradiente Horizontal Total é usado para o aprimoramento na detecção de bordas de corpos anômalos em dados de campo potencial (Cooper and Cowan, 2008) pois realça as bordas e os centros das fontes através dos máximos e mínimos, respectivamente (Cordell & Grauch, 1985) (Figura 3.14 C). Quando o gradiente horizontal de uma anomalia é medido, avaliam-se as mudanças abruptas das propriedades físicas que variam lateralmente.

Relaciona o módulo dos gradientes horizontais (Dx e Dy) de forma a representar as taxas de variação lateral nos dados e assim realçar limites das fontes magnéticas (Cordell & Grauch 1982, 1985). As derivadas horizontais realçam feições nas direções x e y, acentuando o gradiente lateral da propriedade física investigada na direção escolhida, ou seja, na localização de extremidades de fontes, contribuindo para a delimitação dos contornos geológicos. (Blakely *et al.*, 1986).

#### Sinal Analítico 3D (SA3D)

O Sinal Analítico 3D, resultado da raiz quadrada da soma dos quadrados das derivadas nas três direções principais, é útil para localizar as bordas de corpos magnéticos rasos quando a razão entre o tamanho do corpo e sua profundidade é 0,1 e não houver remanência (Li, 2006; Isles e Rankin, 2013) (Figura 3.14 D). Este método foi introduzido por Nabighian (1972), no caso 2D, como uma ferramenta de estimativa de profundidade e de localização de fontes anômalas.



Figura 3.14: Produtos magnetométricos regionais gerados com o processamento dos dados. (A) Anomalia Magnética; (B) Primeira Derivada Vertical; (C) GradienteHorizontalTotal;(D)SinalAnalítico3D.

## 3.2.4. Análises e Interpretações dos Produtos Geofísicos

A partir dos produtos de gamaespectrometria e magnetometria, foi feita uma análise em escala regional (1:50.000) com enfoque nas feições observadas na Área XI. Dessa forma, foram gerados mapas de domínios gamaespectrométricos e domínios e lineamentos magnéticos. Além disso, a partir desses mapas e do banco de dados de afloramentos disponibilizados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) das folhas Campinorte e Santa Terezinha de Goiás e pelo Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (IG-UnB) do Projeto Mutunópolis, foi gerado um mapa interpretado das possíveis unidades correspondentes.

No mapa dos domínios gamaespectrométricos regional (Figura 3.15 A) observa-se que a Área XI insere em sua quase totalidade no domínio 10 de tons azul escuro homogêneo e com direção predominante NE-SW, correspondente a afloramentos de rochas calcissilicáticas, metamáficas, hornblenditos e gonditos. Além do domínio 10, ocorre o domínio 12 de tonalidade azul ciano e corresponde a afloramentos de gnaisse tonalítico e uma pequena porção do domínio 6 que corresponde a sequência metavulcanossedimentar Santa Teresinha constituída por xistos aluminosos, metagrauvaca e metatufo. Esses domínios de tonalidade mais escura, compreendem rochas da Sequência Mara Rosa, associada a um arco insular neoproterozoico.

Na imagem da composição ternária RGB foi realizado um recorte dos produtos da gamaespectrometria na Área XI para realçar os contrastes entre os valores máximos e mínimos (Figura 3.15 B). Para melhor interpretação dos domínios a composição adicionamos o relevo sombreado do Modelo Digital de Elevação (MDE) do ALOS PALSAR. Dessa maneira, os limites dos domínios foram refinados como também foi delimitado domínios a sul da área que ainda não estavam inseridos nos domínios regionais. As mudanças incluem expansão do domínio 13 contornando o domínio 12 e inclusão do domínio 18 na parte SW da área. O domínio 13, caracteriza-se por tons ciano/esverdeado amarelado com pontos avermelhados e aspecto heterogêneo, constituído por afloramentos de ortognaisse, anfibolito, xistos, quartzito e turmalinito. O domínio 18 a sul, tem tonalidade ciano claro e aspecto homogêneo, constituído por afloramentos de granitoides. A descrição detalhada das assinaturas geofísicas e afloramentos de cada domínio estão resumidos na Tabela 3.6.

Os produtos magnéticos ressaltam feições geológicas tais como: falhas, zonas de cisalhamento, zona de sutura e zonas de alteração hidrotermal. Nessas feições há acúmulo de minerais magnéticos que resultam em altos gradientes magnéticos, enquanto os baixos

gradientes magnéticos são representados pela prevalência de minerais paramagnéticos e diamagnéticos.

A primeira derivada vertical (Dz) foi utilizada para traçar os lineamentos regionais e locais (Figura 3.16 A e B). A partir da observação e análise das direções e da organização espacial dos lineamentos magnéticos no mapa confeccionado, com auxílio de um diagrama de rosetas construído pelo software Win-Tensor (Figura 3.16 C) pode-se concluir que: (i) Regionalmente, há evidência da compartimentação entre a Sequência Santa Teresinha e o Segmento Mara Rosa, onde predominam lineamentos de direção NE-SW e NE-SW com inflexão para E-W, respectivamente; (ii) A forte estruturação NE-SW é condizente com o Lineamento Transbrasiliano; (iii) Lineamentos de direção N-S ocorrem em porções com baixa densidade de lineamentos nas Áreas IX e X; (iv) Há um lineamento marcante de direção NW-SE que trunca a área do projeto ao meio com inflexão marcante para E-W na Área XI também evidenciado pelo diagrama de rosetas (Figura 3.16 C) e; (v) A maior expressão de lineamentos E-W nas Áreas IV, V, VI e XI correlaciona-se com a importante Zona de Cisalhamento Serra de Bom Jesus, principal manifestação do sistema cisalhante que representa a compartimentação de blocos geotectônicos com história evolutiva distinta e/ou somente definem domínios com trama estrutural e/ou orientação específica.

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

Tabela 3.6: Descrição dos domínios gamaespectrométricos do Projeto Mara Rosa.



Figura 3.15: Mapa de domínios gamaespectrométricos do Projeto Mara Rosa (A) e da Área XI (B). Smv1, sequência metavulcanossedimentar 1; Grs, gnaisse tonalitico; Ogn, ortognaisse, Cals, calcissilicáticas, metamáficas e gonditos e Grn, granitóides.



Figura 3.16: Mapa de lineamentos magnéticos. (A) Mapa de lineamentos magnéticos no Projeto Mara Rosa, (B) Detalhe dos lineamentos magnéticos da Área XI e (C)DiagramaderosetasdadireçãodoslineamentosdoProjetoMaraRosa.

# **CAPÍTULO 4**

## 4. Geologia do Projeto Mara Rosa

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

## 4.1. Arco Magmático Campinorte

O Arco Magmático Campinorte aflora, de forma restrita, dentro dos limites da Área X. É representado por uma faixa alongada e encurvada, limitada pela falha de empurrão Rio dos Bois, com direção variando de N-S a NE-SW e corresponde a 4% do total mapeado pelo projeto.

Apresenta relevo associado 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 (PP2γ1pm), também de idade riaciana

(Della Giustina *et al.*, 2009), e ocorrência de granulitos do Complexo Uruaçu (PP2gu) (Cordeiro, 2014), exumados na forma de um complexo de núcleo metamórfico.

## 4.2. Arco Magmático Mara Rosa

O Arco Magmático Goiás 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 (NPmr1), metassedimentar psamo-pelítica (NP1mr2 e NP1mr3) e metassedimentar química (NP1mr4), sendo englobada por um conjunto volumoso de ortognaisses dioríticos a tonalíticos indiferenciados (NP3γ2mr) e o ortognaisse diorítico Amarolândia (NP3γ2am) (Melo, 2006). Nesse contexto, é descrita também uma diversidade de produtos de alteração hidrotermal, agrupados em associações mineralógicas diagnósticas, incluindo rochas calssilicáticas (NP3ep) e rochas aluminosas (NP3cn).

A Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha é representante pelas unidades metamáfica-ultramáfica (NP2stg1), metassedimentar psamo-pelítica (NP2stg2) e metassedimentar química (NPstg3), com ortognaisses tonalíticos associados (NP2γ1st). O contato entre ambas as sequências é marcado pela zona de falha transpressional Amaralina.

#### 4.2.1. Unidade Metavulcanossedimentar

A unidade metavulcanossedimentar é representada pela Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa, e corresponde a aproximadamente 24% da área total do Projeto. Ocorre principalmente na porção central da área, estando presente nas Áreas III, IV, V, VI, VIII, IX, X e XI, além de parte da região adjacente, mapeada pelo Projeto de Mapeamento Geológico 2 - Mara Rosa. Esta unidade é estruturada na forma de corpos alongados, com orientação preferencial NE-SW e inflexões E-W, especialmente nas Áreas IV, V, VI e XI. É englobada pelos Ortognaisses Mara Rosa e está delimitada pelas zonas de falha Rio dos Bois, a leste, onde sobrepõe 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, representando 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 metamorfizadas em condições de fácies xisto verde superior a anfibolito, com retrometamorfismo em fácies xisto verde inferior.

#### 4.2.2. Unidade Metassedimentar

A ocorrência da Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha no contexto do Projeto Mara Rosa evidencia uma porção com baixa contribuição vulcânica, sendo classificada como 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, 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 xistos aluminosos, anfibolitos e paragnaisses, com lentes de gonditos e formações ferríferas. Em

meio ao domínio principal, encontram 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 Projeto Mara Rosa, 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 máficoultramáfica 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-quartzoclorita 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 (NP3γ3f), Leucogranitos Bom Jesus (NP3γ3l) e um corpo de rochas Metaplutônicas Máficas (NP3γ3m).

O Plúton Faina ocorre na porção oeste das áreas mapeadas e abrange as Áreas I, II, III e VI, além de parte da região adjacente, mapeada pelo Projeto de Mapeamento Geológico 2 -Mara Rosa, correspondendo a 11% da cobertura total do projeto. Está intrudido na Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha, tendo, em sua porção central um enclave de mesma natureza de suas rochas encaixantes, interpretado como um *roof pendant*. Possui uma 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 milonitica desenvolvida ao longo de toda a sua extensão. Já os Leucogranitos Bom Jesus se caracterizam por sua deformação mais desenvolvida e grau metamórfico chegando à fácies xisto verde, além de possuir uma assembleia exclusivamente granítica, enquanto as rochas Metaplutônicas Máficas são constituídas por metagabros e metahornblenditos, pouco deformados.



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

# **CAPÍTULO 5**

## 5. Litoestratigrafia e Petrografia da Área XI

Com base nos dados de campo e petrografia em laboratório, aliados aos aspectos geofísicos, fisiográficos de sensoriamento remoto já descritos, o presente capítulo aborda as características descritivas das unidades geológicas mapeadas no âmbito da Área XI do Projeto Mara Rosa. De forma geral, as unidades descritas incluem as Unidades Metavulcanossedimentar e Ortognaisses Mara Rosa.

As análises petrográficas incluíram a descrição em detalhe de 9 seções delgadas, confeccionadas a partir de amostras de mão representativas do contexto geral da área. As fichas descritivas completas podem ser encontradas no Anexo X, enquanto o mapa geológico simplificado da Área XI é visto na Figura 5.2.

## 5.1. Unidade Metavulcanossedimentar

A Unidade Metavulcanossedimentar ocupa aproximadamente 55% da Área XI, incluindo as subunidades NP1mr1 e NP1mr4, representadas por metavulcânicas máficas e metassedimentares químicas, respectivamente. Esta unidade é compreendida por uma extensa faixa de anfibolitos que se estende ao longo de toda a área, em uma disposição NE-EW, e por uma faixa anastomosada que se estende para NNE, representada, na Área XI, pelo Morro Redondo e adjacências.

Seus litotipos são recobertos por áreas de pasto e por pequenas reservas naturais, principalmente ao redor de córregos e rios, configurando-se em grande parte na Superfície de Aplainamento Regional, SRAIVC1 (fr) (Figuras 1.6 e 5.1). Já o domínio representado pelo Morro Redondo, possui vegetação preservada em um relevo residual classificado como morros e colinas (Figuras 1.6 e 5.1).

No contexto da Área XI, a Unidade Metavulcanossedimentar Mara Rosa aflora nas subunidades: (1) metavulcânica máfica, composta por anfibolitos, caracterizados por uma variedade textural e composicional em rochas ricas em anfibólio (hornblenda, actinolita, tremolita) e, (2) metassedimentar química, representada na área por gonditos e metachert intercalados entre os anfibolitos mencionados.

O domínio gamaespectrométrico é definido por tonalidades azul escuro, com porções pouco esverdeadas e de característica homogênea, caracterizando porções com alto Th e U. A

magnetometria ressalta porções fortemente anômalas que definem o contato das subunidades metavulcânica máfica e metassedimentar química com os Ortognaisses Mara Rosa.



**Figura 5.1:** Padrões de relevo observados em rochas da Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa, evidenciando a Superfície de Aplainamento Regional, em primeiro plano, e o Morro Redondo, ao fundo.



Figura 5.2: Mapa geológico simplificado da Área XI, evidenciando a localização das lâminas delgadas e minerais metamórficos índices encontrados em outros pontos.AbreviaçõesEp:Epidoto;Grt:Granada;Di:Diopsídio.

#### 5.1.1. Metavulcânicas Máficas - NP1mr1

As rochas dessa subunidade encontram-se cobertas por solos de tonalidade vermelho escuro, com perfis métricos a decamétricos de cambissolos e plintossolos pétricos concrecionários. A tonalidade desses solos, expressa por cupinzeiros e ravinas em áreas de pasto, são uma característica marcante para este pacote de rochas. A coloração vermelha escura destes solos, foi, portanto, utilizada como um dos critérios de mapeamento dessa unidade. Na porção sudeste da Área XI, estas rochas encontram-se amplamente recobertas por um platô laterítico, que aflora em cotas de aproximadamente 320m.

Os anfibolitos da Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa são representados por uma variedade de fácies de uma rocha rica em cristais de anfibólio. Ao longo de todos os afloramentos desta unidade foram observadas variações texturais e, por vezes, composicionais, apresentando mineralogia principal composta por: Hbl + Pl + Qtz  $\pm$  Cpx  $\pm$  Ep  $\pm$  Grt. As rochas em geral apresentam uma coloração escura, esverdeada a preta, e uma foliação bem definida pela textura nematoblástica predominante, com granulação de fina a grossa. No total, 5 amostras deste litotipo foram analisadas ao microscópio, sendo elas referentes aos pontos 33, 43, 45, 47 e 62, cujas composições modais são indicadas na tabela abaixo.

**Tabela 5.1.** Composição modal dos principais minerais constituintes da subunidade metavulcanica máfica das amostras laminadas. Abreviações: Am = anfibólio, Pl = plagioclásio, Qtz = quartzo, Ep = epidoto, Px = clinopiroxênio + ortopiroxênio e Grt = granada.

|            | Anf(%) | <b>Pl(%)</b> | Qtz(%) | Ep(%) | Px (%) | Grt (%) |
|------------|--------|--------------|--------|-------|--------|---------|
| TF22-XI-33 | 35     | 5            |        | 3     | 50     |         |
| TF22-XI-43 | 35     | 20           | 15     | 5     |        | 10      |
| TF22-XI-45 | 90     | 6            |        |       |        |         |
| TF22-XI-47 | 50     | 18           | 30     | 2     |        |         |
| TF22-XI-62 | 95     |              |        | 2     |        |         |

As amostras TF22-XI-43 e TF22-XI-47 são anfibolitos sendo as rochas mais representativas da subunidade Metavulcânicas Máficas. São rochas de granulação fina, aspecto maciço e coloração preta (Figura 5.3 A e Figura 5.4 A). São compostas por hornblenda (30-50%), quartzo (15-20%), plagioclásio (20-30%), epidoto e opacos, podendo ter variedades com granada. A textura predominante é nematoblástica ocorrendo bandas granoblásticas milimétricas, sendo compostas por cristais de quartzo e plagioclásio (Figuras 5.3 C e D e Figura 5.4 B).

A amostra TF22-XI-47, é composta por hornblenda (50%), quartzo (30%), plagioclásio (18%) e epidoto (2%). A textura é predominantemente nematoblástica, definida

por cristais de hornblenda com alguns domínios granoblásticos nas porções félsicas (Figura 5.3 C e D). Os cristais de quartzo e plagioclásio são predominantemente equigranular indicando porções com recristalização, além disso, nos plagioclásios os teores de anortita indicam composição andesina (An36-40). Os cristais de epidoto apresentam-se em cristais subedrais, com textura vermiforme, isto é, textura de intercrescimento de dois minerais que exibe formas vermiculares, e sempre se encontram em contato com os anfibólios, dando indícios da atuação de processos secundários (Figura 5.3 B). A paragênese dessas rochas indica metamorfismo em fácies anfibolito, com retrometamorfismo em fácies anfibolito.



**Figura 5.3:** Amostras TF22-XI-47. (A) Amostra de mão TF22-XI-47, (B) Fotomicrografia da amostra TF22-XI-47 a nicóis cruzados com cristal de epidoto vermiforme, em contato com cristais de anfibólio, (C) e (D) Aspectos texturais da amostra TF22-XI-47, textura nematoblástica com bandas granoblásticas milimétricas, na qual observa-se recristalização dos minerais como quartzo, plagioclásio e hornblenda, (C) nicóis descruzados e (D) nicóis cruzados. Abreviações: Hbl = hornblenda, Pl = plagioclásio, Qtz = quartzo, Ep = epidoto.

A amostra TF22-XI-43 apresenta uma variedade de anfibolitos com porfiroblastos de granada (Figura 5.5 A-D). Esta fácies é composta por hornblenda (35%), plagioclásio (20%), quartzo (15%), granada (10%), mica branca (10%), epidoto (5%), magnetita, ilmenita e pirita

disseminada. Os cristais de quartzo apresentam feições de migração de borda de grão, definida por contatos lobados. A migração de borda de grão é uma recristalização que ocorre de tal forma que os deslocações e limites de subgrãos são transferidos para a borda do grão em um processo que corresponde ao regime de deformação 3 cuja temperatura se dá acima de 500°C (Passchier e Trouw, 2005; Hirth e Tullis, 1992). Os epidotos ocorrem na forma euédrica e com textura vermiforme (Figura 5.4 C).

As micas brancas representam uma assembleia pouco comum para esse tipo de rocha, ocorrendo geralmente entre bandas de composição máfica. Essas micas podem surgir devido a uma contaminação das rochas em virtude de veios pegmatíticos de muscovita e quartzo que ocorrem na área com direção E-W (Figura 5.4 C).

A nucleação de granada em rochas de protólito máfico, é possível através da reação 12Czo + 15Chl + 18Qtz = 8Grs + 25Prp + 66H2O (Bucher & Grapes, 2011). Na amostra TF22-XI-43 as granadas são idiomórficas e apresentam textura em "peneira" com inclusões de magnetita e quartzo, geralmente ocorrendo em domínios granoblásticos sendo sin deformacionais (Figura 5.4 B e D). A textura em "peneira" evidencia sua formação incompleta, indicando serem formadas em um estágio progressivo do metamorfismo em fácies anfibolito em condições mais baixas.

As granadas presentes em anfibolitos também podem apresentar textura coronítica com auréolas de plagioclásio, como visto no ponto 44, indicando processo de rápida descompressão (Figura 5.4 A).

Tendo em vista que as granadas registram a imposição dos eventos deformacionais e metamórficos, podendo surgir a partir de temperaturas entre 400-450°C dependendo da pressão (Bucher & Grapes, 2011) além da evidencia de recristalização que ocorre em temperatura típica acima de 500°C (Passchier & Trouw, 2005), temos evidencia de que a rocha atingiu metamorfismo progressivo em facies anfibolito. Entretanto, a partir das texturas observadas, como epidoto vermiforme, textura coronítica e ocorrência de mica branca, verifica-se que a rocha sofreu desequilíbrio das assembléias e retrometamorfismo em fácies epidoto anfibolito.



**Figura 5.4:** Aspectos macro e microscópicos de granada anfibolito. (A) Foto tirada em escala de afloramento, evidenciando a granada com textura coronítica em anfibolito. (B) Fotomicrografia evidenciando as feições deformacionais nos cristais de quartzo e plagioclásio, em branco, apresentando contatos lobados e irregulares, a nicóis paralelos. (C) Cristais de epidoto bem formados, em contato com cristais de hornblenda. Muscovita ocorre em finas ripas em contato também com os anfibólios, à nicóis paralelos. (D) Domínio granoblástico rico em cristais de granada, mostrando também a presença de minerais opacos, dentre eles, pirita, magnetita e ilmenita, à nicóis paralelos.

Dentre as rochas designadas actinolitito e hornblendito, temos as amostras TF22-XI-45 e TF22-XI-62, estas são quase integralmente compostas por anfibólios e podem ser interpretadas como correspondentes de rochas ultramáficas. A amostra TF22-XI-45 caracteriza-se por ser composta majoritariamente por actinolita com cristais de plagioclásio intersticiais dispostos em uma textura nematoblástica (Figura 5.5 B e C), e goethita como fase acessória. Também ocorrem pequenos cristais de hornblenda entre os cristais de actinolita, podendo significar que a rocha foi submetida a condições de facies metamórfica entre epidoto anfibolito e anfibolito (Figura 5.5 D). A partir da sua assembleia composta essencialmente por minerais hidratados, pode-se dizer que seu protolito é constituído por minerais calcissilicáticos.



**Figura 5.5:** Amostras de mão e fotomicrografias da amostra 45, classificada como actinolitito da subunidade NP1mr1. (A) Amostra de mão TF22-XI-45 de granulação média, (B) e (C) Fotomicrografia da amostra TF22-XI-45, composta majoritariamente por actinolita e evidenciando textura nematoblástica a nicóis descruzados e nicóis cruzados respectivamente, (D) Cristais de hornblenda em meio a cristais de actinolita. Abreviações: Hbl = hornblenda, Act = actinolita.

A amostra TF22-XI-62 é classificada como um hornblendito, com granulação grossa e composta quase que integralmente por cristais de hornblenda (95%) em uma textura diablástica (Figura 5.6 A-B). Essa rocha aflora nas encostas do Morro Redondo, e se associa a actinolititos e tremolititos, que afloram na mesma região (Figura 5.1). Por apresentarem uma composição mais homogênea, e com variação apenas em minerais da série do anfibólio, essas rochas foram interpretadas como parte de uma sequência metavulcânica, derivada de um protolito designado Boninito, rochas vulcânicas ricas em magnésio e sílica formadas em zonas de subducção (Pearce & Arculus, 2021). Com a progressão do metamorfismo em fácies anfibolito, a mineralogia original da rocha é substituída integralmente por cristais de hornblenda, devido sua composição restrita a minerais ricos em magnésio e sílica.

us



**Figura 5.6:** Amostra de mão e fotomicrografia da amostra TF22-XI-62. (A) Amostra de mão evidenciando a granulação grossa em cristais de hornblenda. (B) Trama diablástica da amostra com cristais médios a grossos de hornblenda, à nicóis paralelos.

O ponto 33 localiza-se próximo ao contato com a subunidade dos Ortognaises Indiferenciados e nele é possível observar a foliação característica dos anfibolitos da subunidade Metavulcânicas Máficas (Figura 5.7 A). A amostra TF22-XI-33 apresenta uma variação textural marcante em relação aos outros anfibolitos analisados, caracterizada por domínios de granulação grossa e textura granoblástica e domínios de granulação fina e foliação milimétrica em uma única amostra de mão (Figura 5.4 B). A lâmina delgada confeccionada a partir dessa amostra, contemplou apenas o domínio de granulação mais grossa.

A mineralogia da rocha inclui clinopiroxênio (40%), hornblenda (35%), quartzo (10%), ortopiroxênio (10%), plagioclásio (5%), epidoto (3%) e allanita (2%) (Figura 5.7 C). Na rocha predomina textura granoblastica e localmente nematoblástica definida por cristais de clinopiroxênio e hornblenda. Também se observam feições de consumo e instabilidade em cristais de clinopiroxênio na forma de "buracos" e oxidações, podendo indicar metassomatismo. Pequenos cristais de quartzo ocorrem de forma intersticial na lâmina. Em um domínio ocorre textura reliquiar ígnea, caracterizada por cristais de plagioclásio e epidoto inclusos em cristais maiores de ortopiroxênio, que estão dispostos como uma massa, caracterizando uma textura poiquilítica (Figura 5.7 D). As feições reliquiares remetem ao protolito ígneo cuja mineralogia ainda está preservada, característica de rochas gabróicas. A lâmina é correspondente de uma faixa de granulação grossa em meio a porções de anfibolito de granulação fina. Nessa faixa, observa-se a imposição de processo metassomático em rocha ainda preservada de um protolito composto por minerais calcissilicaticos. A atuação desse

processo, provavelmente justifica-se pela proximidade com contato com ortognaisses e com as zonas de cisalhamento.



Figura 5.7: Aspectos macro e microscópicos da amostra TF22-XI-33. (A) Afloramento em corte de estrada, mostrando a foliação penetrativa da rocha; (B) Amostra de mão coletada e serrada, mostrando os diferentes domínios texturais, com porções de granulação mais grossa, onde foi realizado o corte para a lâmina petrográfica, e domínios com granulação fina e foliação milimétrica; (C) Trama de minerais principais da amostra, mostrando granulação média a grossa com cristais de clinopiroxênio, hornblenda, quartzo e epidoto, este em textura vermiforme, gerado por retrometamorfismo, à nicóis paralelos; (D) Domínio com textura poiquilítica, caracterizada por cristais largos de ortopiroxênio com inclusões de epidoto e plagioclásio, a nicóis cruzados.

Esta variação significativa em relação às texturas e mineralogia reflete o padrão heterogêneo da intercalação de rochas da subunidade NP1mr1. Essas mudanças refletem na composição dos protólitos ígneos, que são representados por basaltos, nos anfibolitos finos e por gabro/dioritos, nos anfibolitos com texturas mais grossas, como a amostra TF22-XI-33.

As rochas da subunidade NP1mr1, portanto, apresentam uma variedade de texturas refletindo diferenças marcantes nos protólitos ígneos, porém, todas mostram paragêneses primárias características de metamorfismo em fácies anfibolito, com o retrometamorfismo representado por uma paragênese secundária composta por Ep + Qtz + Ms + Hbl, que sugere retrometamorfismo para zonas inferiores da fácies anfibolito.

#### 5.1.2. Metassedimentar Química - NP1mr4

As rochas dessa subunidade ocorrem de forma restrita, intercaladas em meio ao pacote de anfibolitos, NP1mr1. A rocha mais representativa desta sequência são os gonditos, rochas provenientes do metamorfismo de sedimentos marinhos ricos em manganês, cuja composição química é sílico-manganesífera com mineralogia composta basicamente por espessartita e quartzo (Figura 5.8 D). Localmente ocorrem pequenos afloramentos com metacherts, rochas químicas constituídas por sílica microcristalina originadas a partir da diagênese e metamorfismo de material silicoso (Figura 5.8 E).

Os afloramentos destas rochas ocorrem em blocos rolados e em pequenos lajedos em meio aos pastos (Figura 5.8 A-B) No cenário da Área XI esta subunidade localiza-se, em escala mapeável, nas encostas do Morro Redondo. Outros pequenos afloramentos foram observados em meio aos anfibolitos que recobrem maior parte da área, porém estes litotipos não foram representados no mapa por se tratar de apenas pequenos afloramentos, sem continuidade lateral.

Os gonditos apresentam-se em rochas de coloração cinza escuro, com aspecto maciço e alta densidade (Figura 5.8 C-D). Para confirmação e identificação deste litotipo, foi utilizada, em campo, água oxigenada, que, em reação com os óxidos de manganês, liberam oxigênio gerando um efeito de efervescência perceptível. Poucos blocos de xisto grafitoso foram encontrados em associação com estas rochas.



**Figura 5.8:** Aspectos gerais dos gonditos e cherts observados na Área XI. (A) Afloramento de gondito observado em meio a área de pasto. (B) Afloramento de metachert em blocos rolados. (C) Amostra de gondito, evidenciando sua estrutura maciça e bandamento incipiente. (D) Domínio rico em granada espessartita, em gondito (E) Amostra de chert, evidenciando textura microcristalina rica em sílica.

## 5.2. Ortognaisses Mara Rosa

Os Ortognaisses Mara Rosa ocupam aproximadamente 45% da Área XI, sendo representados pela subunidade NP3y2mr, constituída por ortognaisses de variação composicional tonalítica a diorítica indiferenciados. Esta unidade é compreendida por duas faixas que fazem contato com rochas da subunidade de Anfibolitos (NP1mr1), tanto na porção sudoeste da área quanto a norte englobando hornblenditos, actinolititos e tremolititos que ocorrem no Morro Redondo (Figura 5.2).

Os afloramentos ocorrem na forma de lajedos em canais de drenagem, como blocos in situ em meio ao pasto, e quando não ocorrem afloramentos predominam perfis de solo de cor rosada a esbranquiçada, de aspecto mais homogêneo quando comparados aos solos que recobrem os anfibolitos (Figura 5.9).

Os ortognaisses também caracterizam zonas de maior deformação dúctil com assimilação de rochas, resultando em afloramentos com intercalações de anfibolito e

ortognaisse, ortognaisses bandados, segregações quartzosas, milonitização e existência de enclaves de anfibolitos em ortognaisses.

No mapa gamaespectrométrico identifica-se porções de ocorrência de ortognaisses reunidas em domínios de tons mais rosados e magenta e domínios de tons azul ciano. Tons de azul ciano evidenciam composições mais enriquecidas em Th e U, e tons rosados ou magenta ressaltam enriquecimento de K e U, podendo evidenciar porcentagens modais com incremento de feldspato alcalino.

No contexto da Área XI afloram ortognaisses dioríticos, biotita ortognaisses tonalíticos, granada biotita ortognaisse tonalítico, hornblenda ortognaisse tonalítico e metatonalito.



Figura 5.9: Afloramentos de ortognaisse. (A) Blocos in situ em meio ao pasto e (B) Lajedo em canal de drenagem do Rio Formiga.

#### 5.2.1. Ortognaisses indiferenciados - NP3y2mr

De maneira geral, os ortognaisses são rochas de granulação variada, de tonalidade clara, constituídos essencialmente de plagioclásio, quartzo, biotita e hornblenda podendo ser bandados caracterizando domínios de textura granoblástica com domínios lepidoblásticos e nematoblásticos ou isotrópicos de textura granoblástica.

Os ortognaisses têm composição tonalítica a diorítica, cuja ocorrência é demonstrada na figura 5.2. Os dominios de variação composicional foram definidos a partir da composição modal das rochas descritas em campo. Os ortognaisses apresentam variedades enriquecidas em biotita ou granada-biotita com imposição de metamorfismo dinâmico, isto é, metamorfismo causado quando um esforço desviatório resulta em deformação e recristalização (Winter, 2014), em fácies epidoto-anfibolito a anfibolito. No total, 4 amostras deste litotipo foram analisadas ao microscópio, sendo elas referentes aos pontos 31, 64 e 72, onde no ponto 72 foram feitas duas amostragens (TF22-XI-72A e TF22-XI-72B) em razão da diferença de granulação e textura.

|                   | 3 0                           | 1 0 1       |
|-------------------|-------------------------------|-------------|
| Porcentagem modal | Classificação                 | Exemplos    |
| >10% Qtz*         | Ortognaisse Quartzo Diorítico | TF22-XI-15; |
|                   |                               | TF-XI-60;   |
|                   |                               | TF22-XI-72A |
| <10% Qtz*         | Ortognaisse Tonalítico        | TF22-XI-64; |
|                   |                               | TF22-XI-31; |
|                   |                               | TF22-XI-72B |

| Tabela 5.2: Critério | de classificação d | le ortognaisses de ac | ordo com porcentagem | modal de quartzo. |
|----------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|-------------------|
|                      |                    |                       |                      |                   |

\*valor normalizado

O afloramento do ponto 31, consiste de um clássico afloramento de uma Sequência Metavulcanossedimentar, em que observa-se acamamento vulcanossedimentar definido por camadas leucocráticas e granulação média a fina intercalado com camadas melanocráticas de granulação fina constituída por anfibolito (Figura 5.10 A e B). As porções leucocráticas são caracterizadas por bandas constituídas por hornblenda, biotita, quartzo, plagioclásio e epidoto e bandas constituídas majoritariamente por quartzo e plagioclásio (Figura 5.10 B).



**Figura 5.10:** Afloramento do ponto *TF22-XI-*31 representante da Sequência Metavulcanossedimentar a qual exibe acamamento vulcanossedimentar (A) cujas bandas constituem-se de rochas vulcânicas félsicas (de cores mais claras e granulometria mais grossa) intercaladas com rochas vulcânicas máficas representada por anfibolito (de cor mais escura e granulometria fina) cuja amostra TF22-XI-31 corresponde a porção félsica de hornblenda gnaisse tonalítico.

A lâmina TF22-XI-31 possui granulação média constituída por quartzo (35%), plagioclásio (30%), hornblenda (25%) e acessórios epidoto, rutilo, titanita e opacos. Apresenta uma matriz granoblástica com cristais de plagioclásio e quartzo subedrais e domínios nematoblásticos espaçados definidos por cristais de hornblenda (Figura 5.11 A e C). Os cristais de plagioclásio apresentam composição de andesina (An40) e os cristais de quartzo apresentam feições deformacionais representadas pelo processo de migração de borda de grãos que indica recristalização assim como a extinção ondulante (Figura 5.11 B e D). Os epidotos são raros e ocorrem como cristais pequenos em contato com a hornblenda. A paragênese metamórfica da rocha,  $Qtz + Hbl + Pl \pm Ep$ , indica deformação em facies anfibolito inferior. A associação Hbl + Ep, apesar de ser indicativo de fácies epidoto anfibolito, é rara. Além disso, feições de recristalização presente majoritariamente na rocha, acusam a ocorrência de fácies anfibolito inferior. A rocha é enriquecida em quartzo podendo ser definido um protólito tonalito/quartzo-granitóide.



**Figura 5.11:** Amostra de mão e fotomicrografias da amostra TF22-XI-31. (A) Amostra de mão de hornblenda gnaisse tonalítico de textura granular, (B) Domínio com recristalização de quartzo (tracejado), (C) Domínios nematoblásticos espaçados compostos por hornblendas (nicóis descruzados) e (D) Migração de borda de grãos em cristais de quartzo (nicóis cruzados).

O afloramento do ponto 64, localizado na porção central dessa unidade, caracteriza um aspecto isotrópico do ortognaisse em que localmente é possível observar domínios milimétricos enriquecidos com biotita, mas que não definem um bandamento composicional na rocha.

Ao microscópio, a lâmina TF22-XI-64 é composta por quartzo (35%), plagioclásio (25%), hornblenda (20%), biotita (15%), epidoto (15%), apatita e de opaco ilmenita com exsolução de hematita. Possui granulação grossa exibe e uma textura nematoblastica/lepidoblastica definida por hornblenda e biotita que resulta em um bandamento incipiente, observando-se domínios máficos e félsicos (Figura 5.12). Nos domínios máficos é comum a ocorrência de epidoto euédrico que possui características cores de interferência alta, exibindo contatos poligonais (Figura 5.12 B e C e Figura 5.13 C e D). A hornblenda exibe textura idioblástica com contatos irregulares e inclusões de quartzo (Figura 5.13 A, C, D). Nos domínios félsicos, observa-se contatos irregulares, típico de textura ígnea e ocorrência de muscovita entre cristais de quartzo e plagioclásio o que indicaria sua origem hidrotermal (Figura 5.13 B). Os cristais de quartzo são pequenos, enquanto os cristais de plagioclásio são maiores exibindo maclas polissintéticas apresentando composição de andesina com teor próximo a An40 e maclas deformacionais (Figura 5.12B). A paragênese da rocha é Qtz + Hbl + Pl + Ep + Bt, indicando a associação de Hbl + Ep, sem feições de reação, definindo, portanto, deformação em facie epidoto anfibolito, cujo protolito é um tonalito.



**Figura 5.12:** Amostra de mão (A) e fotomicrografia da amostra TF22-XI-64 de biotita gnaisse tonalítico evidenciando bandamento incipiente definido por cristais de biotita e hornblenda e ocorrência de epidoto euédrico associado a esses domínios máficos. (B) Nicóis descruzados, (C) Nicóis cruzados.



**Figura 5.13:** Fotomicrografias da amostra TF22-XI-64 de biotita gnaisse tonalítico. (A) Hornblenda idioblástica com contatos irregulares. (B) Muscovita hidrotermal entre cristais de plagioclásio e quartzo e cristal de plagiclásio com maclamento deformacional na borda. (C e D) Domínio máfico com hornblenda com inclusões de quartzo, epidoto e biotita, em C nicóis descruzados e em D nicóis cruzados.

Do afloramento do ponto 72, localizado na porção sudoeste da Área XI, foram feitas duas amostragens que representassem o afloramento como um todo. Neste afloramento é possível observar um núcleo isotrópico delimitado por esfoliação esferoidal nas bordas e ao redor granada biotita gnaisse tonalítico foliado (Figura 5.14). Na extensão desse afloramento, ocorre metatonalito (TF22-XI-72B) e granada biotita gnaisse tonalítico (TF22-XI-72A), constituídos por granada, biotita, hornblenda, quartzo, plagioclásio, muscovita e sulfetos. Nos gnaisses desse afloramento ocorre sulfetação e magnetização, com bandamento definido por cristais médios a grossos de biotita e granada em que se observam feições de estiramento e rotação dos porfiroblastos de granada; bandas enriquecidas em quartzo, plagioclásio e sulfetos; bandas milimétricas com magnetização e bandas de aspecto mais uniforme e textura granoblástica.



**Figura 5.14:** Afloramento do ponto 72 evidenciando núcleo isotrópico com esfoliação esferoidal o qual tem ocorrência de biotita e granada nas suas bordas (A) e granada biotita gnaisse foliado nas imediações desse núcleo com dobras assimétricas (B).

A amostra TF22-XI-72B representa uma porção mais uniforme do afloramento do ponto 72, com textura granular e granulação média (Figura 5.15A). Na análise ao microscópio observa-se predomínio de textura ígnea reliquiar definida por contatos irregulares entre os minerais. Constitui-se de hornblenda (38%), plagioclásio (30%), quartzo (19%), epidoto (4%), biotita (4%), microclínio (3%) e muscovita (2%).

As hornblendas contém inclusões de quartzo e contatos irregulares mostrando associação com biotitas alteradas (caracterizadas pela ausência de pleocroísmo e cor de interferência alta com aspecto mosqueado) e epidoto de hábito euédrico e com manchas amarronzadas na superfície e cores de interferência que variam de um amarelo/cinza a rosa/azul (Figura 5.15C). Os cristais de plagioclásio possuem teores de anortita de aproximadamente An45 (andesina) e granulação variada, enquanto os cristais de quartzo são equidimensionais (Figura 5.15D). As muscovitas são raras e ocorrem como cristais de tamanho médio de até 1 cm (Figura 5.15E). Os cristais de feldspato potássico são raros e ocorrem intersticialmente, com maclas do tipo xadrez característicos de composição microclínio. As feições de deformação incluem quartzos recristalizados com extinção ondulante (Figura 5.15F).

A composição modal dessa rocha indica uma composição de protolito granodioritico/tonalítico, com duas paragêneses metamórficas a primeira definida por Hbl +  $Qtz + Bt + Pl \pm Kfs \pm Ms$  e a segunda paragênese de retrometamorfismo para fácies epidoto anfibolito definida pela associação de hornblenda e epidoto, confirmada pela hidratação de

hornblendas que resulta em cristais de biotita alteradas e epidoto. Por fim, a rocha foi classificada como um Metatonalito.



**Figura 5.15**: Aspectos macro e microscópicos da amostra TF22-XI-72B. (A) Amostra de mão sem gnaissificação, (B) Textura reliquiar ignea definida por contatos irregulares e lobados, (C) Cristais de epidoto e biotita retrometamórficos em nicóis descruzados, (D) Plagioclásios maclados de granulação variada em nicóis cruzados, (E) Cristal de muscovita ao centro e contatos irregulares de hornblendas com inclusões de quartzo em nicóis descruzados. (F) Cristais de quartzo incipientes recristalizados nicóis cruzados.

A amostra TF22-XI-72A possui bandamento composicional com dois domínios principais, um deles mais homogêneo e de granulação média a fina e outro domínio de granulação grossa com cristais de biotita e granada mais desenvolvidas (Figura 5.16A). A lâmina TF22-XI-72A possui uma granulação grossa, com texturas granoblástica em domínios félsicos e textura nematoblástica e lepidoblástica em domínios máficos, com texturas ígneas reliquiares.

Constitui-se de plagioclásio (40%), hornblenda (18%), quartzo (10%), biotita (10%), muscovita (2%), granada (5%), microclínio (3%) e acessórios zircão e clorita e de opacos, sendo eles magnetita, calcopirita e pirita. Os domínios máficos se caracterizam pela presença de biotitas, hornblendas e granadas (Figura 5.16B). As biotitas são comuns exibindo cores de interferência com aspecto mosqueado e inclusões de zircão, os quais alguns, mostram característico halo pleocróico. As biotitas estão associadas a hornblendas, definindo a textura nematoblástica e lepidoblástica da rocha, apresentando contatos retos e cor verde escura. As granadas são de tamanho grande de aproximadamente 1 cm, sendo, portanto, porfiroblastos de granada rotacionadas e caracterizadas por serem sin-deformacionais (Figura 5.17A). Nas sombras de pressão dos porfiroblastos de granada é comum a presença de clorita e minerais opacos, assim como nas foliações definidas pelas biotitas (Figura 5.16B). Os minerais opacos consistem em cristais de calcopirita associados com pirita e magnetita (Figura 5.16E), comumente como cristais isolados subédricos ou cristais prismáticos segundo a foliação (Figura 5.16F).

Nos domínios félsicos onde predomina uma textura granoblástica é possível observar feições deformacionais tais como cristais de quartzo recristalizados com migração de borda de grão (Figura 5.17C) e cristais de muscovita hidrotermais localizadas entre contatos minerais de quartzo (Figura 5.17D) e plagioclásio e inclusas em quartzo formando feições que registram a rotação de quartzo (Figura 5.17B). O epidoto ocorre tanto de forma disseminada como incluso em biotita, comumente nos domínios máficos (Figura 5.16C). No domínio félsico ocorrem cristais de quartzo com extinção ondulante, plagioclásios com maclas polissintéticas com teor de anortita de aproximadamente An42 (andesina) e microclínios de tamanho médio e contatos irregulares (Figura 5.16D).


**Figura 5.16:** Aspectos macro e microscópicos da amostra TF22-XI-72A. (A) Amostra de mão com gnaissificação, (B) Cristais de granada euédricos e clorita associada, (C) Cristal de epidoto associado a dominio lepidoblástico com cristais de biotita, (D) Microclínio com contato irregular com cristais de biotita, hornblenda e muscovitas rodeando, (E) Associação calcopirita e pirita, (F) Magnetita segundo foliações.



**Figura 5.17:** Feições deformacionais presentes na *lâmina TF*22-XI-72A. (A) Granada sin-deformacional (B) Cristal de quartzo rotacionado com muscovitas indicando movimento, (C) Cristais de quartzo recristalizados em meio a textura granoblástica; (D) Recristalização ao longo do contato entre grãos com ocorrência de muscovita.

A paragênese metamórfica da rocha indica deformação em fácies anfibolito (Hbl + Qtz + Pl + Kfs + Bt + Grt) onde o aparecimento de granada é reflexo do incremento metamórfico, com condições de formação entre 400-450°C (Winter, 2001, Bucher & Grapes, 2011), e a existência de muscovita desenvolvida entre cristais associada à porções recristalizadas indicaria sua provável origem hidrotermal, além da extensa ocorrência de sulfetos. A rocha é um granada biotita gnaisse diorítico.

Os ortognaisses possuem grande variação tanto textural e granulométrica quanto composicional, sendo predominantemente representantes de protolitos majoritariamente tonalíticos a quartzo-dioríticos como pode observar no diagrama QAP construído com a composição modal de amostras coletadas em campo (Figura 5.18).

# Diagrama QAP



**Figura 5.18:** Diagrama QAP (Streckeisen) com normativas modais de amostras de mão de ortognaisses da Área XI.

# **CAPÍTULO 6**

# 6. Geologia Estrutural

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

# 6.1. Domínios Estruturais do Projeto Mara Rosa

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

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

O Domínio Campinorte apresenta corredores deformacionais intensos, com direção N-S e inflexão NE-SW, seccionado por deformação E-W e sua porção norte. Esta configuração indica uma sobreposição de eventos deformacionais paleo (N-S) a neoproterozoicos (NE-SW e E-W), permitindo elencar o Domínio Campinorte como indicativo do episódio deformacional  $E_1$  da região. Já os Domínios Mara Rosa e Transbrasiliano são controlados por deformação NE-SW, relacionada à tectônica brasiliana, representando o episódio  $E_2$ . Por fim, o Domínio Bom Jesus rotaciona as estruturas NE-SW resultando em formas sigmoides.



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

do Domínio Mara Rosa de maneira dextral, conferindo comportamento sigmoidal à orientação regional, que varia de NE-SW a E-W, evidenciando o evento transbrasiliano, caracterizando o episódio  $E_3$ . A seguir, serão detalhadas as características descritivas regionais de cada um dos domínios.

#### 6.1.1. Domínio Campinorte

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

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 centro-norte. A relação entre ambas se dá pela predominância da foliação NE-SW, com as demais direções subordinadas, associadas à inflexão regional observada na zona de falha Rio dos Bois e aos corredores de cisalhamento N-S (Figura 6.1).

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

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

Por fim, o *trend* E-W, de ocorrência local, encontra-se evidenciado na porção 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 25° a 35° para o quadrante NW.

O estereograma de foliação referente a este domínio (Figura 6.2A) evidencia as três principais direções de foliação, ambas com mergulho moderado, variando em maioria entre 45° e 60°. Já o estereograma de lineações (Figura 6.2B) demonstra os caimentos destas feições em baixo ângulo para norte.



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

#### 6.1.2. Domínio Mara Rosa

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

As foliações do Domínio Mara Rosa são de natureza diversa, marcadas por foliação milonítica, bandamento composicional, xistosidade e orientação de minerais prismáticos. Apresentam duas direções preferenciais: (i) NE-SW, predominante em sua porção oeste, e (ii) N-S, de ocorrência subordinada e com maior expressão a leste, nas proximidades da falha Rio

dos Bois. As foliações de direção NE-SW possuem mergulho entre 30-60° para NW, enquanto e as foliações N-S apresentam mergulhos acima de 60° (Figura 6.3A). Já suas lineações apresentam direções variadas, com maiores tendências de caimentos em baixos ângulos para SW e, em menor quantidade, para NW, especialmente em sua porção oeste, associadas aos litotipos da Sequência Santa Terezinha.



**Figura 6.3:** Estereogramas associados ao Domínio Mara Rosa. (A) Contornos de probabilidade relativos aos polos das foliações, destacando a presença das duas direções preferenciais NE-SW e N-S. (B) Representação das medidas de lineação, destacando sua grande variabilidade, com caimentos preferenciais para SW e NW.

#### 6.1.3. Domínio Transbrasiliano

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

Suas foliações são marcadas predominantemente por xistosidade, com bandamento composicional subordinado. As foliações estão associadas a lineações de estiramento frontais, com caimento entre 20° e 70° para NW, aproximadamente (Figura 6.4B). Localmente, notase a ocorrência de planos de foliação NE-SW com alto ângulo de mergulho, associados aos corredores de cisalhamento transpressivas característicos deste domínio. Estes corredores deformacionais são intensamente condicionados pela estruturação do lineamento transpressiliano, incluindo zonas de cisalhamento como Vargem Grande.



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

#### 6.1.4. Domínio Bom Jesus

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

As foliações deste domínio são definidas por bandamentos composicionais, xistosidade e orientação de minerais prismáticos, apresentando duas direções preferenciais, em acordo com sua geometria regional, sendo uma direção (i) NE-SW, e a outra (ii) E-W, ambas com mergulho variando entre 30° e 60° para NW (Figura 6.5A). Tendo em vista a quantidade de atitudes levantadas em campo, bem como o caráter gradual de variação da direção destas estruturas, nota-se uma única concentração preferencial de polos para o estereograma elaborado. Entretanto, seus extremos abarcam, com densidade significativa, direções variando de E-W até NNE-SSW, com mergulhos entre cerca de 20° e 80°, refletindo a variabilidade deste domínio, evidente na Figura 6.1.

Já as lineações associadas o domínio Bom Jesus exibem caimento preferencial de baixo ângulo para NE e N, com dispersões moderadas para SE, E e NW (Figura 6.5B), podendo estar associadas aos corredores de cisalhamento, considerando a intensa deformação

transcorrente e sigmoidal deste domínio. Estas feições se apresentam, predominantemente, de forma oblíqua às foliações observadas, porém, por vezes, ocorrem de maneira frontal, especialmente nas regiões onde o domínio assume geometria E-W.



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

# 6.2. Arcabouço Estrutural da Área XI

A estruturação da Área XI é compreendida pelos domínios estruturais Bom Jesus e Mara Rosa, definidos para o Projeto Mara Rosa. No geral, a área apresenta arcabouço dúctil predominante, com a presença de foliações bem desenvolvidas, dobras assimétricas, bandamento gnáissico, lineações de estiramento mineral e feições de migmatização e milonitização. O *trend* estrutural da área apresenta direções NE-SW nas porções leste e E-W nas porções oeste, apresentando uma inflexão contínua da foliação entre essas duas direções principais (Figura 6.1).

No cenário da Área XI, é difícil distinguir diferenças significativas entre os dois domínios caracterizados, ao passo que esta caracterização dos domínios se deu em escala regional. Portanto, no âmbito da área, os dados adquiridos serão tratados, ocasionalmente, como pertencentes a um único domínio estrutural.

A seguir, serão descritas as principais estruturas observadas na Área XI, separando-as de acordo com seu caráter dúctil ou rúptil. Esta descrição visa a caracterização e interpretação geral do comportamento estrutural das unidades observadas em campo. Posteriormente, será apresentado uma proposta para a evolução estrutural da área, definindo as fases deformacionais responsáveis pela formação de cada elemento das geometrias observadas.

# 6.3. Arcabouço Estrutural Dúctil

#### 6.3.1. Foliações

No padrão geral dos afloramentos, uma foliação Sn penetrativa foi bem caracterizada, com mergulhos para NNW, e caimentos de 30° a 60° (Figura 6.1). Nos anfibolitos, esta foliação (Sn) se apresentou de forma difusa, sendo definida por cristais de anfibólio em textura nematoblástica, e, domínios granoblásticos finos, com plagioclásio, epidoto e quartzo subordinado. Já nos ortognaisses, a foliação principal (Sn) observada foi o bandamento gnáissico, caracterizado por domínios granoblásticos (Qtz + Pl  $\pm$  KF) separados por domínios nematolepidoblásticos ricos em anfibólio, biotita e muscovita, que definem a foliação.

Localmente, foram observadas rochas com mais de uma direção de foliação, caracterizando um  $S_{n+1}$ . Em anfibolitos ocorrem dobras suaves a isoclinais em escala de afloramento. Um padrão complexo de dobras, relacionado ao regime de fusão parcial perpassado por essas rochas, foi observado em afloramentos de ortognaisse, com feições migmatíticas localmente. É comum a presença de veios de quartzo intrafoliais, bem como o desenvolvimento de segregações quartzosas, milimétricas a subcentimétricas, paralelas ou truncando a foliação Sn.

No âmbito da Área XI, o padrão de foliações observadas nos domínios estruturais Mara Rosa e Bom Jesus é semelhante, apresentando medidas seguindo o *trend* NE-SW e E-W, com mergulhos para NNW (Figura 6.8). No estereograma referente ao Domínio Mara Rosa, os contornos apresentam maior dispersão, refletindo em medidas com maior variância, além de uma concentração anômala de foliações com mergulhos para NE, referentes a uma dobra sinforme regional, representada pela região do Morro Redondo (Figura 6.6).



**Figura 6.6:** Detalhe para a foliação Sn em escala de afloramento. (A) Foliação em anfibolito, com caráter difuso e milimétrico. (B) Bandamento gnáissico em ortognaisse tonalítico, com foliação definida por domínios lepidonematoblásticos.



Figura 6.7: Mapa estrutural da Área XI, evidenciando as medidas coletadas em mapa magnetométrico (1Dz).



**Figura 6.8:** Estereogramas com densidade de pólos referentes aos planos de foliação da Área XI. (A) Estereograma de foliações do Domínio Mara Rosa, no cenário da Área XI, com predominância de mergulhos para NW, com caimentos de 30° a 60°, e algumas medidas com mergulhos para NE, referente a dobramentos localizados. (B) Estereograma de foliações do Domínio Bom Jesus, no cenário da Área XI, com predominância de mergulhos para NNW, com caimentos de 30° a 60°.

#### 6.3.2. Lineações

Entre as estruturas lineares presentes na Área XI, foram descritas lineações de estiramento mineral (Ln) e lineações de interseção (Li), sendo que essas feições foram mais facilmente reconhecidas em afloramentos de ortognaisses (Figura 6.9).

A lineação de estiramento (Ln) caracteriza-se pelo estiramento de cristais de hornblenda, nos anfibolitos, e pelo estiramento de domínios quartzo-feldspáticos, nos ortognaisses. A lineação de interseção (Li) corresponde a interseção entre duas direções de foliação, tendo sido observada em poucos afloramentos.

As medidas de lineação apresentaram, majoritariamente, direções oblíquas à foliação, com dois contornos bem definidos no estereograma da Figura 6.10, sendo um deles com sentidos de caimento em torno de 300°, e caimentos entre 20° e 45°, e o outro mostrando sentidos variados de caimento para NE, com caimentos entre 3° e 30°.

Localmente, foram observadas medidas com sentido de caimento ENE e caimentos de alto ângulo, relacionadas a uma possível zona de cisalhamento de direção NW-SE, que ocorre próxima à borda oeste do Morro Redondo, porém com poucas evidências de campo para ser representada no mapa. Lineações com sentido W, também foram observadas, neste caso, encontrando-se paralelas à direção de foliação em ortognaisses miloníticos, localizados na Zona de Cisalhamento Amaralina referente ao contato dos Ortognaisses Mara Rosa, com a Sequência Santa Terezinha, no vértice superior da Área XI, atravessando até a Área XII do Projeto Mara Rosa (Figura 6.9C).



**Figura 6.9:** Aspectos gerais das lineações, em escala de afloramento. (A) Lineação de estiramento mineral em ortognaisse; (B) Lineação de estiramento mineral em ortognaisse, com a mesma direção observada em (A); (C) Lineação de estiramento mineral paralela ao plano, em ortognaisse milonítico.



Figura 6.10: Estereograma com pólos e densidades das medidas de lineação da Área XI.

### 6.3.3. Dobras

Um padrão de dobras ocorre de forma heterogênea ao longo da Área XI. Em ortognaisses, são representadas por dobras assimétricas com vergência para SSE (Figura 6.11A), em sua maioria, além de um padrão dobras isoclinais recumbentes, em afloramentos com feições migmatíticas (Figura 6.11B). Em anfibolitos, estas dobras ocorrem em escala de afloramento, caracterizadas por dobras de arrasto (Figura 6.11C-D), e por dobras suaves, com planos axiais na direção NE-SW. As dobras suaves foram identificadas em afloramentos da porção SE da área, representadas por uma estrutura de dobramentos regionais, que foi evidenciada na Figura 6.12.

A dobra observada na Figura 6.13 encontra-se em um afloramento de ortognaisse, referente ao ponto TF22-XI-51, e apresenta uma dobra assimétrica característica para o padrão estrutural da área. Esta apresenta eixo com sentido de caimento E, refletindo uma direção de tensores de encurtamento N-S, que pode estar relacionado à disposição do *trend* E-W das rochas da porção oeste da Área XI.



**Figura 6.11:** Aspectos gerais das dobras observadas na Área XI. (A) Dobra assimétrica em ortognaisse, com vergência para SSE; (B) Dobras isoclinais recumbentes, em ortognasse migmatítico; (C) Dobras de arrasto em anfibolito.



Figura 6.12: Detalhe para os dobramentos suaves regionais localizados na porção sudeste da Área XI. Essas estruturas são representadas, no mapa magnetométrico (GHT), por cristas de direção NE-SW relacionadas ao eixo da estrutura. No estereograma é possível perceber o caráter suave do dobramento, com flancos com mergulhos de, aproximadamente, 30° para NW e SE.



**Figura 6.13:** Dobra observada no ponto TF22-XI-51, referente a um ortognaisse. (A) Dobra em escala de afloramento; (B) Representação esquemática desta dobra, com medidas de flancos e eixos, e estereograma mostrando a disposição espacial da estrutura.

# 6.4. Arcabouço Estrutural Rúptil

Para as estruturas do arcabouço rúptil infere-se uma gênese mais recente, na qual a deformação ocorreu em um regime crustal mais raso e próximo à superfície. Estes elementos, representados na Área XI principalmente por duas famílias principais de fraturas, são caracterizados por truncar os demais elementos de trama dúctil.

Na área de estudo as fraturas caracterizam-se, em sua maioria, por juntas de alívio. Veios e vênulas de quartzo milimétricos a centimétricos, foram reportados ao longo de toda a área, principalmente, nos ortognaisses. As fraturas apresentaram-se em três famílias principais, uma com direção N-S, e outra com direção N60E, cruzando-se a aproximadamente 60°, e a última com direção N50W. Estas encontram-se com espaçamento variando de poucos centímetros até alguns metros (Figura. 6.14). Na Figura 6.15, pode-se notar a forte influência da direção NE-SW, tanto nos alinhamentos estruturais (extraídos com auxílio de dados SRTM), quanto nos lineamentos de drenagem. Outra direção com expressão nos dados remotos, foi o *trend* NW-SE, que é mais bem representado em lineamentos de drenagem.



**Figura 6.14:** Fotografia de afloramento representando as principais direções de fraturas, sendo elas N (verde), NE (azul), NW (vermelho), respectivamente.



Figura 6.15: Mapa de estruturas rúpteis, evidenciando lineamentos de drenagem e alinhamentos estruturais, extraídos com auxílio de dados SRTM.

A Figura 6.16 apresenta o diagrama de rosetas referentes aos dados coletados em campo, considerando juntas e veios. Duas famílias são evidenciadas em tal diagrama, sendo elas N-S e N50W. A direção NE, bem caracterizada no mapa da Figura 6.15, não possui expressão nas medidas coletadas em campo, pois esta direção está ligada a juntas direcionais, ou seja, paralelas aos planos de foliação.

Algumas fraturas observadas na porção sudoeste da área apresentam-se preenchidas por um material pegmatítico, composto por cristais grossos de quartzo e muscovita, assim como turmalina, observada apenas em blocos soltos.



Figura 6.16: Diagrama de rosetas com dados de fraturas coletados em campo, evidenciando as principais direções observadas na Área XI.

# 6.5. Considerações Estruturais

Os contatos definidos entre as unidades mapeadas na Área XI são representados por zonas de cisalhamento transpressionais dextrais, sendo elas as Zonas de Cisalhamento Rio Formiga, Bom Jesus e a última mais a norte da área, no contato entre anfibolitos do Morro Redondo, e ortognaisses em sua base (Figura. 6.7). Estas estruturas apresentam comportamento dúctil-rúptil, além de possuir um componente dextral, definido em outras áreas do Projeto Mara Rosa. A continuidade dessas zonas, se dá nas áreas VIII, III, IV, V e VI, e, ao adentrar na Área XI ocorre uma junção e inflexão para E-W dessas zonas de cisalhamento.

Na maior parte da área de estudo, os contatos são dados por variações gradacionais entre as litologias. Isso acontece devido a dispersão espacial destas estruturas de cisalhamento, formando zonas de aspecto composicional e estrutural entrelaçado, com características tanto de anfibolitos, quanto de ortognaisses. A Figura 6.17 trata-se de um corte de estrada localizado no contato entre anfibolitos e ortognaisses localizado na porção SW da Área XI. Neste afloramento é possível notar a presença de contatos do tipo gradacional e abrupto, além de uma superfície de empurrão, localizada mais a sul da seção.

Os dobramentos observados ao longo da área de estudo estão em concordância com estudos prévios na região, como o mapeamento do depósito de Chapada Cu-Au, de Oliveira et al. (2016), que descrevem dobras assimétricas com vergência para E/SE, além de dobras suaves com eixos E-W, formadas em uma fase deformacional posterior. Estas estruturas regionais controlam a geometria do depósito e estão relacionadas aos eventos de remobilização de sulfetos e cristalização de epidoto e carbonatos idiomórficos nas rochas encaixantes.



Figura 6.17: Perfil esquemático em seção observada em corte de estrada (Ponto TF22-XI-06), evidenciando os diferentes tipos de relação entre anfibolitos (verde) e ortognaisses (rosa), ao longo da de contato, da forma abruptos, enclaves intercalações. zona contatos como e

## 6.6. Evolução Estrutural

Segundo Fossen *et al.* (2019), a análise estrutural de regiões com deformação complexa deve considerar todo o conjunto de estruturas, separando-as em fácies estruturais que contém estruturas associadas ao mesmo tipo de evento deformacional ou sequência de eventos. Portanto, as geometrias apresentadas anteriormente serão relacionadas a uma sequência de fases deformacionais, em busca de entender a evolução estrutural da área.

O contexto tectono-estrutural da Área XI compreende um regime deformacional dúctil, sob condições metamórficas de fácies anfibolito, que se desenvolveu em uma tectônica transpressional regional, com transporte para ESE. A estruturação E-W e NE da área é um registro desta tectônica progressiva, podendo ser compartimentada em diferentes eventos, que registram diferentes momentos de geração de estruturas.

O primeiro evento ( $E_1$ ) relaciona-se a uma tectônica contracional, de caráter dúctil, sob condições de fácies anfibolito, que atuou na formação do *trend* regional de foliações NE-SW ( $D_1$ ). Este evento está relacionado a uma deformação brasiliana, sendo representada na área, pela predominância de direções NE-SW nas medidas de foliação, principalmente na porção leste. As dobras isoclinais recumbentes e assimétricas com vergência para SE, representadas nas Figuras 6.11A e 6.11B, também se enquadram neste evento deformacional, tendo sido formadas principalmente pelo caráter dúctil do transporte de NW para SE.

O segundo evento ( $E_2$ ) está relacionado a uma deformação dúctil, sob condições retrometamórficas na fácies xisto verde. Este apresenta tectônica predominantemente transpressional, e está ligado à formação de uma foliação Sn+1 e lineações de estiramento e interseção associadas, bem como a formação das dobras de arrasto observadas na área ( $D_2$ ).

O terceiro evento ( $E_3$ ) está relacionado a uma deformação tardi a pós-brasiliana, de natureza dúctil-rúptil e metamorfismo em fácies xisto verde, que, a partir do desenvolvimento das zonas de cisalhamento dextral, rotaciona as estruturas formadas em  $E_1$  ( $D_3$ ). A foliação NE-SW é reorientada para E-W neste evento, caracterizando a estruturação mais bem registrada da Área XI. Além disso, durante este evento são gerados os dobramentos suaves regionais representados na Figura 6.12.

O quarto e último evento registrado  $(E_4)$ , está relacionado a uma deformação fanerozoica, de caráter rúptil, e sem metamorfismo associado. Este evento é responsável pela formação de estruturas rúpteis tardias, representadas pelo conjunto de fraturas observadas na área.

A tectônica de eventos brasilianos apresentada é relacionada a uma deformação progressiva ao longo do tempo geológico, de forma que as mudanças de tensores e de comportamento deformacional ocorrem de maneira sutil e contínua. Os três primeiros eventos ( $E_1$ ,  $E_2$  e  $E_3$ ) são descritos, portanto, em um regime de tectônica progressiva, enquanto o evento  $E_4$  é caracterizado por uma fase deformacional com maior espaçamento na escala de tempo, não estando relacionada ao Ciclo Brasiliano.

# **CAPÍTULO 7**

# 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), interpretados 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); e (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 Formiga 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.*, 2016).

# 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 com o 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 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/Supergênicos

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, com exceção da Área VI. Estas unidades afloram de maneira mais significativa nas Áreas I, III, IV, V, 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 Locais

A Área XI localiza-se no contexto do Sistema Pórfiro-Epitermal descrito para o Projeto Mara Rosa nas proximidades do depósito de Chapada localizado a sudeste da área. As principais ocorrências são calcopirita, pirita e magnetita em associação com ortognaisses ricos em biotita e, pirita, magnetita e ilmenita associadas a anfibolito. Essas ocorrências relacionam-se com o *trend* NE-SW com inflexão para E-W consistindo também de uma extensão da alteração hidrotermal definida pela ocorrência de rochas aluminosas e calssicilicáticas na porção mais a nordeste. Pode-se também associar as ocorrências da Área XI aos depósitos de Cu-Au "Saúva" e "Formiga" (Figura. 7.1).



**Figura 7.1:** Mapa de ocorrências minerais e furos de sondagem localizados na área XI, assim como localização dos principais depósitos nas proximidades da área.

#### 7.2.1. Sulfetos (Py-Ccp-Mag) associadas a gnaisses ricos em biotita

A associação pirita, calcopirita e magnetita (Py-Ccp-Mag) ocorre em granada biotita gnaisse diorítico e metatonalitos ricos em biotita e com indícios de epidotização. No afloramento, em perfil transversal, observa-se relação de contato entre a unidade de Metavulcânicas Máficas como intercalações mais espaçadas com falhas de empurrão (Figura. 6.17). As rochas dispõem-se como núcleo reliquiar menos deformado envolto por uma faixa de ortognaisses mais intensamente deformados, onde há maior ocorrência de granadas e biotitas (Figura. 7.2).



**Figura 7.2:** Afloramento com localização das porções isotrópicas do metadiorito em A caracterizada por metadiorito isotrópico envolto por porções anisotrópicas intensamente deformada em no limite entre os dois limites as rochas são ricas em biotita e granada.

Os sulfetos e óxidos se distribuem de forma disseminada, comumente caracterizandose por: calcopirita subédrica de aproximadamente 2 mm junto a pirita (Figura. 7.5 A), pirita e magnetita em contato lobado (Figura. 7.5 D) e magnetita como cristais de grande tamanho (~1mm) (Figura. 7.5 C) ou cristais de tamanho pequeno segundo a foliação (Figura. 7.5 B).

Também ocorrem domínios inteiramente biotitizados que se associam à ocorrência de calcopirita de granulação média (Figura. 7.3 B). As biotitas marcam foliações e contornam os corpos isotrópicos juntamente com desenvolvimento de cristais centimétricos de granada e ocorrência de magnetita.

De acordo com Oliveira *et al* (2016) a magnetita pode ser substituída por pirita, juntamente com o aumento na concentração de biotita, anfibolio, granada e veios/vênulas de quartzo. Observa-se a relação do enriquecimento de sulfetos com ocorrências de biotita e granada, principalmente em porções de deformação mais intensa. As rochas ricas em biotita podem ser correlacionadas com halo de alteração potássica.

Ainda, há evidências de percolação de fluidos os quais resultam em porções esverdeadas abaixo de uma falha de empurrão em meio a ortognaisses. Essas zonas podem ter relação com a remobilização de sulfetos (Figura 7.3 A e B).



**Figura 7.3:** (A) Perfil em corte de estrada destacando superfície de empurrão em corte de perfil de ortognaisses com zona abaixo com solo de coloração esverdeada destacada em tracejado, (B) Biotitito com indicação da ocorrência de calcopirita de granulação média.

### 7.1.1. Sulfeto e óxidos (Ccp, Py, Mag, Ilm) associados a anfibolitos

A associação calcopirita, pirita, magnetita e ilmenita é presente em anfibolitos grossos, com contribuição de veios quartzosos e granada anfibolitos de granulação fina a média associados a veios pegmatíticos e dobras suaves (Figura 6.12). Em geral esses anfibolitos contêm assembleia mineral composta por hornblenda, plagioclásio, quartzo, mica branca, granada e epidoto.

Os sulfetos e óxidos ocorrem de forma disseminada onde a pirita geralmente associase a óxidos de magnetita na forma de inclusão, a magnetita ocorre segundo foliações e em bordas de granada e a ilmenita apresenta-se com exsoluções de hematita (Figura 7.5 E-H). A calcopirita pode ocorrer associada a malaquita, sendo essa um produto de alteração comumente encontrada nas capas intempéricas (Figura 7.4).



Figura 7.4: Amostra TF22-XI-66 de ortognaisse tonalítico com malaquita e calcopirita em aumento.



**Figura 7.5:** Fotomicrografias em luz refletida das amostras TF22-XI-72A e TF22-XI-43. (A) Calcopirita e pirita anédricas, (B) Magnetita com aspecto prismático segundo foliação, (C) Magnetita em cristal estirado, (D) e (E)

Associações de pirita e magnetita, mostrando possível substituição, (F) Magnetita em bordas de granada, (G) Magnetita subédrica segundo foliação e (H) Exsolução de hematita em ilmenita.

#### 7.1.2. Muscovita associada a veios pegmatíticos

Na área XI, reporta-se a ocorrência de muscovita muitas vezes associada a veios pegmatíticos de quartzo com muscovitas de grandes dimensões apresentando-se na categoria "folha" ou "sheet" (Figura. 7.6 A-C). As micas são indicação da atuação de processos magmáticos e podem ser relacionadas com veios pegmatíticos de direção N40-60°W que cortam rochas encaixantes do depósito de Chapada (Oliveira *et al.*, 2016).

Em geral, a muscovita é obtida industrialmente de pegmatitos graníticos onde é produto do metassomatismo dos feldspatos, com a remoção de KOH (Velho et al., 1998). Possui várias aplicações industriais, particularmente na indústria eletro-eletrônica devido à sua elevada resistência dielétrica e resistividade, baixa perda de potência (elevado fator Q) e baixo coeficiente de temperatura. Além dessas propriedades, a muscovita resiste a temperaturas de 600 a 900°C, e pode ser facilmente moldada em diferentes formas e tamanhos (Rajgarhia, 1987, citado em Tanner, 1997)



**Figura 7.6:** Ocorrências de mica pegmatítitca. (A) Mica segundo fraturas de direção NE-SW com mergulho para NW, (B) e (C) grandes cristais de muscovita do tipo "folha" ou "sheet".

# 7.2. Considerações Metalogenéticas

A Área XI localiza-se nas proximidades do depósito de Chapada Cu-Au e tem ocorrências de sulfetos associados a gnaisses e anfibolitos. Segundo Oliveira *et al.* (2016) as rochas encaixantes dentro do depósito de Chapada consistem de magnetita-biotita gnaisse e magnetita anfibolitos. Os gnaisses ocorrem como corpos centimétricos a métricos com geometria sigmóides e *boudins* enquanto os anfibolitos exibem foliação difusa e bandamento incipiente a intenso.

As rochas hidrotermalmente alteradas representam halos de alteração hidrotermal relacionadas ao sistema pórfiro-epitermal do Depósito Chapada (Figura. 7.7), que foram submetidas aos eventos deformacionais da região resultando na transformação metamórfica em facies anfibolito, com retrometamorfismo.

As rochas da subunidade de Ortognaisses Indiferenciados (NP3y2mr), restritas à porção sudoeste da Área XI, podem ser representantes do halo de alteração potássica. Essa alteração é caracterizada pela intensa biotitização, presença de feldspato potássico (microclínio) e ocorrência disseminada de pirita e calcopirita, além de magnetita. As rochas foram submetidas a alteração metamórfica em facies anfibolito com retrometamorfismo em fácies epidoto anfibolito atuando, portanto, o evento D2. Nas mesmas ainda há o registro de feições de deformação em torno de núcleos isotrópicos que podem atuar como porfiroblastos, concentrando e remobilizando sulfetos nessas regiões.

As rochas da subunidade metavulcânicas máficas (NP1mr1), são representantes do halo de alteração propilítica do pórfiro, caracterizada por assembleias constituídas por epidoto e clorita e pequenas quantidades de clinozoisita, calcita, zoisita e albita (Robb, 2005) e que foram submetidas a alteração metamórfica em fácies anfibolito gerada pelo evento D1. Sendo a ocorrência de anfibolitos com granada discreta na maior parte da área do Projeto Mara Rosa, pode-se associar o granada anfibolito a zonas de cisalhamento (Área VIII) e padrões de dobramentos suaves com eixos de direção NE-SW. O evento deformacional D3 representa a reativação de falhas e juntas com remobilização de sulfetos sendo a principal estrutura que controla a geometria do depósito (Oliveira *et al*, 2016). Esse mesmo evento correlaciona-se com a ocorrência de sulfetos. Nessa mesma direção E-W funcionando como canais para remobilização de sulfetos. Nessa mesma direção, é comum encontrar rochas metassomatizadas, indicando a atuação dos processos hidrotermais.

As ocorrências registradas também se relacionam com contextos dos depósitos de Cu-Au de "Saúva" e "Formiga", o primeiro com mineralização de Cu e Au do tipo pórfiro e o segundo com mineralização do tipo *skarn*. As ocorrências da área XI localizam-se no mesmo strike desses depósitos, que também possuem relação direta com o *trend* da alteração hidrotermal registrada por rochas ricas com cianita que ocorrem principalmente na Serra do Bom Jesus.



Figura 7.7: Padrão generalizado de zoneamento de alteração-mineralização para depósitos telescópicos de pórfiro Cu (Sillitoe, 2010).

No que diz respeito ao potencial metalogenético da Área XI, no limite sudoeste da área, os produtos geofísicos indicam respostas correlacionáveis a intrusões graníticas de tonalidade esbranquiçada enriquecidos em potássio, urânio e tório (Ferreira *et al.*, 2016) e óxidos e hidróxidos de ferro de tonalidade cor ciano enriquecidos em urânio e tório (Dickson e Scott, 1997 e Ribeiro *et al.*, 2014), com resposta alta de potássio diretamente associadas com corpos intrusivos intermediários e seus sistemas de alteração (Pardo *et al.*, 2012) e anomalia magnética homogênea de resposta entre 28 a 35 nT (Figura 7.8 A-C).

Mesmo que, na resposta gamaespectrométrica, tonalidades cor ciano representem lateritas registrou-se a ocorrência de rochas de composição diorítica. Além disso, o produto de
porcentagem de potássio (K%), pode indicar porções com possível existência de afloramentos que também correspondem a domínios de tonalidade esbranquiçada na gamaespectrometria. A anomalia magnética ressalta alto magnético homogêneo, com geometria similar a padrões de sigmoides, onde podem estar inseridas porções cisalhantes. Essas porções cisalhantes puderam ser observadas no afloramento por meio da ocorrência de rochas isotrópicas e anisotrópicas facilmente individualizadas, podendo corresponder a regiões onde predominam rochas com maior atuação de processos que permitem a mobilização de sulfetos.

No limite sudeste da Área XI, há evidência de anomalia magnética de resposta entre 35 e 46 nT com geometria sigmoidal e dimensão menor (aproximadamente 3 km), também se observam tonalidades de cor ciano nas proximidades. Essa região assemelha-se a geometria do depósito Chapada.



665000 670000 675000 680000 685000

**Figura 7.8**: Mapas geofísicos das respostas avaliadas para análise do potencial metalogenético nas adjacencias da Área XI com visão espacial dos depósitos de Chapada (Cu-Au Chapada, Au Suruca e Cu-Au Corpo Sul), Saúva e Formiga. (A) Mapa gamaespectrométrico RGB em que se observa resposta de tonalidade esbranquiçada/ciano a sudoeste próxima à ocorrência Ccp,Py,Mag e resposta de tonalidade cor ciano próxima à ocorrência Py, Mag, Ilm. (B) Mapa magnético de porcentagem de K indicando altas concentrações de potássio a

sudoeste da Área XI. (C) Mapa de anomalia magnética evidenciando alto magnético homogêneo de aproximadamente 35.1 nT abrangendo a ocorrência Ccp, Py, Mag a sudoeste da Área XI e alto magnético de aproximadamente 46 nT em formato sigmoidal em proximidade à ocorrência Py, Mag, Ilm.

# **CAPÍTULO 8**

## 8. Evolução Tectônica

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

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

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

A compartimentação tectônica da área do Projeto Mara Rosa tem seu contexto atrelado ao setor setentrional do Orógeno Brasília, mais especificamente na porção sudeste do Arco Mara Rosa. Esse setor é resultado dos eventos orogênicos ocorridos entre os crátons São Francisco e Amazônico, envolvendo acresções de unidades tectônicas como o Maciço de Goiás e o AMG (Uhlein *et al.*, 2012).

Diversos estudos utilizando diferentes métodos geocronológicos foram realizados para a definição das unidades tectônicas que ocorrem na área do projeto. Além disso, os eventos tectônicos de acresção crustal foram destacados a partir das grandes estruturas que ocorrem nas áreas do projeto e se estendem para outras áreas do Arco Mara Rosa. Por fim, os estágios que dizem respeito ao final da orogênese, sendo eles colisional, pós-colisional e de extensão orogênica, foram sugeridos a partir das feições tectônicas superimpostas na área.

## 8.1. Evolução Tectônica do Orógeno Brasília

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

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

## 8.2. Evolução Tectônica do Arco Magmático Goiás

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

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

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

Após esses principais eventos de magmatismo e metamorfismo, ocorreu um estágio de magmatismo pós-tectônico colisional, caracterizado pela extensão litosférica e intrusão de corpos graníticos, como biotita granitos e leucogranitos, e gabro-dioritos, entre 590 e 560 Ma. Além disso, houve um estágio extensional pós-orogênico, que causou a intrusão de leucogranitos e gabro-dioritos (Oliveira *et al.*, 2004).

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

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

### 8.2.1. Estágio de Arco Paleoproterozoico

O Maciço de Goiás é uma amalgamação de rochas cristalinas com idades arqueanas a mesoproterozoicas localizadas a leste do Arco Magmático de Goiás. A interpretação sobre o

significado tectônico desta unidade adotada neste trabalho está de acordo com a de Cordeiro & Oliveira (2017), que sugerem que o maciço seja uma extensão pericratônica na margem oeste do Cráton São Francisco. De acordo com Pimentel (2000), o Maciço de Goiás pode ser dividido em três domínios distintos: Crixás-Goiás, Campinorte e Cavalcante-Arraias.

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

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

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

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



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

As rochas pertencentes ao Domínio Campinorte, dentro do contexto do PMR, possuem uma foliação milonítica N - S impressa, interpretada como um evento  $E_0$ , de idade pré-brasiliana. A análise dos dados estruturais permite sugerir que estas estruturas tenham sido geradas como resposta a um evento transcorrente, responsável pela formação das zonas de cisalhamento observadas no extremo SE da área do PMR, mais especificamente na Área X. Associada a deformação do evento  $E_0$ , há metamorfismo em fácies xisto verde inferior.

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

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

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

Na área do projeto, a estrutura que marca a acresção da sequência metavulcanossedimentar Mara Rosa ao embasamento paleoproterozóico Campinorte é marcada pela Zona de Cisalhamento Rio dos Bois. As rochas descritas dentro do domínio são representadas por um conjunto extenso de anfibolitos, paragnaisses e xistos aluminosos, com eventuais associações de rochas metaultramáficas, especialmente na porção norte da área. Subordinadamente, ocorrem rochas metaquímicas, definidas por gonditos, metacherts e formações ferríferas. Além disso, na sequência encontra-se intrusões tardi a pós tectônicas de composição granítica a diorítica. Os litotipos encontram-se metamorfizados em condições de fácies anfibolito, com retrometamorfismo em fácies xisto verde inferior.

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

O estágio intra-oceânico é representado pelo início do evento tectônico  $E_1$ , de idade neoproterozoica. O regime compressivo regional nesse estágio está relacionado à formação de xistosidade e bandamento gnáissico em rochas da sequência metavulcanossedimentar

Mara Rosa, ambas com direção de mergulho para NW. No plano de foliação, associa-se lineação de estiramento mineral com transporte tectônico para SE.



**Figura 8.2:** Estágio de Arco Intra-Oceânico Neoproterozoico. (A) Formação do Arco Mara Rosa em um ambiente intra-ocêanico; (B) Colisão do Arco Insular recém-formado com o Maciço de Goiás, caracterizado pela Sequência Campinorte, na área do projeto.

### 8.2.3. Estágio de Colisão Arco-Continente

A evolução do estágio de arco intra-oceânico é marcada pelo desenvolvimento de uma margem continental ativa, onde há a formação do denominado arco magmático Santa Terezinha em 670-600 Ma (Figura. 8.4). É nesse estágio em que há a formação da sequência metavulcanossedimentar Santa Terezinha, originalmente proposta por Souza & Leão Neto (1984). Essa sequência é composta majoritariamente por rochas metassedimentares, incluindo mica xisto feldspático, mica xisto e quartzito, além de uma unidade vulcânica de anfibolitos e meta-andesitos (Fuck *et al.*, 2006). Dantas *et al.* (2001) dataram uma amostra de rocha metavulcânica félsica em  $661 \pm 8$  Ma, atribuindo idade estimada para a sequência.

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

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

Associado à progressão do estágio de arco de intra-oceânico, o estágio da colisão arco-continente ainda é representado pelo evento tectônico  $E_1$ . O regime compressivo regional nesse estágio está relacionado a formação de xistosidade na sequência metavulcanossedimentar Santa Terezinha com mergulho para NW e lineação de estiramento mineral indicando transporte tectônico para SE. Junges et al. (2002) interpreta que o metamorfismo de 604-610 Ma é de baixa condições P-T, a partir de idades Sm-Nd e geotermobarometria em rochas metassedimentares do arco. Essa idade de metamorfismo foi observada no PMR em fácies anfibolito com retrometamorfismo para xisto verde inferior (zona da clorita).



Figura 8.3: Estágio de Colisão Arco-Continente.

### 8.2.4. Estágio Colisional a Pós-Colisional

O estágio colisional a pós-colisional do Arco Mara Rosa está inserido no contexto de amalgamação do supercontinente Gondwana. O fechamento do ciclo Brasiliano resultou na formação de uma estrutura de magnitude continental, de orientação NE-SW, que ocorreu na

porção oeste do supercontinente Gondwana, o Lineamento Transbrasiliano (LTB) (Schobbenhaus, 1975).

O LTB é um extenso feixe de falhas transcorrentes formadas durante o encurtamento crustal gerado no fim da orogenia neoproterozoica. Nesse contexto, insere-se no evento tectônico  $E_2$ , o qual, na área do projeto, é representado por zonas de cisalhamento transpressivas de orientação NE-SW com inflexões para E-W.

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

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



**Figura 8.4:** Estágio Colisional a Pós-Colisional. (D) Estágio Colisional; (E) Estágio Tardi a Pós-Colisional com formação do Lineamento Transbrasiliano

## 8.2.5. Estágio Extensional Pós-Orogênico

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

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

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

## 8.1. Modelo Evolutivo do Arco Magmático Mara Rosa

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

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

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

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



**Figura 8.5:** Estágios de evolução tectônica do Orógeno Brasília envolvendo os arcos Campinorte, Mara Rosa e Santa Terezinha de Goiás; (A) Estágio de Arco Intra-Oceânico Paleoproterozoico, correspondente ao Arco Campinorte, 2200-2000 Ma; (B) Maciço de Goiás como uma extensão pericratônica do Cráton São Francisco, 2000 Ma; (C) Estágio de Arco Intra-Oceânico Neoproterozoico, correspondente ao Arco Mara Rosa, 900-800 Ma; (D) Estágio de Colisão Arco-Continente, correspondente ao Arco Santa Terezinha de Goiás, 670-600 Ma; (E) Estágio Colisional a Pós-Colisional, destacando a influência do Lineamento Transbrasiliano no Orógeno Brasília após a formação do supercontinente Gondwana pela colisão entre os crátons. Adaptado de Oliveira *et al.* (2004)

# **CAPÍTULO 9**

## 9. Considerações Finais

O mapeamento geológico realizado na escala 1:25000 compreendeu quatro grandes unidades geotectônicas, sendo elas:

- 1. Sequência Campinorte, de idade riaciana (Cordeiro et al., 2014), e plutônicas associadas;
- 2. Grupo Serra da Mesa (NP3smb e NP3smbq), de provável idade criogeniana (Cordeiro *et al.*, 2014);
- Arco Magmático Goiás, segmento Mara Rosa, sendo este 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).
- Rochas Intrusivas Tardi a Pós-tectônicas, pouco ou não deformadas, representadas pelo Plúton Faina (NP3γ3f), Leucogranitos Bom Jesus (NP3γ3l) e um corpo de rochas Metaplutônicas Máficas (NP3γ3m).

Dentre estas 3 unidades, o Arco Magmático de Mara Rosa corresponde a mais de 80% da área total do projeto, sendo, portanto, o principal foco do estudo. As rochas caracterizadas neste contexto são resultado da evolução sequencial de um arco de ilha e um arco continental, relacionados às sequências metavulcanossedimentares Mara Rosa e Santa Terezinha, respectivamente.

Estas rochas, formadas em idade neoproterozoica, foram deformadas e metamorfizadas seguindo uma tectônica brasiliana, caracterizada por orógenos acrecionários resultantes da amalgamação dos crátons São Francisco e Amazônico. O metamorfismo, no geral, é registrado em fácies anfibolito, com retrometamorfismo em fácies anfibolito inferior ou epidoto anfibolito, e, a partir de análises petrográficas, estruturais e tectônica, foi possível delinear a evolução tectono-estrutural da região.

No âmbito da Área XI, foram mapeadas rochas pertencentes apenas à Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa, sendo caracterizadas pelas subunidades: Metavulcânicas Máficas (NP1mr1), Metassedimentar Química (NP1mr4) e Ortognaisses Indiferenciados (NP3y2mr). A subunidade NP1mr1 representa o produto do metamorfismo de uma sequência de basaltos, em sua maioria, e porções localizadas com composição mais intermediária (metandesitos). A subunidade NP1mr4 representa o metamorfismo de sequências sedimentares de origem vulcanoquímica derivadas de camadas de chert, formadas junto a sequência de basaltos, caracterizando uma sequência vulcanossedimentar. Já a subunidade NP3y2mr é resultado do metamorfismo de rochas plutônicas de caráter pré a sin tectônico, de composição quartzo diorítica a tonalítica. Estas rochas foram formadas durante o estágio de subducção de um arco intraoceânico, entre 900 e 800 Ma (Oliveira *et al.*, 2004), que hoje corresponde ao Arco Mara Rosa.

Tendo em vista que o objetivo principal do projeto foi o detalhamento no nível cartográfico do contexto geológico do Arco Magmático Mara Rosa e adjacências bem como sua caracterização petrográfica, estrutural, metalogenética e evolutiva, foram confeccionados os produtos finais do trabalho, sendo eles o Mapa Geológico do Projeto Mara Rosa (Anexo V) e o mapa geológico da área designada a cada grupo, sendo essa a Área XI (Figura. 9.1) (Anexo IV para mapa em escala 1:25000).

Atenta-se que os mapas geofísicos produzidos na etapa de pré campo, foram uma ferramenta indispensável e de grande auxílio para delimitar os limites das subunidades assim como para identificar rochas de alteração hidrotermal na área do projeto, principalmente do que diz respeito aos mapas de gradiente horizontal, anomalia magnética e composição RGB gamaespectrométrica.

Em complemento aos projetos de trabalho final de Alto Horizonte, em 1997, e Mutunópolis, em 2006, realizados pela Universidade de Brasília, e folhas Campinorte e Santa Terezinha de Goiás, realizadas pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), o Projeto Mara Rosa contribuiu para a melhor delimitação das unidades que compõem a geologia da região. Além disso, contribuiu para a evolução do conhecimento em contextos de arcos magmáticos mineralizados, deformados e metamorfizados, tendo em vista sua importância econômica e acadêmica.

Em relação a metalogênese da região, as mineralizações baseiam-se em sistemas pórfiro-epitermal, vulcanogênicos, orogênicos e residuais/supergênicos. No âmbito do projeto, a caracterização metalogenética tem maior expressão do sistema pórfiro-epitermal, relacionado a halos de alteração hidrotermal com expressão em rochas da Unidade Hidrotermal, que incluem uma Associação Aluminosa, com rochas ricas em cianita, e uma Associação Calcissilicática, com rochas metassomáticas ricas em Ca, como também em rochas da Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa e Ortognaisses Mara Rosa.

Tendo em vista as respostas geofísicas identificadas e análises petrográficas, sugere-se um estudo mais detalhado das proximidades da Área XI, com mapeamento, realização de análise geoquímica do solo, aplicação de maiores processamentos nos dados geofísicos utilizados nesse trabalho e se reportado interesse, realização de método elétrico.



Figura 9.1: Mapa geológico final da Área XI.

## **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. de, Hasui, Y., de Brito Neves, B. B., & Fuck, R. A., 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. Earth-Science Reviews, 17(1-2), 1-29.
- Almeida, F.F.M. de. 1977. O Cráton do São Francisco. Rev. Bras. Geoc., 7(4):349-364.
- Arantes, D., Buck, P.S., Osbourne, G.A., Porto, C.G., 1991. A Sequência vulcano-sedimentar de Mara Rosa e mineralizações auríferas associadas. Boletim Informativo da SBG, Núcleo Centro-Oeste, pp. 27–40.
- Araújo Filho, J. O., 2000. The Pirineus Syntaxis: An example of the intersection of two Brasiliano fold-thrust belts in central Brazil and its implications for the tectonic evolution of western Gondwana. Revista Brasileira de Geociências, v. 30, n. 1, p. 144-148.
- Barbosa, O., 1955. Guia de Excursões do IX Congresso da Sociedade Brasileira de Geologia. Noticiário nº 3, Sociedade brasileira de Geologia, Rio de Janeiro.
- Biondi, J. C., 2003. Processos metalogenéticos e os depósitos minerais brasileiros. Oficina de Textos.
- Blakely, R. J., Simpson R.W., Jachens, R.C. 1986. A new isostatic residual gravity map of the Conterminous United States with a discussion on the significance of isostatic residual anomalies. Journal of Geophysical Research, Res. 91 (B-8), 8348–8372.
- Brito Neves, B.B.; Campos Neto, M.D.C.; Fuck, R.A, 1999. From Rodinia to Western Gondwana: An approach to the Brasiliano-Pan African cycle and orogenic collage. Episodes, v.22, n. 3, p. 155–166.
- Bucher, K. & Grapes, R., 2011. Petrogenesis of Metamorphic Rocks. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 428p.
- Caby, R., 1994. Precambrian coesite from northern Mali: first record and implications for plate tectonics in the trans-Saharan segment of the Pan-African belt. Eur. J. Mineral, v. 6, p. 235-244.
- Campos Neto, M. 1979. Contribuition à l'estude des Brasilides. Litostratigraphie et structure des Groupes Canastra, Paranoá e Bambuí dans l'ouest-nord-ouest de l'Etat de Minas Gerais, Brésil. Thèse de 3e. Cycle, Univ. de Paris VI, France 155pg.

- Campos Neto, M. C.; Cioffi, C. R., 2008. Texturas metamórficas de granulitos de alta pressão da Klippe Carvalhos, borda sul do Cráton do São Francisco. Anais, 2008.
- Chiarini, M. F. N., 2007. Contribuição da aerogeofísica na caracterização de suturas e de sistemas transcorrentes: o exemplo de Porangatu, Brasil Cental. 2007. 134 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) Universidade de Brasília, Brasília, 2007.
- Ciminelli, R. R. (2005). 2. Desempenho Funcional dos Minerais. Rochas & Minerais Industriais, 31.
- Cooper, Gordon RJ; COWAN, Duncan R. Edge enhancement of potential-field data using normalized statistics. **Geophysics**, v. 73, n. 3, p. H1-H4, 2008.
- Cordani, R. & Shukowsky, W. 2009. Magnetização remanescente: um parâmetro crucial para a interpretação e modelamento de anomalias magnéticas em território brasileiro. Revista Brasileira de Geofísica, 27 (4).
- Cordani, U. G., Pimentel, M. M., de Araújo, C. E. G., & Fuck, R. A. 2013. The significance of the Transbrasiliano-Kandi Tectonic corridor for the amalgamation of west gondwana. Brazilian Journal of Geology, 43(3), 583-597.
- Cordeiro, P. F. de O. 2014. Compartimentação geológica e geocronológica dos terrenos do embasamento norte da Faixa Brasília.
- Cordeiro, P. F. de O. et al, 2014. The Paleoproterozoic Campinorte Arc: Tectonic evolution of a Central Brazil pre-Columbia orogeny. Precambrian Research, v. 251, p. 49–61.
- Cordeiro, P. F. de O., de Oliveira, C. G., Giustina, M. E. S. D., Dantas, E. L., Santos, R. V.
  2014. The Paleoproterozoic Campinorte Arc: Tectonic evolution of a Central Brazil pre-Columbia orogeny. Precambrian Research, 251, 49–61.doi:10.1016/j.precamres.2014.06.002.
- Cordeiro, P. F. de O.; Oliveira, C. G., 2017. The Goiás Massif: Implications for a pre-Columbia 2.2–2.0 Ga continent-wide amalgamation cycle in central Brazil. Precambrian Research, v. 298, p. 403–420.
- Cordell, L. & Graunch V. J. S. 1985. Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan Basin, New Mexico. In: HINZE WJ (ed). The Utility of Regional Gravity and Magnetic Anomalies Maps. Society of Exploration Geophysicists, p.181-197.
- Cox, K.G., Bell, J.D. & Pankhurst, R.J., 1979. The Interpretation of Igneous Rocks. G. Allen & Unwin, London.
- CPRM, S. 2004. Levantamento aerogeofísico Do Estado de goiás-1 a Etapa: Arco magmático de arenópolis.

- D'el-Rey Silva, L.J.H, Oliveira I.L., Pohren, C.B., Tamizaki, M.L.N., Carneiro, R.C., Fernandes G.L.F., Aragão, P.E. 2011. Coeval perpendicular shortenings in the Brasilia belt: collision of irregular plate margins leading to oroclinal bending in the neoproterozoic of Central Brazil. Journal South Am. Earth Sciences 32: 1-13.
- D'El-Rey Silva, L.J.H., de Vasconcelos, M.A.R., Silva, D.V.G., 2008. Timing and role of the Maranhão River Thrust in the evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt and Tocantins Province, central Brazil. Gond. Res. 13, 352–374.
- Dantas, E. L. et al., 2007. Geologia da folha Porangatu SD. 22-XDI.
- Dantas, E. L., Jost, H., Fuck, R. A., Brod, J. A., Pimentel, M. M. and Meneses, P. R., 2001. Proveniência e idade deposicional de sequências vulcano-sedimentares da região de Santa Terezinha de Goiás, baseada em dados isotópicos Sm-Nd e U-Pb em monocristal de zircão. Revista Brasileira de Geociências 31(3): p. 329-33.
- Dardenne M.A. 2000. The Brasília Fold Belt. In: U.G. Cordani, E.J. Milani, A. Thomaz Filho
  & D.A. Campos. 2000. Tectonic evolution of South America. 31 st International Geological Congress, Rio de Janeiro, SBG. p. 231-263.
- Dardenne, M. A. 1981. Os grupos Paranoá e Bambuí na faixa dobrada Brasília. SBG, Simp. Cráton São Francisco, 1, 104-157. 36.
- David J. Isles & Leigh R. Rankin. 2013. Geological Interpretation of Aeromagnetic Data. Society of Exploration Geophysicists and the Australian Society of Exploration Geophysicists.
- De Souza, S. F., de Araújo, M. D. S. B., Galvíncio, J. D. 2010. Mudanças do Uso da Terra no Município de Serra Talhada-PE utilizando Análise por Componentes Principais (ACP). Revista de Geografia (Recife), 24(3), 85-100.
- Deer, W. A., Howie & Zussman. 1996. Introduction to the rock forming minerals. Editora Addison Wesley.
- 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.
- Dempster, T, J. e Tanner, P.W.G. 1997, The biotite isograd, Central Pyrenees: a deformation controled reaction. Journal of Metamorphic Geology. 15:531-548.
- Dickson, B.L. & Scott, K.M., 1997. Interpretation of Aerial Gamma-Ray Surveys-Adding the Geochemical Factors. Journal of Australian Geology and Geophysics, 17, 187-200.

- Faure, Gunter. Principles and applications of geochemistry. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1997.
- Ferreira Filho, C. F., De Moraes, R., Fawcett, J. J., & Naldrett, A. J., 1998. Amphibolite to granulite progressive metamorphism in the Niquelândia Complex, central Brazil: regional tectonic implications. Journal of South American Earth Sciences, 11(1), 35-50.
- Ferreira, F. J. F., Weihermann, J. D., Barão, L. M., Fedalto G., De Castro, L. G., Stevanato, R. 2016. Gamaespectrometria Aérea e sua Aplicação na Cartografia Geológica, cap. 9, 32 p.
- Ferreira, F. J. F., Weihermann, J. D., Barão, L. M., Fedalto G., De Castro, L. G., Stevanato, R. 2016. Gamaespectrometria Aérea e sua Aplicação na Cartografia Geológica, cap. 9, 32 p.
- Fossen, H., Cavalcante, G. C. G., Pinheiro, R. V. L., & Archanjo, C. J., 2019. Deformation– progressive or multiphase?. Journal of Structural Geology, 125, 82-99.
- Frasca, A. A. S., 2015. Amálgamas do W-Gondwana na província Tocantins. Tese de Doutorado.
- Freitas-Silva, F.H. 1991. Enquadramento lito-estratigráfico e estrutural do depósito de ouro de Morro do Ouro, Paracatu/MG. Dissertação de Mestrado, UnB-IG, 151p.
- Fuck R. A. Dantas, E.L.; Pimentel,M.M.; Junges, S.L.; Moraes,R., 2002. Nd Isotopes, U-Pb Single Grain and SHRIMP Zircon Ages From Basement Rocks of the Tocantins Province. In: SSAGI, 4, Pucón, Chile, CD.81.
- Fuck R. A., Pimentel M. M., Soares J. E. P., Dantas E. L. 2005. Compartimentação da Faixa Brasília. Em: IX Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, 9, Anais..., SBG p.26-27.
- Fuck, R. A. 1994. A faixa Brasília e a compartimentação Tectônica na Província Tocantins. In: Simpósio De Geologia Do Centro-Oeste, 4, Brasília. Anais Brasília: SBG, p. 184-187.
- Fuck, R. A., Dantas, E. L., Sordi, D. A. D., Chiarini, M. F. N., Oliveira, C. G. D., & Alvarenga, C. J. S. D., 2007. Geologia da folha Santa Terezinha de Goiás SD. 22-ZA-III.
- Fuck, R. A., Dantas, E. L., Sordi, D. A., Chiarini, M. F. N., Oliveira, C. G., Alvarenga, C. J.
  S., 2007. Ministério de Minas e Energia CPRM Serviço Geológico do Brasil: Geologia da Folha Porangatu, Arco Magmático de Goiás.

- Fuck, R. A., Pimentel, M. M., Alvarenga, C. J., & Dantas, E. L., 2017. The northern Brasília belt. São Francisco Craton, Eastern Brazil: Tectonic Genealogy of a Miniature Continent, 205-220.
- Fuck, R. A.; Pimentel, M. M.; Neves, B. B. B., 2014. The Brasiliano collage in South America: a review. Brazilian Journal of Geology, v. 44, p. 493-518.
- Fuck, R.A., Dantas, E.L., Pimentel, M.M., Laux, J.H., Junges, S.L., Oliveira, C.G., Sordi, A.D., Chiarini, M.F.N., 2006. The Santa Terezinha sequence, Goiás magmatic arc, central Brazil: constraints from U-Pb and Sm-Nd data. Short Papers and V South American Symposium on Isotope Geology, Punta del Este.
- Giustina, M. E. S. D. et al., 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 Special Publication, v. 323, n. September 2009, p. 255–269.
- Graessner, T. Schenk, V. 1999. Low pressure metamorphism of Paleozoic pelits in the Aspromonte, southern Calabria: constraints for the thermal evolution in the Calabrian crustal cross-section during the Hercynian orogeny. Journal of Metamorphic Geology: (17):157-172.
- Guidotti, C. V., 1984. Micas in metamorphic rocks. Micas, Rev. Mineral. 13:357-467.
- Hasui Y. & Almeida F.F.M. De 1970. Geocronologia do Centro Oeste Brasileiro, Rev. Bras. Geociências 19 (1): 6-26.
- Hirth, G. & Tulis, J., 1992. Dislocation creep regimes in quartz aggregates. J Struct Geol 14:145-159
- James, M. J., 2022. O depósito de Au-Ag-barita Zacarias, Orógeno Brasília, Brasil Central: mineralização vulcanogênica Toniana associada ao Arco Magmático Goiás.
- Junges, S. L. et al., 2002. Idades U-Pb de granitos sin- a tardi-tectônicos do Arco de Mara Rosa, Goiás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 41., 2002, João Pessoa. Anais... João Pessoa: SBGNE, 2002. p. 312.
- Junges, S. L. et al., 2003. 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 Res. 117 (1–2), 101–108.

- Kington, Joe. Stereonets for matplotlib. Read the Docs, 2013. Disponível em: <a href="https://mplstereonet.readthedocs.io/en/latest/">https://mplstereonet.readthedocs.io/en/latest/</a>. Acesso em: 07 de fev. de 2023.
- Kröner, A. & Cordani, U., 2003. African, southern Indian and South American cratons were not part of the Rodinia supercontinent: evidence from field relationships and geochronology. Tectonophysics, v. 375, n. 1-4, p. 325-352, 2003.
- Kuyumjian, R. M., Oliveira, C. G., Campos, J. E. G. & Queiroz, C. L. 2004. Geologia do limite entre os terrenos arqueanos e o arco magma´tico de Goia´s na região de Chapada-Campinorte, Goiás. Revista Brasiliera de Geociências, 34(3), 329–334.
- Lacerda, H., 1986. As mineralizações auríferas da região de Mara Rosa (GO). Revista Brasileira de Geociências, v. 16, n. 3, p. 274-284.
- Laux, J. H. et al, 2005. Two Neoproterozoic crustal accretion events in the Brasília belt, central Brazil. Journal of South American Earth Sciences, v. 18, n. 2, p. 183-198, 2005.
- Laux, J.H., 2004. Evolução do Arco Magmático de Goiás com base em dados geocronológicos U-Pb e Sm-Nd. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Brasília.
- Li, Cai et al. Discovery of eclogite and its geological significance in Qiangtang area, central Tibet. Chinese Science Bulletin, v. 51, p. 1095-1100, 2006.
- Luz, A. B. D., & Lins, F. A. F. (2008). Rochas & minerais industriais: usos e especificações.
- Marini, O. J., Fuck, R. A., Dardenne, M. A., & Faria, A. D., 1977. Contribuição à geologia do Pré–Cambriano da porção central de Goiás. Rev. Bras. Geoc, 7(4), 304-324.
- Marini, O.J., Fuck, R.A., Dardenne, M.A., Danni, J.C.M., 1984. Província Tocantins: setores Central e Sudeste. In: Almeida, F.F.M., Hasui, Y. (Eds.), O Pré-cambriano do Brasil.
  E. Blücher, São Paulo, pp. 205–264.
- Marques, G. C., 2017. Evolução tectônica e metalogenética no contexto do depósito aurífero de Fazenda Nova, Arco Magmático de Arenópolis, Goiás. 2017. xii, 169 f., il. Tese (Doutorado em Geologia) Universidade de Brasília, Brasília.
- Marques, G.C., 2009. Geologia dos Grupos Araí e Serra da Mesa e seu embasamento no sul de Tocantins. MSc Thesis. IG-UnB, p. 116.
- Martins-Ferreira, M. A. C. et al, 2018. Proterozoic intracontinental basin succession in the western margin of the São Francisco Craton: Constraints from detrital zircon geochronology. Journal of South American Earth Sciences, v. 81, p. 165–176.

- Matteini, M. et al., 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, n. 1, p. 1-12.
- Meert, J. G. 2003. A synopsis of events related to the assembly of eastern Gondwana. Tectonophysics, 362, 1–40.
- Melo, L. V. 2006. Compartimentação geocronológica dos depósitos de Cu-Au e Au do Distrito Chapada-Mara Rosa-Campinorte no Arc Magmático de Goiás, Brasil Central 2006. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília.
- Meneses, P. R., & Almeida, T. D. 2012. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. Universidade de Brasília, Brasília.
- Nabighian, Misac N. The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: its properties and use for automated anomaly interpretation. Geophysics, v. 37, n. 3, p. 507-517, 1972.
- Netto, L.T.P., 2008. Qualidade física e química de um latossolo vermelho-amarelo sob pastagens com diferentes períodos de usos. Dissertação (mestrado)—Universidade de Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária.
- Nucleo Geoambiental da Universidade Estadual do Maranhão UEMA, 2006. Região hidrográfica do Tocantins Araguaia. Disponível em: <a href="https://www.nugeo.uema.br/?page\_id=239">https://www.nugeo.uema.br/?page\_id=239</a>>. Acesso em: novembro, 2022.
- Oliveira, C. G. de, de Oliveira, F. B., Della Giustina, M. E. S., Marques, G. C., Dantas, E. L., Pimentel, M. M., & Buhn, B. M., 2016. The Chapada Cu–Au deposit, Mara Rosa magmatic arc, Central Brazil: constraints on the metallogenesis of a Neoproterozoic large porphyry-type deposit. Ore Geology Reviews, 72, 1-21.
- Oliveira, C. G., De Queiroz, C. L., & Pimentel, M. M., 2000. The Arenopólis-Mara Rosa gold-copper belt, neoproterozoic goiás magmatic arc. *Revista Brasileira Geociências*, *30*, 219-221.
- Oliveira, C. G., Oliveira, F. B., Dantas, E. L., Fuck, R. A., & Almeida, T., 2006. Nota Explicativa e Mapa Geológico da Folha Campinorte (Folha SD. 22-XD-IV, 1: 100.000). *Brasília, CPRM*.
- Oliveira, C. G., Oliveira, F. B., Dantas, E. L., Fuck, R. A., Giustina, M. E. S., 2007. Programa Geologia do Brasil - Folha Campinorte. FUB/CPRM, Brasília (124 pp).
- Oliveira, C. G., Pimentel, M. M., de Melo, L. V., & Fuck, R. A., 2004. The copper–gold and gold deposits of the Neoproterozoic Mara Rosa magmatic arc, central Brazil. Ore Geology Reviews, 25(3-4), 285-299.

- Oliveira, C.G., Oliveira, F.B., Dantas, E.L., Fuck, R.A., 2006. Programa Geologia do Brasil-Folha Campinorte. FUB/CPRM, Brasília, pp. 124.
- Oliveira, F. B., 2009. Características epigenéticas do depósito de Cu-Au Chapada, arco magmático de Goiás. Dissertação (mestrado)—Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Brasília.
- Osmanoğlu, B., Sunar, F., Wdowinski, S., & Cabral-Cano, E. 2016. Time series analysis of InSAR data: Methods and trends. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 115, 90-102.
- Palermo, N., 1996. Le Gissement aurifère précambrien de Posse (Goiás, Bresil) dans sou cache géologique. These de doctorat, ENSPM, Paris, 175p+annexes.
- 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.
- Palmieri, F. E Larach, J. O. I., 2004. Pedologia e Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (org.) Geomorfologia e meio ambiente. 4 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 59-122p.
- Pardo, O. H., Alexander, G. C. E. & Pintor, I.M. B., 2012. Geophysical exploration of disseminated and stockwork deposits associated with plutonic intrusive rock: a case study on the eastern flank of Colombia's western cordillera. Earth Sciences Research Journal vol.16 no.1 Bogotá.
- Passchier, C.W. & Trouw, R.A.J, 2005. Microtectonics. Springer; 2nd 2005 ed. edição
- Pearce, J. A., and Arculus, R. J., 2021. "Boninites," in Encyclopedia of Geology. Editors D. Alderton and S. A. Elias. 2nd edn. (Amsterdam: Elsevier), 113–129. doi:10.1016/b978-0-08-102908-4.00152-1
- Pereira, L.F. 1992. Relações tectono-estratigráficas entre as unidades Canastra e Ibiá na região de Coromandel, MG. Dissertação de Mestrado, UnB-IG, 73p.
- Pfafstetter, O., 1989. Classificação de bacias hidrográficas: metodologia de codificação. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil: Departamento Nacional de Obras de Saneamento.
- Pimentel M. M. & Fuck R. A. 1992. Neoproterozoic crustal accretion in central Brazil. Geology, 20:375-379.
- Pimentel M.M., Fuck R.A., Jost H., Ferreira Filho C.F., Araújo S.M. 2000. The basement of the Brasília Fold Belt and the Goiás Magmatic Arc. In: Cordani U.G., Milani E.J., Thomaz Filho A., Campos D.A. (eds.). The Tectonic Evolution of South America. Rio de Janeiro, 31st International Geological Congress, p. 195-229.

- Pimentel M.M., Whitehouse M.J., Viana M.J., Fuck R.A., Machado N. 1997. The Mara Rosa arc in the Tocantins Province: Further evidence for Neoproterozoic crustal accretion in central Brazil. Precambrian Research, 81:299-310.
- Pimentel, M. M. et al., 1997. The Mara Rosa arch in the Tocantins province: Further evidence for neoproterozoic crustal accretion in Central Brazil. Precambrian Research, v. 81, n. 3-4, p. 299-310.
- Pimentel, M. M., & Fuck, R. A., 1992. Neoproterozoic crustal accretion in central Brazil. Geology, 20(4), 375-379.
- Pimentel, M. M., Jost, H. & Fuck, R. A. 2004. O embasamento da Faixa Brasília e o Arco Magmático de Goiás. In: Mantesso Neto, V Bartorelli, A., Carneiro, C. D. R. & Brito-Neves, B. B. (eds) Geologia do Continente Sul-Americano: evolução e obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. Beca, São Paulo, 355–368.
- Pimentel, M. M.; Fuck, R. A., 1992. Neoproterozoic crustal accretion in central Brazil. Geology, v. 20, n. 4, p. 375-379.
- Pimentel, M.M. et al., 2011. The tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil, based on SHRIMP and LA-ICPMS U-Pb sedimentary provenance data: A review. Journal of South American Earth Sciences, v. 31, n. 4, p. 345-357, 2011.
- Pimentel, M.M., Jost, H., Fuck, R.A., Armstrong, R.A., Dantas, E.L., Potrel, A., 2003. Neoproterozoic Anatexis of 2.9 Ga old granitoids in the Goiás-Crixás Archean Block, Central Brazil: evidence from new SHRIMP U-Pb data and Sm-Nd isotopes. Geol. USP - Série Científica 3, 1–12.
- Poll, N. J., 1994. Geology of the Zacarias gold-silver-barite deposit, Goiás State, Brazil, The. 1990-1999-Mines Theses & Dissertations.
- Rajgarhia, M.L., 1987. Ground mica. Mica Manufacturing Company. Pvt Ltd., 30p.
- Reeves, C., 2005. Aeromagnetic Surveys; Principles, Practice and Interpretation, Training Programme. NGSA, Nigeria.
- Ribeiro, V. B., Mantovani, M.S.M. & Louro, V.H.A., 2014. Aerogamaespectrometria e suas aplicações no mapeamento geológico. Terrae Didática 10:29-51.
- 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, Edson Eyji et al., 2007. Mapeamento de cobertura vegetal do bioma Cerrado: estratégias e resultados.

Santos, E. R. dos., 2000. Análise florística e estrutura fitossocilógica da vegetação lenhosa de um trecho de cerrado stricto sensu do Parque Estadual do Lajeado, Palmas-TO. 2000.

Santos, H. G. Dos, et al., 2018. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, Embrapa Solos.

- Schobbenhaus, C. et al., 2003. A Geologia do Brasil no Contexto da Plataforma Sul-Americana. In: Bizzi, L. A., Schobbenhaus, C., Vidotti, R. M. & Gonçalves, J. H. (Editores.) Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. CPRM-SGB - Brasília, 2003, 674p; p. 449- 499.
- Sillitoe, R. H., 2010. Porphyry copper systems. Economic geology, v. 105, n. 1, p. 3-41, 2010.
- Sordi, D. A. 2007. Aerogeofísica aplicada a compreensão do sistema de empurrões da Sequência Santa Terezinha de Goiás, Brasil Central. Dissertação de mestrado em geologia n°236, Universidade de Brasília, Brasília.
- Souza, J. O.; Leão Neto, 1984. R. Projeto estudo dos garimpes brasileiros: mapeamento geológico da área do garimpo de esmeralda de Santa Terezinha de Goiás, GO. Relatório Preliminar, DNPM/CPRM, Goiânia.
- Telford, William Murray et al., 1990. Applied geophysics. Cambridge university press.
- Uhlein, A., Fonseca, M. A., Seer, H. J., & Dardenne, M. A., 2012. Tectônica da Faixa de Dobramentos Brasília Setores Setentrional e Meridional. *Geonomos*.
- Valeriano C.M., Dardenne M.A., Fonseca M.A., Simões L.S.A., Seer H.J. 2004. A evolução tectônica da Faixa Brasília. In: V. Mantesso-Neto A. Bartorelli C.D.R. Carneiro B.B. Brito Neves (eds). Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. Beca, São Paulo, p.575-593.
- Valeriano C.M., Pimentel M.M., Heilbron M., Almeida J.C.H., Trouw R.A.J. 2008. Tectonic evolution of the Brasília Belt, Central Brazil, and early assembly of Gondwana. In:
  R.J. Pankhurst, R.A.J. Trouw, B.B. Brito Neves, M.J. De Wit (eds) West Gondwana: pre Cenozoic correlations Across the South Atlantic region. Geological Society, London, Special Publication, 294:197-210.
- Valeriano, C. M. et al., 2004. U–Pb geochronology of the southern Brasılia belt (SE-Brazil): sedimentary provenance, Neoproterozoic orogeny and assembly of West Gondwana. Precambrian Research, v. 130, n. 1-4, p. 27-55, 2004.
- Vasconcelos, R.M.; Metei°, Mi.; Motta, A.C.; Gomes, R.D., 1990. Geofísica para levantamentos geológicos. Rio de Janeiro.
- Velho, J. Gomes, C., Romariz, C., 1998. Minerais Industriais. Universidade de Aveiros, p. 101-110.

- Viana, M.G., Pimentel, M.M., Whitehouse, M.J., Fuck, R.A., Machado, N., 1995. O arco magmático de Mara Rosa, Goiás: geoquímica e geocronologia e suas implicações regionais. Rev. Brasil. Geociên. 25 (2), 111–123.
- 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.
- Walter, B. M. T., 2006. Fitofisionomias do bioma Cerrado: síntese terminológica e relações florísticas.
- Wang, G. F. et al, 1986. Reactions to define the biotite isograd in the Rioke Metamorphic Belt. Kii Peninsula, Japan. Contribution to mineralogy and petrology. (3:9-17.
- Winter, J. D., 2001. An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology. Prentice Hall, New Jersey, 698p.
- Winter, J.D., 2014. Principles of Igneous and Metamorphic Petrology: Pearson New International Edition. Pearson Education Limited, Harlow, UK.

## Apêndices

- Apêndice I Fichas Petrográficas
- Apêndice II Tabela de Pontos
- Apêndice III Mapa de Pontos da Área XI
- Apêndice IV Mapa Geológico da Área XI
- Apêndice V Mapa Integrado do Projeto Mara Rosa

|                         | TF Mara Rosa 2022          |
|-------------------------|----------------------------|
| 31                      | Nome da Rocha: Ortognaisse |
| : x: 8434098; v: 674608 | Unidade: NP3y2mr           |

### Coordenadas (UTM): x: 8434098; Descrição Macroscópica:

Amostra: TF22-XI-

Texto corrido: Rocha de coloração cinza esverdeado, com granulação fina à media, caracterizada por um bandamento milimétrico incipiente. Este bandamento é caracterizado por domínios granoblásticos com cristais de plagioclásio e quartzo, e outros domínios nematoblásticos espaçados com cristais de anfibólio. As bandas granoblásticas ocupam aproximadamente 70% da amostra, enquanto as bandas nematoblásticas ocupam os outros 30%. A foliação é definida pela orientação dos cristais prismáticos de anfibólio, sendo que a amostra de mão apresenta granulação mais fina em suas bordas, tornando a foliação melhor definida nesta porção. Alguns sulfetos são visíveis e ocorrem junto aos cristais de anfibólio. Cristais de epidoto são raros, e ocorrem inseridos nos cristais de anfibólio.



| Descrição Microscópica: |    |          |   |
|-------------------------|----|----------|---|
| Composição Modal:       | %  |          | % |
| Quartzo                 | 35 | Titanita | 2 |
| Plagioclásio            | 30 | Opacos   | 2 |
| Hornblenda              | 25 |          |   |
| Rutilo                  | 2  |          |   |
| Epidoto                 | 4  |          |   |
| Paragênese:             |    |          |   |
|                         |    |          |   |

1ª paragênese: Qtz + Pl + Hbl + Ep

### Descrição:

Rocha de granulação média, definida por uma matriz granoblástica composta por cristais de quartzo e plagioclásio predominantemente equigranulares e subedrais. Apresenta domínios nematoblásticos espaçados, caracterizados por cristais prismáticos de hornblenda em meio à matriz granoblástica. Tanto os minerais prismáticos, quanto os que compõem a matriz apresentam uma orientação preferencial, o que define a foliação da rocha. Os plagioclásios apresentam, em sua maioria, composição de Andesina, com teor An40, aproximadamente. Os cristais de quartzo apresentam feições deformacionais representadas pelo processo de migração de borda de grãos, por apresentar contatos lobados. A extinção ondulante anômala do quartzo também registra a deformação. Pequenos grãos de rutilo ocorrem inclusos nos cristais de anfibólio. Epidotos são raros e ocorrem em cristais pequenos, geralmente em contato com o anfibólio. Localmente, ocorrem ripas de talco, nas bordas do anfibólio, típicas de alteração.

| Figura 4: Feições de recristalização, migração de borda de grão em figura 5: Recristalização de quartzo entre cristais de plagioclásio       Diagrama composional:         Discussão:       Diagrama composional:       Diagrama composional:         A amostra apresenta feições deformacionais nas bordas de grão de quartzo. O processo em questão, se dá pela migração de borda de grãos, que é registrado pela formação de contatos lobados entre cristais de quartzo. Tal processo se dá em temperaturas superiores a 550°C. Alguns cristais de plagioclásio exibem feição deformacional se dá pela extinção ondulante com maclas, indicando presença de deformação nestes cristais. Devido ao bandamento presente na rocha, e pela composição mais rica em quartzo e plagioclásio, optou-se por classificar a rocha como uma ortognaisse tonalítico. <ul> <li></li></ul>  | <image/> <image/>   | <image/> <caption></caption>   | Figura 3: Matriz granoblástica composta majoritariamente por quartzo e plagioclásio.  |
|--|---|--|---|
| quartzo.       Discussão:       Diagrama composional:         A amostra apresenta feições deformacionais nas bordas de grão de quartzo. O processo em questão, se dá pela migração de borda de grãos, que é registrado pela formação de contatos lobados entre cristais de quartzo. Tal processo se dá em temperaturas superiores a 550°C. Alguns cristais de plagioclásio exibem feição deformacional se dá pela extinção ondulante com maclas, indicando presença de deformação nestes cristais. Devido ao bandamento presente na rocha, e pela composição mais rica em quartzo e plagioclásio, optou-se por classificar a rocha como uma ortognaisse tonalítico. <sup>1</sup> - alcal-fotograr superiores a 50°C - Alguns cristais de plagioclásio exibem feição deformacional se dá pela extinção ondulante com maclas, indicando presença de deformação nestes cristais. Devido ao bandamento presente na rocha, e pela composição mais rica em quartzo e plagioclásio, optou-se por classificar a rocha como uma ortognaisse tonalítico. <sup>1</sup> - alcal-fotograr superiores quartz-refnormacional se dá pela extinção indicatores quartz-refnormacional se da pela extinção a deformação nestes cristais. Devido ao bandamento presente na rocha, e pela composição mais rica em quartzo e plagioclásio, optou-se por classificar a rocha como uma ortognaisse tonalítico. <sup>1</sup> - alcal-fotograr superiores quartz-refnormacional se da pela extinção deformação nestes cristais.          Facies Metamórfica: Anfibolito <sup>2</sup> - alcador superiores quartz-refnormacional e quartz-re  | Figura 4: Feições de recristalização, migração de borda de grão em  | Figura 5: Recristalização de quartzo entre cristais de plagioclásio  |   |
| Discussão:       Diagrama composional:         A amostra apresenta feições deformacionais nas bordas de grão de quartzo. O processo em questão, se dá pela migração de borda de grãos, que é registrado pela formação de contatos lobados entre cristais de quartzo. Tal processo se dá em temperaturas superiores a 550°C. Alguns cristais de plagioclásio exibem feição deformacional ace deformação nestes cristais. Devido ao bandamento presente na rocha, e pela composição mais rica em quartzo e plagioclásio, optou-se por classificar a rocha como uma ortognaisse tonalítico.          1 - alcal-indepart         2 - monocoleme         3 - diorite, gabtro         quartz- de         quartz- de | quartzo.  |  |   |
| A amostra apresenta terçoes deformacionals nas bordas de grao de quartzo. O processo em questao, se da pela<br>migração de borda de grãos, que é registrado pela formação de contatos lobados entre cristais de quartzo. Tal<br>processo se dá em temperaturas superiores a 550°C. Alguns cristais de plagioclásio exibem feição deformacional<br>caracterizada por maclas de deformação nestes cristais. Devido ao bandamento presente na rocha, e pela composição<br>mais rica em quartzo e plagioclásio, optou-se por classificar a rocha como uma ortognaisse tonalítico.<br>Facies Metamórfica: Anfibolito<br>Classificação: Hbl Gnaisse Tonalítico   | Discussão:  | de coñe de musica o ano en musica da de la   | Diagrama composional:   |
| indicando presença de deformação nestes cristais. Devido ao bandamento presente na rocha, e pela composição<br>mais rica em quartzo e plagioclásio, optou-se por classificar a rocha como uma ortognaisse tonalítico.<br>Facies Metamórfica: Anfibolito<br>Classificação: Hbl Gnaisse Tonalítico   | A amostra apresenta teições deformacionais nas bordas<br>migração de borda de grãos, que é registrado pela form<br>processo se dá em temperaturas superiores a 550°C. Alg<br>caracterizada por maclas de deformação. Outra feição d | de grao de quartzo. O processo em questão, se da pela<br>nação de contatos lobados entre cristais de quartzo. Tal<br>guns cristais de plagioclásio exibem feição deformacional<br>eformacional se dá pela extinção ondulante com maclas, | 1 - alfal-feldspar<br>syenite<br>2 - morzodionte<br>morzogabbro<br>Gautzulich<br>creationet   |
| Facies Metamórfica: Anfibolito     symite     symite     monzonite chinorogadora, *       Classificação: Hbl Gnaisse Tonalítico     A     1     symite     monzonite 2   | indicando presença de deformação nestes cristais. Devid<br>mais rica em quartzo e plagioclásio, optou-se por classifica   | lo ao bandamento presente na rocha, e pela composição<br>ar a rocha como uma ortognaisse tonalítico.   | 3 - diorite, gabbro granitoid<br>grane diorite<br>q-alk-bp quartz quartz quartz quorizodiorite<br>q-alk-bp quartz quartz quorizodiorite |
| Classificação: Hbl Gnaisse Tonalítico  | Facies Metamórfica: Anfibolito  |  | A 1 syenite monzonite 2 3 p   |
|  | Classificação: Hbl Gnaisse Tonalítico   |  |   |

#### TF Mara Rosa 2022 Nome da Rocha: Epidoto-Diopsídio-Hornblenda Calssisilicática Grossa Unidade: Unidade hidrotermal - NP3ep

### Amostra: TF22-XI-33 Coordenadas (UTM): x: 8432864; y: 672546 Descrição Macroscópica:

Texto corrido: Rocha de coloração cinza esverdeado, granulação fina a grossa devido um bandamento textural. Na amostra de mão, ocorrem dua bandas com granulação fina a média e foliação apertada marcada pela textura nematoblástica, caracterizada por cristais prismáticos de anfibólio. Nestes domínios mais finos, ocorrem segregações quartzosas bouldinadas. O domínio central da amostra é caracterizado por uma granulação média a grossa, sendo composta por cristais grossos de clinopiroxênio, anfibólios e epidotos de granulação média com quartzo e plagioclásio nas regiões intergranulares. Neste domínio a textura é predominantemente granoblástica. Na borda superior da amostra ocorre outro domínio com granulação mais grossa e cristais de clinopiroxênio e anfibólio. Ocorrem sulfetos disseminados e em baixas concentrações ao longo de toda a amostra. Os veios de quartzo bouldinados são posteriores, pois infletem a foliação da rocha de acordo com seu crescimento.



| Descrição Microscópica: |    |          |   |  |
|-------------------------|----|----------|---|--|
| Composição Modal:       | %  |          | % |  |
| CPX (Diopisídio)        | 40 | Epidoto  | 3 |  |
| Hornblenda              | 35 | Allanita | 2 |  |
| Quartzo                 | 10 |          |   |  |
| OPX                     | 10 |          |   |  |
| Plagioclásio            | 5  |          |   |  |
|                         |    |          |   |  |

#### Descrição:

Rocha de granulação média a grossa, com textura predominantemente granoblástica com cristais grossos de clinopiroxênio e médios de hornblenda. Os cristais de anfibólio encontram-se com uma orientação incipiente, localmente, formando domínios nematoblásticos. Os cristais de clinopiroxênio possuem coloração bege esverdeada com extinção obliqua. Nota-se feições de consumo e instabilidade com ocorrência de "buracos" nos cristais de CPX, podendo indicar feição de metassomatismo. Observa-se ocorrencia de ortopiroxênio apresentando textura poiquilítica, com cristais pequenos de plagioclásio e epidoto inseridos em fenocristais de ortopiroxênio, indicando mineral reliquiar. Nestes cristais de OPX, ocorrem exsoluções ao longo das clivagens, de cor marrom, provavelmente óxidos, o que pode caracterizar uma reação química característica de processos figneos de alta temperatura além de apresentar contatos vermiformes. Os cristais de plagioclásio geralmente estão inclusos em OPX e possuem composição Andesina An~40-48. Pequenos cristais de quartzo distribuem-se ao longo da lâmina intersticialmente.

| Figura 1: Textura granoblástica com quartzo intersticial indicando<br>equilíbrio de cpx+qtz+hbl a nicois descruzados  | Figura 2: Textura granoblástica com quartzo intersticial a nicois<br>cruzados   | Figura 3: Exsoluções ao longo de clivagens em opx na forma de<br>óxido, indicativo de instabilidade e oxidação. |
|---|---|---|
|   |   |   |
| Figura 4: Cristal de ortopiroxenio reliquiar com inclusoes de epidoto e<br>plagioclásio.  | Figura 5: Textura nematoblástica localizada com predominio de<br>hornblenda   | Figura 6: Buracos em diopisidio, indicativo de instabilidade.   |
| Discussão:  |   | Diagrama de fases   |
| Esta rocha apresenta estrutura foliada e concentração cor<br>mais grossa, que foi laminado, configura-se com uma co<br>apresentarem plagioclásio < 10%. A textura ígnea pres<br>portanto a classificação da mesma ocorre nesse limiar, G<br>porém a superimposição do metamorfismo é percebida<br>nematoblástica incipiente e feições de metassomatism<br>cisalhamento a qual pode ter sido afetada por um metasso<br>contato com ortognaisses e percolação de fluidos pela zor<br>A rocha consiste de uma faixa é composta por minerais ca<br><b>Facies metamórfica:</b> Anfibolito superior | siderável de hornblenda, porém, o domínio de granulação<br>mposição próxima ao campo das rochas ultramáficas, por<br>servada na amostra é característica de rochas gabróicas,<br>abro/Diorito. A mineralogia ígnea encontra-se preservada,<br>a a partir da presença de hornblendas em uma textura<br>to. Essa amostra localiza-se próximo a uma zona de<br>matismo provavelmente em virtude da proximidade com o<br>na de cisalhamento, resultado de metamorfismo de contato.<br>lcissilicáticos em meio à encaixante de anfibolito. | C C C C C C C C C C C C C C C C C C C   |
| Classificação: Calcissificatica   |   |   |

|   | TF Mara Rosa 2022   |                  |   |                |  |  |
|---|---|------------------|---|----------------|--|--|
| Amostra: TF22-XI-43 Nome da Rocha: Grt Anfibolito |   |                  | Nome da Rocha: Grt Anfibolito   |                |  |  |
|   | Coordenadas (UTM): x: 8430931; y: 674137  |                  | Unidade: NP1mr1   |                |  |  |
|   | Descrição Macroscópica:   |                  |   |                |  |  |
|   | Rocha de coloração preto esverdeado, granulação fina a média, com crist   | tais finos de ar | nfibólio e plagioclásio e   |                |  |  |
|   | cristais finos a médios de granada. A textura é nematoblástica, definida pela orientação dos cristais de anfibólio, o |                  |   |                |  |  |
|   | que caracteriza a folição da amostra. É composta por anfibólio, granada,  | plagioclásio, c  | uartzo e epidoto. Ocorrem   |                |  |  |
|   | domínios em que a granulação é mais fina, e as granadas encontram-se se   | egregadas em o   | certas bandas. Em outros  |                |  |  |
|   | domínios, as granadas apresentam granulação média, estando dispostas e  | m bandas mais    | s ricas em plagioclásio, em   |                |  |  |
|   | meio à matriz nematoblástica. Epidoto ocorre em cristais finos, e em cont   | tato com os an   | fibólios.   |                |  |  |
|   | Descrição Microscópica:   |                  |   |                |  |  |
|   | Composição Modal:   | %                |   | %              |  |  |
|   | Hornblenda  | 35               | Epidoto   | 5              |  |  |
|   | Plagioclásio  | 20               | Opacos (ilmenita+hematita, magnetita, pirita)                             | 5              |  |  |
|   | Quartzo   | 15               |   |                |  |  |
|   | Granada   | 10               |   |                |  |  |
|   | Muscovita   | 10               |   | 1              |  |  |
|   | Paragênese:   |                  |   | -              |  |  |
|   | $1^{a}$ paragênese: Hbl + Pl + Qtz + Grt  |                  |   |                |  |  |
|   | $2^{a}$ paragênese: Ep + Hbl + Pl + Qtz + Ms  |                  |   | <del></del>    |  |  |
|   | Rocha de granulação fina com uma foliação milimétrica definida pela tex   | xtura nematob    | lástica dos cristais de hornblenda. A amostra possui um bandamento incip  | viente formado |  |  |
|   | por bandas granoblásticas finas com cristais de quartzo e plagioclásio, e   | e outras banda   | s nematoblásticas com cristais de hornblenda. Diversos cristais de granad | a ocorrem em   |  |  |
|   | textura granoblástica entremeados entre cristais de anfibólio. Cristais de  | muscovita con    | m hábito micáceo e, por vezes, crescimento radial, ocorrem em contato c   | om os cristais |  |  |
|   | de hornblenda. Epidoto ocorre em regiões intergranulares, também em co  | ontato com o a   | nfibólio. O plagioclásio apresenta ~An48, com composição de andesina.     |                |  |  |
|   | Opacos: Ocorre magnetita por toda a lamina, com expressão também ao r   | redor da grana   | da. As ilmenitas mostram exsolução com hematita, e também ocorre pirita   |                |  |  |
|   |   |                  |   |                |  |  |
|   |   |                  |   |                |  |  |



|   | TF Mara Rosa 2022  |  |  |   |  |  |
|---|--|--|--|---|--|--|
| Amostra: TF22-XI-45 Nome da Rocha: Actinolitito   |  |  |  |   |  |  |
| Coordenadas (UTM): x: 8432202; y: 675031 Unidade: NP1mr1  |  |  |  |   |  |  |
| Descrição Macroscópica:   |  |  |  |   |  |  |
| Rocha de granulação fina, com textura nematoblástica predominante. Sua  | a composição é   | e de pelo menos 80% de                 |  |   |  |  |
| actinolita e os outros 20% são compostos por minerais mais claros, prova  | avelmente plag   | ioclásios. A estrutura é               |  |   |  |  |
| caracterizada por uma foliação fina e apertada, definida pelos cristais de                                      | actinolita. Oco  | orrem sulfetos disseminados            | 7 cm   |   |  |  |
| em concentrações muitos baixas.   |  |  | 6  |   |  |  |
|   |  |  |  |   |  |  |
|   |  |  | 3  |   |  |  |
|   |  |  | 2  |   |  |  |
|   |  |  | 0  |   |  |  |
|   |  |  |  |   |  |  |
|   |  |  |  |   |  |  |
| Deserição Mieroscópico:   |  |  |  |   |  |  |
| Composição Modele   | 0/2  | 1                                      |  | 0/2                                     |  |  |
| A atinalita   | 20   | Homblanda                              |  | 2                                       |  |  |
| Plagiaglésia  | 6  | Tiomolenda                             |  | 2                                       |  |  |
|   | 2  |  |  |   |  |  |
| Ananna  | 1  |  |  |   |  |  |
| Oreana  | 1  |  |  |   |  |  |
| Barra   | 1  |  |  |   |  |  |
| Tarageneses:  |  |  |  |   |  |  |
| 1 <sup>-</sup> paragenese: Act + P1 (Ab)  |  |  |  |   |  |  |
| D   |  |  |  |   |  |  |
| Descrição:  | . C: 1 1:  | interior de confliction Orando         | 1. (1:   |   |  |  |
| Kocha de granulação media, com textura nematoblastica predominante d  |  | lentação de antibolios. Os anti        | ibonos apresentam piecoroismo com tons ver   | , i i i i i i i i i i i i i i i i i i i |  |  |
| verdes escuros. Plagioclasios de granulação fina ocorrem dispersos ao lo  | ngo da lamina  | intersticialmente. Allanita e go       | bethita foram observados como minerais ace   | ssorios,                                |  |  |
| derivados de alteração da actinolita. Os opacos são raros, e, apresentam-                                       | se com bordas  | oxidadas para goethita. Crista         | ais de hornblenda são pequenos e ocorrem en  | ntre cristais de                        |  |  |
| actinolita.   |  |  |  |   |  |  |
|   |  |  |  |   |  |  |
|   |  |  |  |   |  |  |
|   |  |  |  |   |  |  |
|   | 1000 and 1000 and  |  |  | AL                                      |  |  |
|   |  | CANADA STATE OF THE STATE OF THE STATE |  |   |  |  |
|   | 1.1.2.2  | a set of the set of                    |  | 1997 B. S. M.                           |  |  |
|   | A A A  |  |  |   |  |  |
|   |  |  |  | and the second                          |  |  |
|   |  |  |  |   |  |  |
|   |  |  |  |   |  |  |
|   |  |  |  |   |  |  |
|   |  | and the second second                  |  |   |  |  |
|   |  |  |  |   |  |  |
| Auger and a second s | and the second s |  |  | State of the                            |  |  |
|   | and the second second  |  |  |   |  |  |
|   | the and the second   | 0.2mm                                  |  | 0,5mm                                   |  |  |
| Eigura 2: Cristais  | s de actinolita com  | cores de interferência alta nicóis     | Figure 2: Cristoir de catinelite com concete de instali  | li de de                                |  |  |
| Figura 1: oxidos com bordas de goetita entre cristais de actinolita   | s de actiliona com   | cores de interferencia ana neois       | Figura 3: Cristais de actinolita com aspecto de instabi  | iidade                                  |  |  |
|   |  |  |  |   |  |  |
|   |  |  |  |   |  |  |
|   |  |  |  | 1. 7. 64                                |  |  |
|   |  |  | A DECEMBER OF THE  | and an all                              |  |  |
|   | Contraction of the   | And And                                | A THE REAL AND A THE AND A | L. C. Parts                             |  |  |
|   |  | a sherry states                        |  |   |  |  |
|   |  |  |  | 2-1-5-1                                 |  |  |
|   | 16 <sup>70</sup>   |  | MARCHEN MARCHINA   | -                                       |  |  |
|   |  |  |  | this and I                              |  |  |
|   | -  |  |  | and the second                          |  |  |
|   |  |  | The second second second   | 25 5                                    |  |  |
|   | a manufactor   |  |  |   |  |  |
| OSmm  |  | 0.5mm                                  | the second s   |   |  |  |
|   |  |  |  |   |  |  |
| Figura 4: cristais de actinolita com pleocroismo de tons verde claro Figura 5: Texture                          | a nematoblástica   |  | Figura 6: Cristais de hornblenda entre actinolitas   |   |  |  |
| rigura 4. cristais de actitionia com precercismo de tons verde ciaro  | a nematoonastica   |  | rigura of oristais de noristenda entre actionais   |   |  |  |
| Discussão:  |  |  | Diagrama de fases:   |   |  |  |
| Sendo a textura nematoblástica e a composição da rocha predominantem  | ente de anfiból  | io, não encontra-se texturas           | А  |   |  |  |
| deformacionais além da orientação principal dos minerais resultando na f  | foliação da rocl   | ha. O protolito é difícil de ser       | $\wedge$   |   |  |  |
| definido, mas consiste de uma rocha formada essencialmente por actinoli   | ita podendo-se   | sugerir que o seu protolito é          |  |   |  |  |
| composto de minerais calcissilicaticos. A assembléia mineral permite afin                                       | rmar que não fo  | oi atingida a facies granulito.        | / \ + qtz  |   |  |  |
| pois é constituida por minerais hidratados. A lém disso, actinolita é indica                                    | ativo de facies  | xisto verde. Observa-se a              |  |   |  |  |
| ocorrencia de nequenos cristais de hornhlenda, indicando que a rocha ati  | ngiu condições   | de facies anfibolito. Tendo            | Pig  |   |  |  |
| lem vista o contexto regional nodemos afirmar que o amostra insera as no  | facies visto ve  | arde alto a antibalito                 |  |   |  |  |
| in visu o contexto regional podenios animar que a anostra insere-se na  | actes Aisto Ve   |  | g g  | rt                                      |  |  |
|   |  |  |  |   |  |  |
| Facies metamórfica: Anfibolito  |  |  |  | 7 F                                     |  |  |
| Classificação: Actinolitito   |  |  | di nbi   |   |  |  |

Facies metamórfica: Anfibolito Classificação: Actinolitito

| Coordenadas (UTM): x: 8431302; y: 671462  |  | Unidade: NP1mr1  | indente  |  |
|---|--|--|--|--|
| Descrição Macroscópica:   |  | •  |  |  |
| Rocha de coloração cinza escuro, granulação muito fina e aspecto maciç  | <ul> <li>o. É constituída</li> </ul>   | a majoritariamente por   |  |  |
| hornblenda, quartzo e plagioclásio. A textura é nematoblastica, definida  | pelos cristais o   | rientados de anfibólio, o que  |  |  |
| caracteriza a foliação milimétrica da amostra. Alguns domínios mais enri  | iquecidos em p   | lagioclásio são presentes.   | 6  |  |
| Cristais muito finos de epidoto ocorrem de forma esparsa e apresentam o   | cor amarelo esv  | erdeado.   | 5  |  |
|   |  |  | 4  |  |
|   |  |  | 3  |  |
|   |  |  | 1  |  |
|   |  |  | 0  | and the second sec |
|   |  |  |  |  |
|   |  |  |  |  |
| Descrição Microscópica:   |  | 1  |  | 1  |
| Composição Modal:   | %  |  |  |  |
| Homblenda   | 30   |  |  |  |
| n lagioclásio   | 18   |  |  |  |
| enidoto   | 2  |  |  |  |
| Paragêneses   | 2  |  |  |  |
| $1^{a}$ paragênese: Hbl + Pl + Otz  |  |  |  |  |
| $2^{a}$ paragénese: Ep + Hbl + Pl + Otz   |  |  |  |  |
| Descrição:  |  |  |  |  |
| Rocha de granulação fina e textura predominantemente nematoblástica o   | com cristais eq  | uigranulares. Domínios grano   | blásticos são presentes em bandas milimétr   | icas de quartzo  |
| e plagioclásio. A hornblenda apresenta pleocroismo forte e habito pris  | mático com co  | ontatos retos com quartzo e j  | plagioclásio. Em algumas porções tem bor   | das irregulares  |
| podendo indicar desequilíbrio com a assembleia mineral. O quartzo tan   | nbém equigran  | ular, apresenta contatos polig   | onais e cor de interferência baixa de amar   | elo a cinza. Os  |
| cristais de plagioclásio apresentam-se em maior concentração nos domín  | nios granoblást  | icos. O teor de anortita é ~Ai   | n36 ~An38 ~An40, conferindo a composiçã  | ão de andesina.  |
| Ocorrem óxidos de ferro entre cristais de hornblenda e quartzo. O epid  | loto apresenta-  | se em cristais subedrais, com  | textura vermiforme em contato com os an  | fibólios, dando  |
| indícios da atuação de processos secundários.   | -  |  |  |  |
|   |  |  |  |  |
|   |  |  |  |  |
|   | 1. 1. 2.   |  |  | A 108  |
|   | 1  |  |  | 1  |
|   | 112  |  |  |  |
| Total dend and a low  |  |  |  | C. Storad  |
|   | S. 7.3.  |  |  |  |
| The share and the second second   | and the second   |  | A State of the second s |  |
|   | 12.20  |  |  |  |
| Decorrect a contract and a second   | and the main the second |  |  |  |
|   |  |  | CONTRACTOR OF A CARLON   |  |
|   |  | A WAR IN   |  | they - m   |
|   |  |  |  | Stars 1  |
|   |  | 0.2mm  | the second states of the   | 0.5mm  |
|   |  |  |  |  |
| Figura 1: l'extura nematoblastica definida por cristais de homblenda a Figura 2: l'extur<br>nicois descruzados nicois cruzados. | a nematoblastica d   | efinida por cristais de hornblenda a   | Figura 3: Textura granoblastica em meio a bandas m<br>nematoblástica em nicois descruzados.  | aficas de textura  |
|   |  | the second second  |  |  |
|   | a star   |  |  |  |
|   | 1. 1. 1. 10  | The second second second   |  |  |
|   | a  | CARLES TO SA   |  |  |
|   | a hard   |  |  |  |
|   |  |  |  |  |
|   |  |  |  |  |
|   | A CONTRACTOR   | 271 201 04103  |  |  |
|   |  |  |  |  |
| a contraction of the second                 |  | and the second second  |  |  |
|   | and the  | 0.2mm  |  |  |
|   |  | and the second s |  |  |
| Figura 3: Textura granoblastica em meio a bandas máficas de textura Figura 4: Cristal   | de epidoto com te  | xtura vermiforme em nicois   |  |  |
| nematoblástica em nicois cruzados. cruzados   |  |  |  |  |
| Discussão:  | -  |  | Diagrama de fases:   |  |
| Há feições de recristalização com cristais pequenos e equidimensionais o  | le quartzo e pla   | igioclásio. Observa-se   | <u>م</u>   |  |
| toliação e bandamento. As assembléias mostra desequilíbrio no que diz i   | respeito aos con   | ntatos irregulares de  | Î  |  |
| hornblenda e textura vermicular em epidoto, além disso há indicativo de   | oxidação na ro   | cha. A rocha atingiu facies  |  |  |
| anfibolito com retrometamorfismo para facies epidoto anfibolito.  |  |  | / + qtz  |  |
|   |  |  | pla /  |  |
|   |  |  |  |  |
|   |  |  |  |  |
|   |  |  |  | grt  |
| Facios motomón6cos Enidote an6k -124-   |  |  | c  | F  |
| <b>Classificação:</b> Quartzo Anfibalito  |  |  | di hbl   |  |
| Ciassingayau, Quartzo Announo   |  |  |  |  |

TF Mara Rosa 2022

Amostra: TE22 XI 47

|   | TF Mara Rosa 2022                |   |   |  |  |  |
|---|----------------------------------|---|---|--|--|--|
| amostra: TF22-XI-62 Nome da Rocha: Hornblendito   |                                  |   |   |  |  |  |
| Coordenadas (UTM): x: 8434761; y: 670489  |                                  | Unidade: NP1mr1   |   |  |  |  |
| Descrição Macroscopica:<br>Rocha de coloração preta esverdeada e granulação variando de média a g<br>composta por cristais médio a grossos de hornblenda. Pequenas massas d<br>podendo se tratar de plagioclásios ocupando porções entre os cristais de h |                                  |   |   |  |  |  |
|   |                                  |   |   |  |  |  |
| Descrição Microscópica:   |                                  | -   |   |  |  |  |
| Composição Modal:   | %                                |   |   |  |  |  |
| Hornblenda Verde  | 95                               |   |   |  |  |  |
| Epidoto   | 2                                |   |   |  |  |  |
| Opacos  | 2                                |   |   |  |  |  |
| Goethita  | 1                                |   |   |  |  |  |
| Paragênese:<br>lª paragênese: Hbl + Ep  |                                  |   |   |  |  |  |
| Deseriação  |                                  |   |   |  |  |  |
| Rocha de granulação média a grossa, composta quase que integralmente p<br>em regiões intergranulares e com hábito euédrico. Os minerais opacos ocu<br>opaco, podendo se tratar de uma magnetita.  | por cristais de<br>upam fraturas | hornblenda em uma textura d<br>e espaços entre os cristais de | iablástica. Cristais de epidoto finos a médios encontram-se<br>hornblenda. A goethita ocorre como oxidação do mineral |  |  |  |
| Figura 1: Textura diablástica e predominio de cristais de homblenda a       Figura 2: Textura   | diablástica e pred               | lominio de cristais de hornblenda a                           | Figura 3: cristais de hornblenda nicois descruzados.  |  |  |  |
|   |                                  |   |   |  |  |  |
| Figura 4: cristais de hornblenda nicois cruzados. Figura 5: Cristal d   | le epidoto euédric               | 20  |   |  |  |  |
| Discussão:  |                                  |   | Diagrama de fases   |  |  |  |
| Rocha de composição predominante de anfibólio, na qual não é possível v<br>somente cristais grandes e bem desenvolvidos           Facies metamórfica: Anfibolito  | visualizar nenł                  | numa feição de deformação,                                    | c di hbi  |  |  |  |

|   | TF Mara | Rosa 2022                   |                    |    |
|---|---------|-----------------------------|--------------------|----|
| Amostra: TF22-XI-64   |         | Nome da Rocha: Biotita Orto | gnaisse Tonalitico |    |
| Coordenadas (UTM): x: 8434118; y: 669040  |         | Unidade: NP3γ2mr            |                    |    |
| Descrição Macroscópica:   |         |                             |                    |    |
| Rocha leucorática de granulação grossa a média e textura granoblastica com foliação definida por cristais de biotita. Constituida por cristais de biotita lamelares, hornblenda cuja clivagem é possivel ver, cristais pequenos de coloração verde claro geralmente nos dominios máficos definidos como epidoto, cristais de plagioclásio de cor branca e com clivagens visíveis e pequenos critais de quartzo transparentes. Rocha homogênea |         |                             |                    |    |
| Descrição Microscópica:   |         |                             |                    |    |
| Composição Modal:   | %       |                             |                    | %  |
| plagioclasio  | 30      | apatita                     |                    | 5  |
| quartzo   | 10      | epidoto                     |                    | 15 |
| biotita   | 15      | opaco (ilmenita+hematita)   |                    | 5  |
| hornblenda  | 20      |                             |                    |    |

#### hornblenda Paragêneses:

1ª paragênese: PI + HbI + Bt + Qtz + Ep

### Descrição:

Amostra de granulação media a grossa constituida por biotita, epidoto, apatita, quartzo, plagioclásio e hornblenda. Predomina textura lepidoblastica definida por cristais de biotita, resultando em um bandamento incipiente observando-se dominios máficos e dominios félsicos. Nos dominios felsicos temos textura granoblastica ocorrendo quartzo e plagioclásio com bordas lobadas. O plagioclásio possui maclas polissintéticas, apresentando composição de andesina com teor proximo a An40 e não apresenta estrutura deformacional. Os cristais de apatita são de tamanho pequeno, incolor e de relevo alto, por vezes apresenta fraturas com oxido de ferro. O epidoto é euédrico e bem formado com fraturas e zonação tipica a nicois descruzados na seção basal de cores de interferencia alta. A biotita, contém pleocroismo forte para marrom escuro, cores de interferencia alta. A hornblenda é pleocróica de cor verde escuro e ocorre com contatos irregulares com demais minerais na lamina como o plagioclásio e quartzo o que indicaria uma textura reliquiar ignea. Ocorre cristais de muscovita pequenos, entre grandes cristais de plagioclásio e quartzo, evidenciando provavelmente alteração hidrotermal


| TF Mara                                  | Rosa 2022                            |
|--|--------------------------------------|
| Amostra: TF22-XI-72A                     | Nome da Rocha: Ortognaisse Diorítico |
| Coordenadas (UTM): x: 8430791; y: 667195 | Unidade: NP3y2mr                     |
|  |                                      |

# Descrição Macroscópica:

Rocha de coloração leucocrática constituida por biotita, granada, quartzo, plagioclásio, hornblenda e sulfetos. Há dois dominios principais, um deles mais homogeneo e de granulação média a fina e outro dominio de granulação grossa com cristais de biotita e granada mais desenvolvidas. A textura predominante é lepidoblastica e granoblástica com profiroblastos de granada, ora rotacionados e hora não, associados a biotita. Os sulfetos ocorrem de forma disseminada na rocha, sendo observados calcopirita e pirita de cor mais prateada e com alguns cristais euedricos. A rocha tembém apresenta magnetismo.



| Descrição Microscópica: |    |             |   |  |  |  |
|-------------------------|----|-------------|---|--|--|--|
| Composição Modal:       | %  |             | % |  |  |  |
| quartzo                 | 10 | Microclínio | 3 |  |  |  |
| plagioclásio            | 40 | clorita     | 1 |  |  |  |
| hornblenda              | 18 | calcopirita | 3 |  |  |  |
| biotita                 | 10 | magnetita   | 5 |  |  |  |
| muscovita               | 2  | pirita      | 2 |  |  |  |
| granada                 | 5  | zircão      | 1 |  |  |  |
| Paragêneses:            |    |             |   |  |  |  |

la paragên ese: Qtz + Bt + Hbl + Pl + Grt + Chl

## Descrição:

Amostra de granulação grossa e textura granoblástica com domínios nematoblásticos/lepidoblásticos constituida por muscovita, biotita, quartzo, plagioclásio, granada, hornblenda. Os cristais de muscovita são incolores, sem pleocroismo com cores de interferencia altas, ocorrem com cristais pequenos inclusos em quartzo e plagioclásio ou como grandes cristais. A biotita é bastante comum na rocha com pleocroismo forte para tons marrons e com inclusoes de zircão de tamanho pequeno e com halo pleocróico. Ocorrem cristais grandes de microclínio de até 1 cm, com contatos irregulares. As micas definem uma textura lepidoblastica da rocha e a trama de foliação da mesma. Cristais grandes de granada subeudral com inclusoes de quartzo e algumas fraturas ocorrem no dominio melanocrático e estão rotacionadas. O epidoto ocorre de forma disseminada e também incluso em biotita. O quartzo com extinção ondulante, varia de cristais grandes a pequenos. Os plagioclásios são de granulação média e com maclas polissintéticas que indicam composição An39 An42. A maioria dos minerais ocorrem.

Opacos: Pirita em contato com calcopirita e magnetita. Magnetita segundo planos de foliação com habito prismático ou como cristais subédricos de 3mm.



Classificação: Granada Biotita Gnaisse Diorítico

|   | TF Mara   | Rosa 2022  |                        |   |
|---|---|--|------------------------|---|
| Amostra: TF22-XI-72B  |   | Nome da Rocha: Metagranodi   | ioritico/ Metatonalito |   |
| Coordenadas (UTM): x: 8430791; y: 667195  |   | Unidade: NP3γ2mr   |                        |   |
| Descrição Macroscópica:   |   | -  |                        |   |
| Rocha de coloração melanocrática e granulação fina a média e de carater<br>constituida por cristais de plagioclásio de cor branca, biotita, hornblen<br>ocorrencia de sulfetos, mas observa-se porção com coloração amarronza<br>ser alteração. | r homogêneo. N<br>da e quartzo c<br>da que está sol | Vão apresenta bandamento. É<br>om textura granular. Não há<br>bre alguns minerais, podendo |                        |   |
| Descrição Microscópica:   |   |  |                        |   |
| Composição Modal:   | %   |  |                        | % |
| hornblenda  | 38  | muscovita  |                        | 4 |

biotita

epidoto

microclínio Paragênese: 1ª paragênese: Hbl + Qtz + Pl + Kfs + Ms

 $1^a$  paragênese: Hbl + Qtz + Pl + Kfs + Ms  $2^a$  paragênese: Ep + Pl + Hbl + Bt + Qtz + Ms + Kfs

<u>Descrição:</u>

plagioclasio

quartzo

Rocha de granulação media e textura granular constituida por hornblenda verde, plagioclásio, microclínio, quartzo, biotita e muscovita. A hornblenda verde de pleocroismo forte ocorre com bordas irregulares e alguns contatos retos podendo conter inclusões de quartzo como se tivesse corroída. As clivagens formam uma clivagem em 120°. Os cristais de quartzo possuem bordas irregulares e por vezes estão inclusos cristais de muscovita. Cristais de plagioclásio também apresentam essas inclusões e caracterizam-se pelas geminações polissintetica do tipo albita teor ~An45 (andesina). As muscovitas também ocorrem como cristais de tamanho médio de até 1 cm mas em pouca quantidade. Possuem hábito acicular/prismático e estão associados a cristais de quartzo. Cristais de epidoto também estão em pouca quantidade e possuem caracteristica cor de interferencia alta e estão associados a biotitas alteradas, cuja cor é amarronzada, sem pleocroismo e não observa-se cor de interferencia alta com aspecto mosqueado. Plagioclasios possuem óxido de ferro segundo clivagens. Hornblenda alterando para epidoto.

30

19



Classificação: Ortognaisse tonalítico

| Ponto       | Data       | υтм_х ι   | TM_Y E | levacao (m) | Tipo de<br>afloramento | Litotipo               | Unidade                      | Sigla<br>Unidade | Descrição  | Sn_dir_merg | Sn_merg | Ln_dir_merg | Ln_merg | Fr dir_merg | Fr merg |
|-------------|------------|-----------|--------|-------------|------------------------|------------------------|------------------------------|------------------|--|-------------|---------|-------------|---------|-------------|---------|
| PC1         | 11/11/2022 | 8433759 6 | 70341  | 341         | unorumento             | Laterita               |                              | omaaac           | Concreções lateríticas   |             |         |             |         |             |         |
| TF22-XI-01  | 11/11/2022 | 8431760 6 | 75202  | 356         | Corte De Estrada       | Saprolito              |                              |                  | Alteração de plg com segregação de cor preta nao magnética e veios de<br>quartzo intrafoliais  | 12          | 25      |             |         |             |         |
| TF22-XI-02  | 11/11/2022 | 8434371 6 | 72005  | 325         | In Situ                | Ortognaisse Diorítico  | Ortognaisses Indiferenciados | NP3y2mr          | Afloramento com segregação felsica (bandamento) e variação de rochas com predominio de hbl e plg e menor ocorrência de qtz. A rocha é de textura granoblastica com 50% bt, 20% plg e 30% qtz.  | 300         | 56      | 300         | 32      |             |         |
| TF22-XI-03  | 11/11/2022 | 8434159 6 | 69711  | 321         | In Situ                | Hbl Bt Gnaisse         | Ortognaisses Indiferenciados | NP3y2mr          | Rocha bandada com cristais de bitotita e hornblenda e textura granoblastica com ocorrência de 45% qtz, 25% bt, 10% hbl e 20% plg e como acessorio epidoto.   | 324         | 55      |             |         |             |         |
| TF22-XI-04  | 11/11/2022 | 8434247 6 | 69461  | 321         | In Situ                | Hbl Bt Gnaisse         | Ortognaisses Indiferenciados | NP3y2mr          | Ortognaisses com foliação encurvando de NE para EW   | 330         | 45      |             |         |             |         |
| TF22-XI-05  | 11/11/2022 | 8432201 6 | 66100  | 337         | Corte De Estrada       | Gnaisse                | Ortognaisses Indiferenciados | NP3y2mr          | Rocha bastante alterada argilosa com alguns veios de quartzo.  | 44          | 70      |             |         |             |         |
| TF22-XI-06  | 11/11/2022 | 8431465 6 | 66672  | 342         | Corte De Estrada       | Ortognaisse            | Ortognaisses Indiferenciados | NP3y2mr          | Perfil em corte de estrada de sequencia de rochas alteradas com dobras suaves de cor rosada e esbranquiçada que verticalizam-se próximo a contato com rocha máfica alterada de cor amarelada e granulometria fina cujo protólito deva ser um anfibolito, nele ocorre manganes superficial. | 350         | 55      |             |         |             |         |
| TF22-XI-07  | 11/11/2022 | 8431168 6 | 69178  | 329         | In Situ                | Anfibolito             | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Anfibolito com porfiroblastos arredondados de hornblenda ou hematita, ponto<br>próximo a zona hidrotermal  |             |         |             |         |             |         |
| PC2         | 11/11/2022 | 8434953 6 | 71749  | 347         |                        | Laterita               |                              |                  | Lateritas  |             |         |             |         |             |         |
| PC3         | 11/11/2022 | 8434516 6 | 68977  | 317         |                        |                        |                              |                  | Sem afloramento, somente pasto   |             |         |             |         |             |         |
| PC4         | 11/11/2022 | 8433517 6 | 71160  | 334         |                        |                        |                              |                  | Porteira com cadeado   |             |         |             |         |             |         |
| TF22-XI-08  | 12/11/2022 | 8434960 6 | 71658  | 337         | In Situ                | Ortognaisse/Anfibolito |                              |                  | Antipolito nomogeneo de granulação variando entre media e fina com porções<br>leucocráticas onde a deformação concentra-se ocorrendo dobras do tipo z e<br>restitos de hornblenda nas bordas.  | 316         | 73      |             |         |             |         |
| TF22-XI-09  | 12/11/2022 | 8434969 6 | 71554  | 337         |                        | Bt Ortognaisse         | Ortognaisses Indiferenciados | NP3y2mr          | Contato entre anfibolito e ortognaisse, bt ortognaisse com quartzo   | 320         | 52      |             |         | 215         | 75      |
| TF22-XI-10  | 12/11/2022 | 8434750 6 | 71380  | 336         | Bloco Solto            | Anfibolito             | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Anfibolito podre com hbl e plg   |             |         |             |         |             |         |
| TF22-XI-11  | 12/11/2022 | 8434626 6 | 71274  | 338         |                        | Chert                  | Metassedimentar Química      | Np1mr4           | Rocha chert de textura granular com quartzo fino (0,1-0,2cm) e magnetita fina<br>de cor preta com vejos de quartzo rosa com calconirita  |             |         |             |         |             |         |
| TF22-XI-12  | 12/11/2022 | 8434423 6 | 71186  | 336         |                        | Anfibolito             | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Anfibolito grosso com hbl de até 0.5cm   |             |         |             |         |             |         |
| TF22-XI-13  | 12/11/2022 | 8434377 6 | 71417  | 330         |                        | Ortognaisse/Anfibolito |                              |                  | Anfibolito intercalado com ortognaisse tonalítico contento pla e hbl grossos   | 301         | 40      |             |         |             |         |
|             | 40/44/0000 |           | 60704  | 047         |                        |                        |                              |                  | Contato entre ortognaisse tonalitico e anfibolito fino com bastante hbl em   | 50          | 75      |             |         |             |         |
| 1F22-XI-14  | 12/11/2022 | 8434462 6 | 69784  | 317         |                        | Ortognaisse/Antibolito |                              |                  | estrutura cisalhante   | 50          | 75      |             |         |             |         |
| TF22-XI-15  | 12/11/2022 | 8434508 6 | 70072  | 319         |                        | Ortognaisse Tonalitico | Ortognaisses Indiferenciados | NP3y2mr          | Ortognaisse tonalitico 40% quartzo, 20% plg e 30% biotita com segregações felsicas e cristais de cpx (10%) rodeado por bitotita. Ocorrem dobras em zonas leucocraticas e cristais de granada avermelhada de até 0,2 cm   | 40          | 53      |             |         |             |         |
| TF22-XI-16  | 12/11/2022 | 8434741 6 | 70052  | 344         |                        | Tremolitito            | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Tremolitito/actinolitito esverdeado com cristais aciculares e crenulações com<br>ocorrência de blocos de bornblendito  |             |         |             |         |             |         |
| TF22-XI-17  | 12/11/2022 | 8434797 6 | 70011  | 362         | In Situ                | Tremolitito            | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Tremolitito/actinolitito com alteração para carbonato  | 337         | 29      |             |         |             |         |
| TF22-XI-18  | 12/11/2022 | 8434823 6 | 70022  | 375         |                        | Gondito                | Metassedimentar Química      |                  | Gondito bandado acima de tremolitito   |             |         |             |         |             |         |
| TE22_XI_10  | 12/11/2022 | 8131786 6 | 60840  | 33/         |                        | Anfibalita             | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Anfibolito com alteração calcissilicatica com granada e maior presença de cpx  |             |         |             |         |             |         |
| 11 22-71-13 | 12/11/2022 | 0434780 0 | 09040  | 004         |                        |                        |                              |                  | interfolial  |             |         |             |         |             |         |
| TF22-XI-20  | 12/11/2022 | 8434715 6 | 69666  | 320         |                        | Ortognaisse Tonalitico | Ortognaisses Indiferenciados | NP3y2mr          | Contato com ortognaisse tonalititoo<br>Gonditos intercalados com anfiholito fino e turmalinitos com cristais prismaticos   | 360         | 34      |             |         | 85          | 50      |
| TF22-XI-21  | 12/11/2022 | 8434959 6 | 69532  | 324         |                        | Gondito/Turmalinito    |                              |                  | avermelhados não identificados a olho nu. Observou-se manganes botrioidal e magnetita euédrica segundo fraturas  |             |         |             |         |             |         |
| TF22-XI-22  | 12/11/2022 | 8434949 6 | 68882  | 315         |                        | Anfibolito             | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | anaissicas dz (20%) e hbl (80%).   | 50          | 65      |             |         | 56          | 63      |
| TF22-XI-23  | 12/11/2022 | 8434058 6 | 71766  | 329         |                        | Ortognaisse Dioritico  | Ortognaisses Indiferenciados | NP3y2mr          | Ortognaisse dioritico plg (40%) qtz (20%) e hbl (40%)  | 289         | 51      |             |         |             |         |
| TF22-XI-24  | 12/11/2022 | 8434061 6 | 72132  | 319         |                        | Ortognaisse Dioritico  | Ortognaisses Indiferenciados | NP3y2mr          | Ortognaisse dioritico com bandas de antibolito e porções melanocraticas com<br>ocorrencia de biotita e epidoto onde concentra-se dobras e fraturas. Na zona de   | 289         | 56      |             |         |             |         |
| TF22-XI-25  | 12/11/2022 | 8434075   | 72276  | 328         |                        | Bt Ortognaisse         | Ortognaisses Indiferenciados | NP3v2mr          | Bt ortognaisse bastante grosso com mais biotita que a anterior   | 318         | 40      |             |         |             |         |
| PC5         | 12/11/2022 | 8432542 F | 72697  | 324         |                        | Di Ortogralose         |                              | Ni Oyzini        | Fim da estrada   | 010         | 40      |             |         |             |         |
| PC6         | 12/11/2022 | 8433178 6 | 72037  | 320         |                        |                        |                              |                  | Rio formiga, vegetação densa   |             |         |             |         |             |         |
| PC7         | 12/11/2022 | 8433038 6 | 73529  | 327         |                        | Laterita               |                              |                  | Lateritas  |             |         |             |         |             |         |
| TF22-XI-26  | 13/11/2022 | 8433981 6 | 73689  | 315         |                        | Anfibolito             | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Anfibolito fino pouca porcentagem de quartzo e plg mas com cristais de hbl de  |             |         |             |         |             |         |
| TF22-XI-27  | 13/11/2022 | 8434002 6 | 74076  | 328         |                        | Bt Ortognaisse         | Ortognaisses Indiferenciados | NP3y2mr          | Bloco in situ de Bt ortognaisse  | 320         | 26      |             |         |             |         |
| TF22-XI-28  | 13/11/2022 | 8434001 6 | 74200  | 330         |                        | Anfibolito             | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Anfibolito com cpx milimétrico de cor verde escuro e epidoto verde amarelado.<br>Rocha de textura foliada com predominio de hornblenda e segregação de qurtzo<br>com turmalinas de até 0,5cm.  |             |         |             |         |             |         |
| TF22-XI-29  | 13/11/2022 | 8434050 6 | 74337  | 332         |                        | Anfibolito Fino        | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Anfibolito muito fino e foliado  | 326         | 35      | 358         | 31      |             |         |
| TF22-XI-30  | 13/11/2022 | 8434050 6 | 74378  | 334         |                        | Anfibolito Cumulático  | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Anfibolito com textura cumulática cujo centro é anfibolio e borda de plg   | 324         | 59      |             |         | 296         | 57      |
| TF22-XI-31  | 13/11/2022 | 8434098 6 | 74608  | 327         |                        | Ortognaisse/Anfibolito |                              |                  | Sequencia metavulcanossedimentar com camadas de anfibolito de granulação<br>muito fina intercalado com domínios felsicos e anfibolitos com hbl grossa  | 343         | 58      |             |         |             |         |
| TF22-XI-32  | 13/11/2022 | 8432394 6 | 72629  | 328         | In Situ                | Bt Ortognaisse         | Ortognaisses Indiferenciados | NP3y2mr          | Bt ortognaisse fino com veios de quartzo segundo a foliação com cristais de anfibolio intercalados   | 330         | 55      | 56          | 3       | 21          | 67      |
| TF22-XI-33  | 13/11/2022 | 8432864 6 | 72546  | 318         |                        | Anfibolito Fino        | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Anfibolito fino foliado com cpx, epidotos e segregações de qtz. Descendo relevo<br>ocorre anfibolito grosso  | 328         | 45      |             |         |             |         |
| TF22-XI-34  | 13/11/2022 |           |        |             |                        | Furo                   | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Furo 017, orinoco  |             |         |             |         |             |         |
|             |            |           |        |             |                        |                        |                              |                  |  |             |         |             |         |             |         |

| Ponto      | Data       | UTM_X     | UTM_Y  | Elevacao (m) | Tipo de<br>afloramento | Litotipo                | Unidade                      | Sigla<br>Unidade | Descrição  | Sn_dir_merg | Sn_merg | Ln_dir_merg | Ln_merg | Fr dir_merg | Fr merg |
|------------|------------|-----------|--------|--------------|------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------|--|-------------|---------|-------------|---------|-------------|---------|
| TF22-XI-35 | 13/11/2022 | 2 8433247 | 672393 | 318          |                        | Furo                    | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Furo 013, orinoco  |             |         |             |         |             |         |
| TF22-XI-36 | 13/11/2022 | 2 8433184 | 672484 | 318          |                        | Furo                    | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Furo 014, orinoco  | 330         |         |             |         |             |         |
| TF22-XI-37 | 13/11/2022 | 2 8433040 | 672611 |              | In Situ                | Grafita                 | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Rocha com grafita muito fina corresponde a encaixante do anfibolito  | 323         | 34      | 334         | 34      |             |         |
| TF22-XI-38 | 13/11/2022 | 2 8432998 | 672703 | 326          |                        | Furo                    | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Furo sem identificação   |             |         |             |         |             |         |
| TF22-XI-39 | 13/11/2022 | 2 8433102 | 673455 | 323          |                        | Furo                    | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Furo drillgeo, 22 mor 005  |             |         |             |         |             |         |
| TF22-XI-40 | 13/11/2022 | 2 8433016 | 673492 | 328          |                        | Furo                    | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Furo drillgeo, 22 mor 010  |             |         |             |         |             |         |
| TF22-XI-41 | 13/11/2022 | 2 8433399 | 673578 | 325          |                        | Grafita/Anfibolito Fino | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Rocha com grafita e anfibolito fino alinhada segundo morrotes  | 307         | 43      |             |         |             |         |
| TF22-XI-42 | 13/11/2022 | 2 8433850 | 674206 | 330          |                        | Grt Anfibolito          | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Anfibolito com granada avermelhada, cristais de cpx, plg e maior quantidade de<br>qtz  |             |         |             |         |             |         |
| TF22-XI-43 | 13/11/2022 | 2 8430931 | 674137 | 357          |                        | Grt Anfibolito          | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Anfibolito de granulação media com cristais de granada arredondados e vermelhos em até 30% do modal da rocha e tamanho de até 0,5 cm, ocorre mica prateada , plg, qtz e hbl. a muscovita pe associada com as segregações quartzosas que também concentram magnetita maiores que a grnada | 300         | 62      | 27          | 79      |             |         |
| TF22-XI-44 | 13/11/2022 | 2 8430768 | 673984 | 352          |                        | Grt Anfibolito          | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Anfibolito rico em granada e textura coronítica resultado de descompressao   |             |         |             |         |             |         |
| TF22-XI-45 | 13/11/2022 | 2 8432202 | 675031 | 337          | Corte De Estrada       | Anfibolito              | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Anfibolito intemperizado mergulhando para W com veios de quartzo   | 290         | 51      |             |         | 158         | 76      |
| TF22-XI-46 | 13/11/2022 | 2 8431394 | 671378 | 332          |                        | Anfibolito              | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Anfibolito fino a medio com bandas de biotita  |             |         |             |         |             |         |
| TF22-XI-47 | 13/11/2022 | 2 8431302 | 671462 | 337          | In Situ                | Anfibolito              | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Anfibolito foliado homogeneo e granulação fina com bandas felsicas com   | 82          | 56      |             |         |             |         |
| DOA        | 40/44/0000 | 0422704   | 660527 | 044          |                        |                         |                              |                  | dobras em s e crenulação apos bandamento   |             |         |             |         |             |         |
| PC8        | 13/11/2022 | 2 8432794 | 669537 | 314          |                        |                         |                              |                  | Pasto sem attoramento  |             |         |             |         |             |         |
| PC9        | 13/11/2022 | 2 8433337 | 665424 |              |                        |                         |                              |                  | Porteira trancada com pequeno aluvião ao lado com muitos seixos de quartzo   |             |         |             |         |             |         |
| PC10       | 13/11/2022 | 2 8433993 | 664277 | 308          |                        |                         |                              |                  | Ponte sobre o rio formiga sem afloramentos   |             |         |             |         |             |         |
| TF22-XI-48 | 14/11/2022 | 2 8431322 | 668316 | 332          | In Situ                | Anfibolito Fino         | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Anfibolito fino de textura granular com segregações de qtz e hbl com sulfetos (pirrotita) e aluvião nas proximidades com muitos seixos de quartzo  | 320         | 65      |             |         |             |         |
| TF22-XI-49 | 14/11/2022 | 2 8432847 | 667426 | 341          | Beira De Estrada       | Anfibolito              | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Bloco rolado de anfibolito na estrada  |             |         |             |         |             |         |
| TF22-XI-50 | 14/11/2022 | 2 8433632 | 667172 | 321          | In Situ                | Bt Hbl Ortognaisse      | Ortognaisses Indiferenciados | NP3y2mr          | Ortognaisse tonaliitico com epidoto incluso em hbl e duas foliações principais<br>uma de direção ne que corta outra de direção NS com boudins de anfibolito  | 340         | 64      |             |         |             |         |
| TF22-XI-51 | 14/11/2022 | 2 8433723 | 667176 | 318          | In Situ                | Bt Hbl Ortognaisse      | Ortognaisses Indiferenciados | NP3y2mr          | Afloramento onde observa-se a interferência das duas foliações NE e NS<br>r resultando em dobras de eixo 175/40 e fraturas de direção 091/72 com arrasto<br>para a direção EW, sendo portanto uma zona de pressão  | 131         | 45      |             |         |             |         |
| TF22-XI-52 | 14/11/2022 | 2 8433865 | 667000 | 314          | In Situ                | Ortognaisse             | Ortognaisses Indiferenciados | NP3y2mr          | Migmatito com remobilização de anfibolitos rotacionados para NE e boudins de epidoto. Observa-se dobras pequenas e grandes com cisalhamento nas bordas e fraturas tardias de direção NS. Há transposição de foliação mostrando interferencia NW-NE                                       | 350         | 53      |             |         |             |         |
| TF22-XI-53 | 14/11/2022 | 2 8431048 | 666510 | 332          |                        | Anfibolito              | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Anfibolito   | 182         | 59      |             |         |             |         |
| TF22-XI-54 | 14/11/2022 | 2 8431131 | 666506 | 329          | In Situ                | Anfibolito              | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Anfibolito com variação entre fino e grosso com ocorrencia de granadas.<br>Observa-se blocos de chert  |             |         |             |         |             |         |
| TF22-XI-55 | 14/11/2022 | 2 8434618 | 665469 | 306          | Lajedo                 | Ortognaisse/Anfibolito  |                              |                  | Afloramento no rio formiga que marca o contato entre ortognaisse bandado<br>com bandas de bt, qtz e plg e anfibolito. Ambos possuem medidas de foliação<br>concordantes e alguns dobramentos   | 352         | 35      | 296         | 8       | 209         | 84      |
| TF22-XI-56 | 14/11/2022 | 2 8434765 | 665393 | 317          |                        | Ortognaisse             | Ortognaisses Indiferenciados | NP3y2mr          | r Ortognaisse  |             |         |             |         |             |         |
| TF22-XI-57 | 14/11/2022 | 2 8435092 | 664369 | 323          | In Situ                | Milonito                | Ortognaisses Indiferenciados | NP3y2mr          | Zona de cisalhamento com milonitos caracterizados pelo estiramento de<br>r fenocristais e recristalização com qtz, bt e plg. Ocorrem veios leucocraticos<br>finos com qtz, mus e hbl sendo a foliação quase vertical e com tectonica dextral   | 347         | 77      | 273         | 3       | 42          | 87      |
| PC11       | 14/11/2022 | 2 8433400 | 670397 | 336          |                        | Laterita                |                              |                  | Lateritas  |             |         |             |         |             |         |
| TF22-XI-58 | 15/11/2022 | 2 8435059 | 674216 | 318          | In Situ                | Anfibolito Fino         | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Afloramento abaixo da ponte do rio formiga com blocos in situ de anfibolito fino<br>com bandas leucocráticas finas e granadas avermelhadas pequenas com mais<br>plg do que quartzo   | 336         | 35      | 6           | 33      | 209         | 83      |
| TF22-XI-59 | 15/11/2022 | 2 8434182 | 670558 | 339          | In Situ                | Ortognaisse Dioritico   | Ortognaisses Indiferenciados | NP3y2mr          | Afloramento in situ de ortognaisse grosso de textura granular e composição<br>r diorítica intercalado com anfibolito fino com veios de quartzo enriquecidos com<br>granada. ocorrem duas foliações diferente direção   | 294         | 63      |             |         |             |         |
| TF22-XI-60 | 15/11/2022 | 2 8434489 | 670469 | 324          | In Situ                | Ortognaisse Tonalitico  | Ortognaisses Indiferenciados | NP3y2mr          | Ortognaisse tonalitico de granulação grossa com cristais de epidoto (5%), hbl<br>r (15%), qtz (35%) e plg (15%) e agregados de biotita (25%), rocha mais<br>homogenea com pouco bandamento e segregação  | 303         | 33      |             |         | 277         | 65      |
| TF22-XI-61 | 15/11/2022 | 2 8434669 | 670569 | 329          |                        | Ortognaisse Tonalitico  | Ortognaisses Indiferenciados | NP3y2mr          | r Ortognaisse tonalítico   | 289         | 34      |             |         | 14          | 88      |
| F22-XI-62  | 15/11/2022 | 2 8434761 | 670489 | 340          | Bloco Rolado           | Hornblendito            | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Hornblendito com hbl centimétrica em pé do morro redondo na parte leste  |             |         |             |         |             |         |
| TF22-XI-63 | 15/11/2022 | 2 8432870 | 669979 | 313          | In Situ                | Anfibolito Fino         | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Afloramento próximo ao rio formiga de anfibolito fino com segregação felsica e<br>dobra de eixo de direção NW com interferência de foliação NW com EW  | 358         | 50      |             |         |             |         |
| TF22-XI-64 | 15/11/2022 | 2 8434118 | 669040 | 317          | In Situ                | Bt Ortognaisse          | Ortognaisses Indiferenciados | NP3y2mr          | Bt ortognaisse fino intercalado com ortognaisse tonalitico com menor bt e mais<br>hbl de granulação grossa   | 36          | 52      | 301         | 18      | 59          | 55      |
| TF22-XI-65 | 15/11/2022 | 2 8433978 | 668968 | 316          | In Situ                | Ortognaisse             | Ortognaisses Indiferenciados | NP3y2mr          | Ortognaisse com foliação sc  | 348         | 54      |             |         | 81          | 53      |
| TF22-XI-66 | 15/11/2022 | 2 8433924 | 668918 | 311          | In Situ                | Ortognaisse             | Ortognaisses Indiferenciados | NP3y2mr          | Ortognaisse grosso tonalítico gradacionando para anfibolito fino recristalizado e<br>com fraturas preenchidas por epidoto e veios de quartzo no anfibolito com<br>malaquita e calcopirita  |             |         |             |         |             |         |
| PC12       | 15/11/2022 | 2 8433434 | 668411 | 319          |                        |                         |                              |                  | Ocorrencia de muitas lateritas em pasto  |             |         |             |         |             |         |
|            |            |           |        |              |                        |                         |                              |                  |  |             |         |             |         |             |         |

| Ponto      | Data       | ∪тм_х   | ∪тм_ү  | Elevacao (m) | Tipo de<br>afloramento | Litotipo                                | Unidade                      | Sigla<br>Unidade | Descrição  | Sn_dir_merg | Sn_merg | Ln_dir_merg | Ln_merg | Fr dir_merg | Fr merg |
|------------|------------|---------|--------|--------------|------------------------|---|------------------------------|------------------|--|-------------|---------|-------------|---------|-------------|---------|
| PC13       | 15/11/2022 | 8434404 | 668053 |              |                        |   |                              |                  | Rio formiga sem afloramento  |             |         |             |         |             |         |
| PC14       | 15/11/2022 | 8433887 | 668225 | 320          |                        | Laterita                                |                              |                  | Lateritas  |             |         |             |         |             |         |
| PC15       | 15/11/2022 | 8432879 | 668471 | 330          |                        | Laterita                                |                              |                  | Lateritas  |             |         |             |         |             |         |
| TF22-XI-67 | 17/11/2022 | 8433710 | 668584 | 312          | In Situ                | Ortognaisse Tonalitico                  | Ortognaisses Indiferenciados | NP3y2mr          | Ortognaisse tonalititco com cristais tinos de biotita orientados, quartzo<br>acizentado e rosado, hbl. Rocha mais homogenea com cristais de granulação<br>média. Observamos contato do anfibolito fino com ortognaisse grosso tonalitico<br>com bt onde a foliação verticaliza-se sendo caracterizada como zona de<br>cisalhamento de direcão NE   | 84          | 73      | 73          | 72      |             |         |
| TF22-XI-68 | 17/11/2022 | 8432390 | 668329 | 333          |                        | Anfibolito                              | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Saprolito de anfibolito em ravina próximo a afloramento de laterito  | 347         | 34      |             |         |             |         |
| TF22-XI-69 | 17/11/2022 | 8432250 | 668283 | 332          | Bloco Rolado           | Anfibolito                              | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Bloco rolado de anfibolito com porfiroblastos de hbl acima de barragem de<br>contenção de água de chuvas/rio   |             |         |             |         |             |         |
| TF22-XI-70 | 17/11/2022 | 8431850 | 668160 | 336          | Bloco Rolado           | Anfibolito Fino                         | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Bloco rolado de anfibolito fino com cpx disseminado, foliados com bastante hbl.<br>Observou-se fragmentos de veios de quartzo com turmalina e muscovita  |             |         |             |         |             |         |
| TF22-XI-71 | 17/11/2022 | 8431377 | 666758 | 345          | Corte De Estrada       |   |                              |                  | Porção de solo de cor branco amarelado/esverdeado com veios de quartzo<br>adiacente a um empurrão de direcão NF. Pode ser malaquita ou epidoto   | 347         | 38      |             |         |             |         |
| TF22-XI-72 | 17/11/2022 | 8430791 | 667195 | 346          | Corte De Estrada       | Grt Bt Ortognaisse Tonalitico Sulfetado | Ortognaisses Indiferenciados | NP3y2mr          | Grt bi ortognaisse tonalítico isotrópico envelopado por ortognaisses foliados de<br>granulação mais fina. Do outro lado da pista, encontra-se mesma litologia de grt<br>bi ortognaisse bastante sulfetado, com sulfetos de calcopirita e pirita<br>disseminados. Ocorre epidotização ao longo de fraturas. O ortognaisse<br>apresenta bandamento felsico rico em plg, qtz, hbl e grt; bandamento<br>enriquecido com bt e grt de granulação grossa e magnetizada, bandamento<br>rico<br>em qtz e sulfeto, bandamento mafíco de granulação fina, bandamento<br>caracterizado por bandas felsicas e máficas finas e mais uniforme que<br>apresenta caracteristica mais proxima ao protolito e banda enriquecida com grt<br>e muscovita. | 345         | 40      |             |         |             |         |
| PC16       | 17/11/2022 | 8433655 | 665829 | 314          |                        |   |                              |                  | Colúvio com graos quartzosos e blocos rolados de ortognaisse próximos  |             |         |             |         |             |         |
| PC17       | 17/11/2022 | 8433324 | 666512 | 331          |                        | Laterita                                |                              |                  | Lateritas  |             |         |             |         |             |         |
| PC18       | 17/11/2022 | 8433016 | 664436 | 324          |                        | Laterita                                |                              |                  | Lateritas  |             |         |             |         |             |         |
| TF22-XI-73 | 18/11/2022 | 8432758 | 664430 | 315          | In Situ                | Anfibolito Grosso A Médio               | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Anfibolito grosso a medio com cristais de cpx verde escuro e epidoto verde<br>amarelado com bandamento composicional e variação de granulação com<br>venulas felsicas dobradas   | 2           | 28      |             |         | 128         | 82      |
| TF22-XI-74 | 18/11/2022 | 8432612 | 664473 | 315          | Saprolito              | Anfibolito                              | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Saprolito de anfibolito próximo a córrego  | 32          | 37      |             |         | 266         | 74      |
| TF22-XI-75 | 18/11/2022 | 8430897 | 665061 |              | Pasto                  | -                                       |                              |                  | Sem afloramento  |             |         |             |         |             |         |
| TF22-XI-76 | 18/11/2022 | 8430945 | 666041 | 323          | Bloco Rolado           | Ortognaisse                             | Ortognaisses Indiferenciados | NP3y2mr          | Ortognaisse bandado com hbl, plg e capa de alteração com alteração de cor  |             |         |             |         |             |         |
| TF22-XI-77 | 18/11/2022 | 8430969 | 666305 | 326          | In Situ                | Ortognaisse                             | Ortognaisses Indiferenciados | NP3y2mr          | Ortognaisse com bandas de quartzo de granulação grossa e mais a frente<br>blocos de chert<br>Borbo motoscodimentor quimios com folicação milimétrico rico om cilico o óvidor   | 289         | 71      |             |         |             |         |
| TF22-XI-78 | 18/11/2022 | 8429053 | 668482 | 364          | In Situ                | Chert                                   | Metassedimentar Química      |                  | disseminados e finos com variação de cor de cinza a rosado. Também ocorre<br>gondito   | 227         | 80      |             |         |             |         |
| PC19       | 18/11/2022 | 8432727 | 673365 | <u></u>      | Pasto                  |   |                              |                  | Pasto sem afloramento onde observa-se pequenos blocos rolados de anfibolito<br>com pouca muscovita   |             |         |             |         |             |         |
| PC20       | 18/11/2022 | 8431960 | 673340 | 345          | Pasto                  |   |                              |                  | Sem afloramento  |             |         |             |         |             |         |
| PC21       | 18/11/2022 | 8431274 | 6/3341 | 014          | Pasto                  |   |                              |                  | Sem afloramento  |             |         |             |         |             |         |
| PC22       | 18/11/2022 | 8432444 | 670754 | 314          | Pasto                  |   |                              |                  | Sem aftoramento  |             |         |             |         |             |         |
| F025       | 10/11/2022 | 8432339 | 670700 | 313          | RIU                    |   |                              |                  | Anfibolito pouco preservado em corte de estrada pequeno com bolsão de  |             |         |             |         |             |         |
| TF22-XI-79 | 19/11/2022 | 8431636 | 674288 | 359          | Saprolito              | Anfibolito                              | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | quartzo concordante a foliação<br>Anfibolito pouco preservado, trata-se de anfibolito com mais hbl, cpx e  | 355         | 49      | 48          | 23      | 88          | 81      |
| TF22-XI-80 | 19/11/2022 | 8431888 | 674556 |              | Saprolito              | Anfibolito                              | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | granulação media. ao longo do perfil observa-se variação composicional de<br>dominuição de hbl, aumento de plg e saida do cpx da assembleia mineral com<br>alguns porfiroblastos de feldspato.   | 352         | 25      |             |         | 194         | 67      |
| TF22-XI-81 | 19/11/2022 | 8432048 | 674566 |              |                        | Anfibolito                              | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Anfibolito grosso com 40% plg, 30% hbl e 10% qtz .E mais bandado e<br>feldspatico com ocorrencia de veios de quartzo   | 162         | 24      |             |         |             |         |
| TF22-XI-82 | 19/11/2022 | 8432210 | 674224 |              | In Situ                | Anfibolito                              | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Anfibolito em meio a vegetação densa, alterado com influencia de foliação EW   | 300         | 39      |             |         |             |         |
| TF22-XI-83 | 19/11/2022 | 8432275 | 673684 | 352          | Bloco Rolado           | Anfibolito Fino                         | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Blocos de anfibolito fino com ocorrencia de muscovita ao lado de afloramento de laterito   |             |         |             |         |             |         |
| TF22-XI-84 | 19/11/2022 | 8432156 | 673695 | 351          | In Situ                | Anfibolito Fino                         | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Anfibolito fino foliado e com epidotos em porções leucocráticas (segregadas) de<br>granulação fina com magnetismo<br>Astibulito módio com cristica do biol grandos o maior pasentacem do pla   | 323         | 37      |             |         |             |         |
| TF22-XI-85 | 19/11/2022 | 8432091 | 673397 | 344          |                        | Anfibolito Médio                        | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | intersticial (20%) aparecendo lentes segundo a foliação de porções oxidadas<br>com magnetismo leve   | 258         | 23      |             |         |             |         |
| TF22-XI-86 | 19/11/2022 | 8432063 | 673314 |              |                        | Anfibolito Médio                        | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Anfibolito médio com malaquita em capa de alteração  | 291         | 55      |             |         |             |         |
| TF22-XI-87 | 19/11/2022 | 8431743 | 673945 |              | Corte De Estrada       | Anfibolito                              | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | Anfibolito alterado em corte de estrada pequeno com fraturas preenchidas com<br>quartzo enriquecido com muscovitas grandes   | 325         | 31      |             |         | 348         | 88      |
| TF22-XI-88 | 19/11/2022 | 8432175 | 670906 | 316          |                        | Veio De Quartzo                         | Metavulcânicas Máficas       | NP1mr1           | cristais de pirita e alguns sulfetos   |             |         |             |         |             |         |
| TF22-XI-89 | 19/11/2022 | 8431138 | 666967 | 341          | Ravina                 | Ortognaisse                             | Ortognaisses Indiferenciados | NP3y2mr          | Afloramento em ravina de saprolito de ortognaisse com foliações preservadas e cristais de mica, cristais de cor preta e quartzo ainda preservados e cristais arredondados e vermelhos bastante intemperizados. trata-se de neossolo com horizonte a e c. em areas próximas ocorriam blocos rolados de grt bt gnaisse. porções maficas são argilosas e porções felsicas são mais quartzosas.  | 337         | 18      |             |         |             |         |
|            |            |         |        |              |                        |   |                              |                  |  |             |         |             |         |             |         |

# Mapa de Pontos - Área XI - Projeto Mara Rosa (GO)









|     |                        |                   | IV   | V  | VI |  |
|-----|------------------------|-------------------|------|----|----|--|
| VII | Mapeame<br>Projeto Mar | ento 2<br>ra Rosa | VIII | IX | X  |  |
|     | X                      |                   |      |    |    |  |



# Mapa Geológico Integrado - Projeto Mara Rosa

|       | Unidades Geológicas           Neoproterozoico           Ediacarano   |
|-------|--|
|       | Plutônicas Tardi a Pós-Tectônicas<br>Leucogranitos Bom Jesus<br>Biotita-muscovita leucogranito e muscovita granito, de granulação fina a grossa, com fácies tonalítica subordinada e ocorrências pegmatoides.  |
|       | Metaplutônicas Máficas<br>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.  |
| 000   | Criogeniano<br><u>Grupo Serra da Mesa</u>  |
| 8450  | Unidade Metassedimentar Psamo-Pelítica           NP3smb         Muscovita-quartzo xisto.   |
|       |  |
|       | Ortognaisses Santa Terezinha   |
|       | NP2y1st Granada-muscovita-biotita gnaisse tonalítico.  |
|       | <u>Sequência Metavulcanossedimentar Santa Terezinha</u><br>Unidade Metassedimentar Química   |
|       | NP2stg3 Gondito e formação ferrífera bandada.  |
|       | Unidade Metassedimentar Psamo-Pelítica 604 Ma (Sm-Nd em granada)Image: State of the stat   |
|       | Unidade Metamáfica-Ultramáfica<br>NP2stg1 Metahornblendito, metagabro, talco xisto.  |
| 5000  | Associação Aluminosa<br>Cianita-muscovita-quartzo xisto, cianita-quartzo-muscovita xisto, muscovita-cianita-quartzo xisto, cianita-muscovita xisto, cianita-epidoto-   |
| 8445  | <b>NP3cn</b> granada-clorita-muscovita xisto, cianitito e cianita quartzito. Clorita-muscovita-quartzo xisto, clorita-estaurolita-quartzo-muscovita xisto, quartzo-muscovita xisto e granada-quartzo-muscovita xisto. Fácies quartzo-muscovita xisto e quartzo-biotita xisto subordinadas.   |
|       | Associação Calcissilicática<br>Zoisita-plagioclásio-hornblenda-diopsídio calcissilicática fina bandada, diopsídio-epidoto-hornblenda calcissilicática média, hornblenda-quartzo-<br>plagioclásio-epidoto calcissilicática fina, diopsídio-epidoto-guartzo calcissilicática média, epidoto-diopsídio-hornblenda calcissilicática fina   |
|       | bandada, hornblenda calcissilicática grossa, biotita-clorita calcissilicática fina, biotita-clorita calcissilicática fina, calcissilicática fina bandada com rutilo e epidosito.   |
|       | Toniano  |
|       | Ortognaisses Mara Rosa<br>Ortognaisse Amarolândia 897 Ma (U-Pb em zircão)  |
|       | NP3y2am       Ortognaisses dioriticos, com facies tonalitica subordinada.         Ortognaisses Indiferenciados   |
|       | NP3y2mr Ortognaisses dioríticos, quartzo-dioríticos, tonalíticos e granodioríticos, localmente migmatizados. Subordinadamente, granada-biotita-<br>muscovita gnaisse, biotita gnaisse e epidoto-biotita gnaisse.   |
|       | Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa<br>Unidade Metassedimentar Química  |
|       | NP1mr4       Gondito e metachert.         Unidade Metassedimentar Psamo-Pelítica   |
| 0     | NP1mr3 Muscovita-biotita paragnaisse com bandamento milimétrico a centimétrico, marcado por bandas quartzo-feldspáticas e bandas micáceas.<br>Localmente com granada, epidoto e anfibólio.   |
| 4000  | <b>NP1mr2</b> Granada-muscovita-quartzo xisto, granada-muscovita xisto feldspático, muscovita-quartzo xisto, quartzo-muscovita xisto, actinolita-quartzo xisto, actinolita-quartzo xisto, guartzo-clorita xisto e clorita-muscovita xisto, eventualmente com magnetita.  |
| 84    | Unidade Metavulcânica Máfica<br>Diopsídio anfibolito, granada-guartzo anfibolito, metahornblendito, actinolitito e anfibólio xisto, intercalados com anfibolitos finos a médios, em  |
|       | fácies quartzo anfibolito, epidoto anfibolito, biotita anfibolito e granada anfibolito.<br>Unidade Metaultramáfica   |
|       | NPµmr Talco-clorita xisto, clorita-talco xisto, tremolita-talco xisto e anfibólio xisto.   |
|       | Riaciano   |
|       | Complexo Granulítico Uruaçu       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)<br>Granito milonítico a ultramilonítico, com fácies tonalítica subordinada, guartzo-biotita-muscovita xisto, guartzo-clorita xisto, granada-muscovita   |
|       | xisto e clorita-muscovita xisto. Localmente, intercalado com pseudotaquilitos.<br><u>Sequência Metavulcanossedimentar Campinorte</u> 2.19-2.07 Ga (U-Pb em zircão)   |
|       | Unidade Metassedimentar Psamo-pelítica<br>Quartzo-muscovita-clorita xisto, muscovita-granada-quartzo xisto, biotita-muscovita xisto, granada-muscovita xisto, quartzo xisto feldspático e  |
|       | <ul> <li>muscovita-quartzo xisto. Localmente, intercalados com metatufo, gondito e cataclasito.</li> <li>Unidade Metavulcânica Félsica</li> </ul>  |
| 000   | PP2c1 Metadacitos e metariolitos.  |
| 3435( |  |
|       |  |
|       | Convenções Cartográficas Recursos Minerais<br>Rodovia Au - Ouro Mlc - Malaquita  |
|       | Ferrovia     Ccp - Calcopirita     Mn - Manganês       Ferrovia     Ocorrência     Fe - Ferro     Py - Pirita       Dronacom     Ocorrência     Grt - Granada     Sul - Sulfetos   |
|       | Drenagem     Ky - Cianita     Tlc - Talco       Áreas - Projeto Mara Rosa     Tur - Turmalina  |
|       |  |
|       | Convenções Geológicas  Petrografia  Foliação  Convenções Geológicas  Amostras Laminadas  |
|       | Lineação<br>Contato Definido<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineação<br>Lineaç<br>Lineaço<br>Lineaço<br>Lineaço<br>Lineaço<br>Lineaço<br>Lineaço |
|       | Contato Inferido   |
|       |  |
|       |  |
|       | Calha Dia daa  |
|       | гаша кю uos  |
|       |  |
| 7/    | $\frac{1}{1}$  |