

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

**TRABALHO DE MAPEAMENTO GEOLÓGICO FINAL**  
Projeto Arenópolis - GO  
Área IV

Samuel Silva da Costa - 180141015  
Wdilson César Guedes Frade - 160148847

**Brasília, 2023**

# **TRABALHO DE MAPEAMENTO GEOLÓGICO FINAL**

Projeto Arenópolis - GO

Área IV

Relatório final, apresentado à Universidade de Brasília, como parte das exigências para a obtenção do título de Geólogo

Brasília, 07 de dezembro de 2023

## **Orientadores:**

Prof. Dra. Natalia Hauser (Coordenadora)  
Prof. Dr. Elton Luiz Dantas (Co-coordenador)  
Prof. Dr. Luis Gustavo Viegas (Co-coordenador)  
Prof. Dr. Caio Arthur Santos  
Prof. Dr. Julia Curto Ma  
Prof. Dr. Guilherme de Oliveira Gonçalves  
Prof. Dra. Eliza Inez Nunes Peixoto  
Prof. Dr. Henrique Llacer Roig

## **Banca Examinadora:**

Prof. Dr. Natalia Hauser  
Prof. Dr. Welitom Rodrigues Borges  
Prof. Dr. Wolf Uwe Reimold

## AGRADECIMENTOS

*'It is the mark of an educated mind to be able  
to entertain a thought without accepting it'*  
Aristotle

Muitas coisas vêm à mente em momentos como este. O velho clichê 'do filme passando na sua cabeça'. Talvez para mim essa jornada não tenha sido apenas uma jornada de conclusão de uma graduação com intuito de preparação para um futuro profissional. Não! É um pouco mais do que isso! É a realização de um sonho que começou a florescer em meados de 2013 quando ainda estava no curso de engenharia ambiental na minha amada cidade natal, Patos de Minas. Aquela época foi quando eu despertei o gosto pela leitura, passava horas na biblioteca da minha então universidade procurando livros sobre assuntos que me interessavam. Foi ali que me deparei com a geologia. Não sei exatamente o porquê (talvez coisas de vidas passadas), mas desde então comecei a sentir uma espécie de instinto interno me dizendo que era aquele o meu propósito. Tão simples, porém elegante e poético: compreender a história do nosso planeta. Acabei aquele processo graduação na ansiedade por começar outro (*risos*). Me falaram que estava 'viajando' e que daria 'um tiro no meu próprio pé. Bem, cá estou eu hoje com o pé intacto, porém cheio de calos e mais forte. Aos que duvidaram de mim, o meu muito obrigado! Este é apenas o começo!

Bom, todo empoderado com tais falas encorajadoras. Mas a verdade é que nada disso seria possível sem o apoio incondicional da minha família. Então, acima de tudo dedico esta vitória a vocês! Ao meu pai, Vicente. Minha mãe, Lusia. Aos meus irmãos, Gabriele e Alessandro. Aos meus sobrinhos João e Carolzinha. E a minha *doguinha* Tuly. Amo todos vocês!

Agradeço também aos meus amigos de longa data por permanecerem confiantes em mim. Aos amigos que fiz durante estes últimos 5 anos em Brasília, principalmente aqueles que entraram na minha vida através da geologia. Aos colegas do TF por compartilharem este último desafio com coragem, determinação, mas também com receios e frustrações, sempre com um lado piadista, nunca perdendo o jogo de cintura. Em especial, o meu parceiro de TF, Wdilson, vulgo W, cujo apoio e colaboração foram indispensáveis para este projeto se concretizar.

Agradeço aos coordenadores do TF Arenópolis, em especial a prof. Natália Hauser pela exímia condução deste projeto, pelo incentivo do lado crítico e científico e, também, pelos puxões de orelha sempre quando necessários. Não poderia deixar de mencionar os nossos bravos motoristas, Mendes, William, Serjão e Jean, que nos conduziram para cada canto daquela extensa área nos confins do Goiás.

Finalmente agradeço a Universidade de Brasília e ao Instituto de Geociências por oferecer e manter com excelência e prestígio este curso tão importante para a nossa sociedade. É uma honra estudar aqui, por onde passaram tantos geocientistas consagrados.

*Samuel Silva da Costa*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, expresso toda honra e glória ao Rei dos Reis, o Deus de Abraão, Isaque e Jacó, o criador deste mundo. Sou grato por sua proteção, orientação e por me fortalecer ao longo desta jornada.

Agradeço a minha família, o meu núcleo, a minha base, sem ela eu não seria nada. Em especial, quero dedicar minha gratidão aos meus pais, Wdilson e Elisvânia. Se cheguei aqui, foram eles que me proporcionaram isso. Ao meu pai, por me introduzir neste curso maravilhoso e por oferecer suporte emocional e financeiro ao longo destes anos. A minha mãe, por me mostrar a minha capacidade e dedicar atenção quando mais precisei.

Aos meus amigos, em especial os meus amigos do ensino médio, onde eles viram o quanto esse curso foi difícil para mim e estiveram ao meu lado nos momentos mais difíceis. Expresso a minha gratidão às pessoas que estiveram ao meu lado durante a esta jornada, pessoas que atualmente não estão mais presentes na minha vida, mas que de alguma maneira me deram o suporte necessário para continuar.

Agradeço aos meus colegas de TF, pelo comprometimento e a união da turma para que este trabalho fosse de qualidade. Estendo os meus agradecimentos aos demais colegas da graduação, sejam os que continuaram ou saíram do curso, essas pessoas me ajudaram bastante a chegar neste momento.

Minha gratidão a SEG, por ter proporcionado a aventura para Carajás e, especialmente, meus agradecimentos a Cráton, pela experiência adquirida e as aventuras proporcionadas, lamento de não ter entrado antes.

A Natalia Hauser e aos demais professores orientadores deste TF, minha imensa gratidão pela dedicação, paciência e determinação para que o trabalho final fosse realizado da melhor forma possível. Aos motoristas de apoio em campo, Mendes, Jean, Willian e Serjão, meu agradecimento. Quero expressar minha gratidão de maneira especial ao meu parceiro de TF, Samuel. Sua dedicação, organização e paciência foram fundamentais para o sucesso deste projeto.

Por fim, minha eterna gratidão a este curso maravilhoso, é de imenso agradecimento poder estudar este planeta chamado Terra. Sempre vou defender a geologia e a ciência brasileira. Considero uma honra poder ter a oportunidade de cursar uma graduação pública e de qualidade como esta. E como se diz no hino da geologia: *A geologia é foda pra carai!*

*Wdilson César Guedes Frade*

## RESUMO

O Trabalho de Mapeamento Geológico Final na forma do Projeto Arenópolis, baseou a conclusão do curso de graduação em geologia da Universidade de Brasília referente ao ano de 2023. Este trabalho contribui para o detalhamento cartográfico da região do oeste de Goiás, situado entre as cidades de Arenópolis e Piranhas, na escala 1:25.000. A região de estudo está situada na porção oeste da Faixa Brasília, mais precisamente no Arco Magmático de Goiás, em seu segmento meridional, o Segmento Arenópolis. O projeto possui uma área total mapeada de aproximadamente de 908 km<sup>2</sup> dividida em 10 subáreas. O presente relatório correspondente aos resultados produzidos pela Área IV do projeto, referente a 104 km<sup>2</sup> de área mapeada. As unidades descritas nas influências desta área incluem as Unidades: Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas, Gnaisse Arenópolis, sin-tectônicas Granito Serra do Tatu e Granito Ribeirão Água Limpa, tardi-tectônica Granito Rio Caiapó e pós-tectônica Granito Serra do Iran e a Suíte Plutônica Alcalina Arenópolis. Os dados adquiridos a partir da análise provenientes de aerogeofísica e sensores orbitais na etapa pré-campo, em conjunto com a petrografia e análise estrutural nas etapas campo e pós-campo, permitiram o estabelecimento de conclusões a respeito da distribuição das unidades geológicas e das zonas de cisalhamentos e falhas que as condicionam. Além disso, tais dados revelaram condições metamórficas em fácies xisto-verde a anfíbolito para estas unidades, bem como a existência de pelo menos duas fases de dobramentos responsáveis gerar as principais foliações e estilos de dobras evidenciados em campo. Estas estruturas estariam relacionadas a três fases evolutivas (Arco Intra-Oceânico, Arco Continental e fase Colisional a Pós-Colisional) associados a evolução do Arco Magmático Arenópolis, bem como ao potencial econômico da região do projeto, cuja origem possivelmente se relaciona a um sistema hidrotermal-magmático. Assim, a compilação final destes dados culminou na elaboração do mapa geológico integrado, bem como no mapa geológico individualizado da Área IV, acompanhado do presente relatório técnico.

**Palavras-chave:** Piranhas, Arco Magmático Arenópolis, Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis, Granito Serra do Iran.

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1.1** - Mapa de localização do Projeto Arenópolis localizado entre os municípios de Piranhas e Arenópolis-GO.

**Figura 1.2** - Mapa geológico preliminar do Projeto Arenópolis com destaque para a Área IV.

**Figura 1.3** - Mapa mostrando a distribuição de pontos conforme os dias de amostragem.

**Figura 1.4** - Gráfico com dados climatológicos anuais de precipitação e temperaturas do município de Arenópolis-GO, referentes às médias dos últimos 30 anos. Fonte: Climatempo (2023).

**Figura 1.5** - Hidrografia presente na Área IV. (A) Córrego da Areia no período da seca com pequeno volume. (B) Drenagem seca intermitente no período da seca próximo a Serra do Iran.

**Figura 1.6** – Mapa hidrográfico da Área IV. Fonte: Sistema de Informações Geográficas do Estado de Goiás.

**Figura 1.7** - Aspecto geomorfológico da Área IV com destaque para ao relevo de morros e colinas (MC) da Serra do Iran e superfície aplainada referente a Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis.

**Figura 1.8** - Unidades geomorfológicas da Área IV do Projeto Arenópolis. Fonte: Sistema de Informações Geográficas do Estado de Goiás - Superintendência de Geologia e Mineração - SIC.

**Figura 1.9** - Mapa dos tipos de solos da Área IV. Fonte dos dados: portal SIEG (Sistema de Informações Geográficas do Estado de Goiás).

**Figura 1.10** - Aspectos pedológicos da Área IV. (A) Argissolo vermelho-amarelo espesso. (B) Contraste entre o solo aluvionar do solo do substrato. (C) Gleissolo melânico. (D) Neossolo flúvico em drenagem próximo ao Granito Rio Caiapó.

**Figura 1.11** - Mapa de vegetação da Área IV. Fonte do mapa: Cobertura Vegetacional de Goiás/MMA.

**Figura 1.12** - Aspectos da vegetação na Área IV. (A) Vegetação de pastagens em contraste com a vegetação de cerrado da Serra do Iran. (B) Campos de cerrado com vegetação espaçada com ipê. (C) Mata de galeria próxima a uma drenagem local. (D) Vegetação decídua sobre o Granito Rio Caiapó.

**Figura 2.1** - Esquema ilustrativo da Província Estrutural Tocantins mostrando as três faixas orogênicas que a compõe: Paraguai, Brasília e Araguaia (Adaptado de Pimentel *et al.*, 1998).

**Figura 2.2** - Mapa geológico simplificado da Faixa Brasília salientando seus compartimentos geotectônicos (Adaptado de Pimentel *et al.*, 2004).

**Figura 2.3** - Segmento Arenópolis do Arco Magmático de Goiás mostrando as diversas sequências metavulcanosedimentares a ele pertencentes, assim como as faixas de ortognaisses que as separam (Adaptado de Carneiro *et al.*, 2021).

**Figura 2.4** - Mapa geológico regional mostrando unidades presentes na Sequência Arenópolis (Adaptado de Carneiro & Meneghini, 2020).

**Figura 3.1** - Fluxograma mostrando as etapas de processamento dos dados de sensoriamento remoto do Projeto Arenópolis.

**Figura 3.2** – Espectros de reflectâncias de alvos de interesse com a sobreposição das bandas do sensor CBERS-4A.

**Figura 3.3** - Espectros de reflectâncias de alvos de interesse com a sobreposição das bandas do sensor ASTER L.

**Figura 3.4** – Composições coloridas RGB (142) do CBERS-4A. (A) Mapa de composições coloridas da imagem CBERS 04A utilizada no Projeto Arenópolis. (B) Mapa de composições com foco na Área IV.

**Figura 3.5** - Composições coloridas RGB (432) do CBERS-4A. (A) Mapa de composições coloridas da imagem CBERS-4A utilizada no Projeto Arenópolis. (B) Mapa de composições com foco na Área IV.

**Figura 3.6** - Composições coloridas RGB (523) do ASTER. (A) Mapa de composições coloridas da imagem ASTER utilizada no Projeto Arenópolis. (B) Mapa de composições com foco na Área IV.

**Figura 3.7** - Composições coloridas RGB (542) do ASTER. (A) Mapa de composições coloridas da imagem ASTER utilizada no Projeto Arenópolis. (B) Mapa de composições com foco na Área IV.

**Figura 3.8** – (A) Mapa de elevação das áreas integradas do Projeto Arenópolis. (B) Mapa de elevação com foco na Área IV.

**Figura 3.9** – (A) Mapa de declividade das áreas integradas do Projeto Arenópolis. (B) Mapa de declividade em destaque a Área IV do projeto.

**Figura 3.10** – (A) Mapa de relevo sombreado das áreas integradas do Projeto Arenópolis. (B) Mapa de relevo sombreado com foco na Área IV. (C) Mapa de relevo sombreado da Área IV com acréscimo das curvas de níveis.

**Figura 3.11** – (A) Mapa de relevo sombreado com lineamentos topográficos e de drenagens das áreas integradas do Projeto Arenópolis. (B) Mapa de lineamentos em relevo sombreado com foco na Área IV.

**Figura 3.12** - Mapa base simplificado da subárea IV do Projeto Arenópolis.

**Figura 3.13** – Mapa fotointerpretado da subárea IV do Projeto Arenópolis.

**Figura 3.14** – Mapa de elementos fotogeológicos da subárea IV do Projeto Arenópolis.

**Figura 3.15** - Localização da área do projeto aerogeofísico da porção oeste do estado de Goiás.

**Figura 3.16** - Fluxograma de processamento dos produtos aerogeofísicos no âmbito do Projeto Arenópolis.

**Figura 3.17** – Produtos radiométricos em RGB das áreas integradas do Projeto Arenópolis. (A) Mapa de contagem total em ppm. (B) Mapa de equivalente de urânio em ppm. (C) Mapa de equivalente de tório em ppm. (D) Mapa de porcentagem de potássio.

**Figura 3.18** – Produtos magnetométricos das áreas integradas do Projeto Arenópolis. (A) Mapa do campo magnético anômalo (CMA). (B) Mapa de gradiente total horizontal (GHT). (C) Mapa da primeira vertical (1DV). (D) Mapa da amplitude do sinal analítico (ASA).

**Figura 3.19** – Mapa de domínios gamaespectométrico RGB das áreas integradas do Projeto Arenópolis.

**Figura 3.20** – Mapa de domínios gamaespectrométrico RGB da Área IV.

**Figura 3.21** – (A) Mapa de panorama regional com as áreas do Projeto Arenópolis de anomalias magnéticas. (B) Mapa de panorama regional com as áreas do Projeto Arenópolis de anomalias magnéticas com lineamentos de primeira, segunda e terceira ordem.

**Figura 3.22** – (A) Mapa do sinal analítico unido à primeira derivada vertical da Área IV. (B) Mapa das principais unidades magnéticas referente a Área IV.

**Figura 4.1** - Mapa Geológico Integrado do Projeto Arenópolis (versão simplificada).

**Figura 4.2** - Feições de deformação no gnaiss Ribeirão, observadas no afloramento-tipo, inserido na Área VIII (434053/8173182). (A) Foliação anastomosada, truncada por fraturas. (B) Leucossomas rompidos. (C) Foliação S-C, onde as linhas amarelas representam o plano S, ao passo que as linhas em vermelho representam o plano C. (D) Megaporfiroblasto de quartzo rotacionado, evidenciando cinemática sinistral. (E) Migmatito com

leucossomas concordantes à foliação, recortados por dique leucocrático de quartzo e feldspato. (F) Leucossomas em migmatito exibindo pinch-and-swell incipiente.

**Figura 4.3** – Aspectos em campo dos metassedimentos. (A) Rocha alterada de coloração vermelha-amarelada e granulação média a grossa, textura lepidoblástica, foliação do tipo xistosidade do ponto TF23-X-106. Composta por quartzo, muscovita, granada e pseudomorfos de estauroлита de hábito prismático que deforma a xistosidade. (430682/8166457). (B) Afloramento in situ evidenciando foliação. Ponto TF23-X-181 (428702/81680537).

**Figura 4.4** - Afloramento tipo de anfibolito do Córrego da Onça exibindo foliação subvertical de direção N-S. Área VI, ponto 187 (4347223/8181581).

**Figura 4.5** - Afloramento tipo de anfibolito da unidade Córrego da Onça da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas exibindo foliação subvertical de direção N-S. Área VI, ponto 187 (4347223/8181581).

**Figura 4.6** – Aspectos em campo do gabro da unidade Morro do Baú. (A) Ponto TF23-X-101 (436275/8167338S) com hornblenda gabro com fácies grossa e porção fina com foliação bem-marcada (B) Hornblenda gabro com enclave de textura fina. Ponto TF23-X-144 (436168/8167981S). (C) Bloco de hornblenda gabro com variação textural. Ponto TF23-X-144 (432984/8166649).

**Figura 4.7** – Aspectos em campo da unidade Gnaisse Arenópolis do ponto TF23-AIII-P106 (434953/8193673). (A) - Afloramento em lajedo no leito do Córrego da Areia composto por gnaisse tonalítico milonitizado. (B) Detalhe da foliação milonítica apresentada pela unidade.

**Figura 4.8** - Características em campo da unidade Granito Serra do Tatu. (A) Porfiroclasto sigmoidal de feldspato alcalino, exibindo rotação sinistral (destacada por setas amarelas) em meio a textura milonítica do biotita granito milonítico. Área VI, ponto 102 (434548/8184140). (B) Afloramento em lajedo de biotita granito milonítico do Granito Serra do Tatu. Área VI, ponto 102 (434548/8184140). (C) Ponto TF23-VII-79 (437028/8179502). Afloramento em blocos rolados e em lajedo de biotita granito.

**Figura 4.9** - Afloramentos do Granito Ribeirão Água Limpa. (A) Matação de rocha com bandamento gnáissico e composição granítica com evidências de fusão parcial - migmatitos. (B) Afloramento em lajedos, muito comum nos afloramentos da Área III. (C) Fácies granítica isotrópica, com granulação grossa, classificado como pegmatítica. (D) Fácies de composição granodiorítica foliada e ocasionalmente bandada.

**Figura 4.10** – Aspectos em campo do Granito Serra do Iran. (A) Afloramento em bloco do Granito Serra do Iran, os blocos podem alcançar 2 metros de altura como na figura, muito comum nas proximidades da Serra da Margarida. (B) Amostra de mão representativa da fácies do Granito Serra do Iran de granulação grossa e arranjo equigranular. (C) e (D) Feições de mingling em afloramento em blocos métricos da Unidade Granito Serra do Iran no ponto TF23-AV-P141 (431309/8187001S).

**Figura 4.11** – Aspectos em campo do Granito Rio Caiapó, ponto TF23-AIII-P15 (439660/8195281). (A) Lajedo de dimensão métrica do Granito Rio Caiapó. (B) Detalhe para a fácies inequigranular seriada com megacristais de feldspato potássico, classificada como granito porfirítico, e fraturas de direção NW-SE.

**Figura 4.12** – Aspectos em campo da unidade Vulcânicas Córrego do Horácio. (A) e (B) Derrames riolíticos característicos da unidade, localizado na Área VII (434487/8177659). (A) Derrame riolítico avermelhado, sob anfibolito fino com enclaves do mesmo. Além disso, é possível observar no detalhe, amostra de riolito de coloração bege de textura glomeroporfirítica de quartzo e feldspato. (B) Clasto rotacionado ao ser incorporado no fluxo riolítico, com esferulitos visíveis na porção superior da imagem. (C) Diques decimétricos de riolito cortando tonalito milonitizado do Granito Serra do Tatu (435676/8177906). (D) Afloramento de riolito alterado para caulinita, com texturas primárias de fluxo fracamente preservadas (437572/8176637).

**Figura 4.13** – Aspectos em campo das formações da Bacia do Paraná. (A) Vista panorâmica da Bacia do Paraná e da Sequência Metavulcanossedimentar Córrego Santo Antônio na área X. (B) Arenito conglomerático com estratificação cruzada, Ponto TF23-X-67 (437339/8166225). (C) Arenito fino com estrutura do tipo flaser, ponto TF23-X-79 (431804/8164059).

**Figura 4.14** – Aspectos em campo dos diques alcalinos. (A) Blocos submétricos a métricos alinhados de basanita em pasto, indicando a presença de dique alcalino na Área VII (431410/8177514). (B) Dique alcalino cortando anfibolitos máficos da Unidade Córrego da Onça (434922/8177863).

**Figura 4.15** - Aspectos em campo dos corpos plutônico alcalino. (A) Foto panorâmica destacando o relevo encontrado no Complexo Arenópolis. Os melhores afloramentos encontram-se nos morros, enquanto a porção arrasada é dominada por pasto e plantações com perfis de solo avermelhado. (B) Afloramento com esfoliação esferoidal em nefelinito, ponto TF23-AIII-P8 (440273/8194759). (C) Veio carbonatítico alojado em Melteijito. (D) Feições de brechas com clastos de clinopiroxênitos em meio a cimentação de matriz fina de composição félsica rica em feldspatóides.

**Figura 5.1** - Mapa Geológico da Área IV do Projeto Arenópolis com perfil esquemático.

**Figura 5.2** - Mapa de localização das 21 lâminas delgadas analisadas pela Área IV.

**Figura 5.3** – Anfibolitos da porção oeste da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis. (A) Afloramento *in-situ* de anfibolito foliado com mergulho subvertical (415726/8191449). (B) Afloramento *in-situ* de anfibolito foliado (415713/8191479). (C) Amostra de mão de anfibolito de granulização média.

**Figura 5.4** – Mapa de localização da unidade metamáfica-metaulttramáfica na porção ocidental do Córrego do Santo Antônio na Área IV.

**Figura 5.5** – Aspectos em lâmina do anfibolito de granulização média da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis. (A) Fotomicrografia (10x) a nicóis paralelos do anfibolito composto majoritariamente por hornblenda. (B) Fotomicrografia (4x) a nicóis cruzados mostrando a presença de plagioclásio saussuritizados.

**Figura 5.6** – Aspectos em campo do anfibolito fino da porção leste do Córrego do Santo Antônio. (A) Bloco de anfibolito fino da unidade Córrego do Santo Antônio próximo a Serra do Iran (424795/8189768). (B) Afloramento métrico de bloco de anfibolito (423633/8188529). (C) Amostra de mão de anfibolito de granulometria fina.

**Figura 5.7** – Localização em destaque dos anfibólitos a oeste da unidade do Córrego Santo Antônio na Área IV.

**Figura 5.8** - (A) Amostra de mão do anfibolito TF23-V-191. (B) Fotomicrografia (2,5x) a nicóis paralelos destacando a trama dos anfibólitos e a presença da vênula. (C) Fotomicrografia a nicóis cruzados (2,5x) destacando a textura nematoblástica rica em anfibólito a nicóis cruzados e a presença de clorita na vênula.

**Figura 5.9** - (A) Afloramento de actinolita-clorita xisto próximo a uma drenagem em destaque ao solo espesso local (417786/8188940). (B) Amostra de actinolita-clorita xisto bastante intemperizado retirada do afloramento da imagem A.

**Figura 5.10** – Aspectos em lâmina das fácies ultramáficas da Unidade Córrego do Santo Antônio. (A) Fotomicrografia (2,5x) a nicóis paralelos do anfibolito com textura porfiroblástica com bastante minerais alterados. (B) Fotomicrografia (2,5x) a nicóis cruzados mostrando os porfiroblastos de hornblenda em meio a matriz. (C) Fotomicrografia (2,5x) a nicóis paralelos com cristais agregados de hornblenda, clorita e actinolita com os cristais de plagioclásio.

**Figura 5.11** – Mapa de localização do metassedimento da unidade Córrego do Santo Antônio na Área IV.

**Figura 5.12** – Aspectos da fácies metassedimentar da unidade Córrego do Santo Antônio. (A) Afloramento *in-situ* de quartzo-muscovita xisto presente no solo local (418070/8189683). (B) Afloramento *in-situ* mostrando o faturamento presente em quartzitos locais (418422/8189770). (C) Amostra de quartzo-muscovita xisto oxidado (418970/8191842).

**Figura 5.13** – Aspectos em lâmina das fácies metassedimentar do Córrego do Santo Antônio. (A) Fotomicrografia (2,5x) a nicóis paralelos do estauroлита-granada-biotita-xisto com textura nematoblástica. (B) Fotomicrografia (2,5x) a nicóis cruzados com destaque para a estauroлита no centro com inclusões de quartzo e minerais opacos a ponto de serem quase pseudomorfisados.

**Figura 5.14** – Características das fácies metassedimentares da unidade Córrego do Santo Antônio. (A) Amostra de mão de clorita-estauroлита-granada-xisto do TF-X-106. (B) Fotomicrografia (2,5x) a nicóis paralelos do clorita-granada-estauroлита xisto com textura granoblástica. (C) Fotomicrografia com estauroлита englobando parcialmente um porfiroblastos de granada a nicóis cruzados. (D) Fotomicrografia (2,5x) a nicóis paralelos com destaque a granada rotacionada em sentido sinistral. (E) Destaque a muscovita presente na foliação marcao pela cinemática a nicóis cruzados (2,5x).

**Figura 5.15** – Aspectos da unidade metassedimentar da Unidade Córrego da Onça. (A) Afloramentos *in-situ* de metassedimento presentes no chão de terra local (434489/8191442). (B) Amostra bastante oxidada de muscovita-quartzo xisto (432951/8192295).

**Figura 5.16** – Aspectos do granada-muscovita-quartzo xisto da Unidade Córrego da Onça. (A) Fotomicrografia (10x) em nicóis paralelos da granada-muscovita-quartzo-xisto com textura granoblástico de granulometria fina com o porfiroblasto de granada pós-cinematóico. (B) Fotomicrografia (10x) em nicóis cruzados destacando a muscovita com alta cor de interferência em meio a matriz quartzo-feldspática.

**Figura 5.17** – Localização da unidade Gnaiss Arenópolis presente na Área IV.

**Figura 5.18** – Aspectos em campo do Gnaiss Arenópolis. (A) Afloramento *in-situ* do gnaiss tonalítico aflorando como lentes isoladas em meio as rochas do Granito Caiapó (438967/8190533). (B) Blocos *in-situ* de gnaiss aflorando como lente, também, em meio ao Granito Caiapó, com feições de migmatização mostrando leucossomas difusas (434489/8191442). (C) Bloco de clorita hornblenda gnaiss afetado por veios quartzo-feldspáticos. (D) Gnaiss tonalítico bandado cortado por intrusão granítica (433341/8191255).

**Figura 5.19** - (A) Aspecto da amostra de mão de um hornblenda gnaiss presente na Área I similar aos encontrados na Área IV. (B) Fotomicrografia (2,5x) a nicóis paralelos mostrando a textura nematoblástica. (C) Fotomicrografia (2,5x) a nicóis cruzados com quartzo microcristalino na trama. (D) Foto com destaque a relação de contato entre o plagioclásio, biotita e a hornblenda a nicóis paralelos (4x). (E) Fotomicrografia (4x) a nicóis cruzados hornblenda com inclusão submilimétrica de plagioclásio.

**Figura 5.20** – Aspectos em campo do anfibolito da unidade Gnaiss Arenópolis. (A) Blocos rolados de anfibolitos ocorrendo como blocos soltos em meio a pastagem (433719/8192603). (B) Pequeno bloco rolado de anfibolito foliado. (C) Amostra de anfibolito do Gnaiss Arenópolis com granulometria média.

**Figura 5.21** – Características em lâmina das fácies anfibólito na unidade Gnaiss Arenópolis. (A) Anfibolito da amostra TF146-AII sobre fotomicrografia (2,5x) a nicóis paralelos com textura nematoblástica. (B) Fotomicrografia (2,5x) da amostra sobre nicóis cruzados com os plagioclásios saussuritizados.

**Figura 5.22** – Aspecto em campo do Granito Serra do Tatu. (A) Bloco basculado do Granito Serra do Tatu com destaque a foliação milonítica (435729/8187823). (B) Blocos basculados do Granito Serra do Tatu (435729/8187823). (C) Blocos de hornblenda gnaiss com porfiroblastos de plagioclásio ocorrendo de forma alternada com os blocos de granito milonítico, indicando uma possível zona de contato entre unidades por meio de zona de cisalhamento

**Figura 5.23** – Características da unidade Serra do Tatu. (A) Amostra de mão da amostra do granito milonítico da Serra do Tatu presente na Área V. (B) Fotomicrografia (2,5x) com nicóis paralelos mostrando a matriz com quartzos recristalizados em meio biotita no plano da foliação. (C) Fotomicrografia (2,5x) da lâmina sobre nicóis cruzados.

**Figura 5.24** – Características das rochas miloníticas do Granito Serra do Tatu. (A) Amostra de mão do granito milonítico onde se observa textura nematoblástica da Serra do Tatu presente na Área VI. (B) e (C) Fotomicrografias (4x) em nicóis paralelos e cruzados, respectivamente, mostrando os agregados de quartzo recristalizado entre as biotitas na foliação. (D) e (E) Fotomicrografias (2,5x) mostrando a textura nematoblástica com os cristais seguindo a foliação da litologia.

**Figura 5.25** – Aspectos de afloramentos da unidade Granito Ribeirão Água Limpa. (A) Afloramento de monzogranito em lajedo, situado em uma drenagem intermitente, mostrando intrusões pegmatíticas em destaque (414489/8191429). (B) Bloco *in-situ* de tonalito (414983/8192037). (C) Afloramento *in-situ* de monzogranito (414612/8192445). (D) Blocos de granodiorito foliado em meio a Unidade Córrego do Santo Antônio (417100/8189563).

**Figura 5.26** – Aspectos em campo do anfibolito presente na Unidade Ribeirão Água Limpa. (A) Anfibolito dobrado no Ribeirão Água Limpa (415257/8191732). (B) Blocos rolados de anfibolito da Sequência presente entre o Granito Água limpa (415257/8191732). (C) Afloramento presente em estrada local de mica xisto entre os granitóides do Ribeirão Água Limpa (414546/8192121).

**Figura 5.27** – Localização das fácies tonalíticas do Granito Ribeirão Água Limpa na Área IV.

**Figura 5.28** – Aspectos em campo das fácies tonalítica da unidade Ribeirão Água Limpa. (A) Afloramento *in-situ* de tonalito pertencente à unidade Ribeirão Água Limpa (414491/8192306). (B) Amostras de mão do tonalito aflorante na imagem A (414491/8192306).

**Figura 5.29** – Características em lâminas do tonalito do Ribeirão Água Limpa (TF-VI-303). (A) Fotomicrografia (2,5x) do tonalito sobre nicóis paralelos com textura granular. (B) Fotomicrografia (2,5x) com nicóis cruzados com destaque para titanita presente a trama de quartzo, plagioclásio e biotita.

**Figura 5.30** – Mapa de localização das fácies Granito fino do Ribeirão Água Limpa na Área IV.

**Figura 5.31** – Características em campo do Granito fino da unidade Ribeirão Água Limpa. (A) Afloramento em blocos intemperizados da fácies Granito fino (415140/8191580). (B) Amostra de mão do afloramento em A, mostrando sua coloração rosada e textura equigranular.

**Figura 5.32** – Aspectos em lâmina das fácies de monzogranito da Unidade Ribeirão Água Limpa. (A) Fotomicrografia (2,5x) do monzogranito a nicóis paralelos com textura granular. (B) Observa um arranjo de cristais de plagioclásio e ocasionalmente sericitizados em meio a matriz de quartzo e alguns cristais de biotita oxidadas.

**Figura 5.33** – Mapa de localização das fácies de granodiorito do Granito Ribeirão Água Limpa.

**Figura 5.34** – Aspectos das fácies de granodiorito do Granito Ribeirão Água Limpa. (A) Afloramento de bloco rolado do granodiorito com evidências de mistura de magmas (414615/8191155). (B) Bloco de granodiorito com enclave máfico (414647/8192142). (C) Amostra de granodiorito do Água Limpa bastante foliado.

**Figura 5.35** – Características do granodiorito do Ribeirão Água Limpa TF48-AIV. (A) Amostra de mão do TF48-AIV. (B) e (C) Fotomicrografias (2,5x) em diferentes nicóis mostrando a textura granular. (D) e (E) Fotomicrografias (4x) em nicóis paralelos e cruzado, respectivamente, em destaque aos agregados de quartzo de forma subcircular contornados por filmes de biotita que seguem a foliação.

**Figura 5.36** – Mapa de localização da unidade Granito Rio Caiapó na Área IV.

**Figura 5.37** - (A) Afloramentos em forma de lajedo presente na Área IV (439327/8191061). (B) Blocos rolados de granito porfirítico do Granito Rio Caiapó (439570/8191714).

**Figura 5.38** - (A) Evidência de mistura de magmas no Granito Caiapó (439327/8191061). (B) Feldspatos de tamanho centimétrico em meio a matriz de quartzo, plagioclásio e biotita. (C) Enclaves de rocha bandada do Gnaiss Arenópolis (439233/8192742).

**Figura 5.39** – Aspectos em campo do Granito Rio Caiapó. (A) Bloco fraturado com cristais de feldspato centimétricos (436989/8191702). (B) Amostra de mão do afloramento da imagem A.

**Figura 5.40** - (A) Amostra de mão do TF201-AIV (B) e (C) Fotomicrografias (2,5x) mostrando a textura granular presente no sienogranito em nicóis paralelos e cruzados, respectivamente, com destaque ao cristal centimétrico de microclínio. (D) Cristal microclínio centimétrico sobre lente de (4x) mostrando os flames de plagioclásio presente no próprio. (E) Muscovita em contato com a clorita em meio a matriz quartzo-feldspático do sienogranito em lente de (4x).

**Figura 5.41** – Aspectos em campo do Granito Serra do Iran. (A) Matações métricos de sienogranito de granulometria média com a respectiva amostra de mão (427226/8189935). (B) Lajedo e blocos rolados na cota máxima da Serra (425742/8190197).

**Figura 5.42** – Características em campo das porções de misturas de magmas. (A) Afloramento em lajedo em drenagem intermitente com intrusões pegmatíticas. (B) Amostra de fácies híbridas de contato de fácies de sienogranito com halos de alteração rica em epidoto.

**Figura 5.43** – Afloramento de bloco de dique de sienogranito fino (cor amarelo) em meio ao bloco da fácies subvulcânica (424979/8189685).

**Figura 5.44** – Características da unidade sub-vulcânica do Granito Serra do Iran (TF23-AIV-78). (A) Amostra de mão do dacito. (B) Presença de dois fenocristais de plagioclásio do dacito à nicóis paralelos (2,5x). (B) Fotomicrografia em nicóis cruzados com cristais de quartzo e hornblenda entre os fenocristais de plagioclásio. (C) Destaque para biotita em meio a matriz a nicóis cruzados (D) Destaque para textura porfirítica com fenocristais de plagioclásio em meio a matriz quartzo-feldspática em diferentes nicóis (2,5x).

**Figura 5.45** – Mapa de localização do sienogranito grosso da unidade Granito Serra do Iran na Área IV.

**Figura 5.46** – Aspectos em campo de sienogranito grosso da Serra do Iran. (A) Afloramento *in-situ* do sienogranito grosso (425739//8190199). (B) Amostra de mão de bloco rolado no topo da serra.

**Figura 5.47** – Aspectos em campo do sienogranito fino da unidade Granito Serra do Iran. (A) Afloramentos *in-situ* e blocos rolados de matacões na margem da Serra do Iran (427291/8191879). (B) Bloco de matacões (426861/8190258). (C) Amostra de sienogranito fino a médio (426861/8190258).

**Figura 5.48** - Mapa de localização das fácies de sienogranito fino da unidade Granito Serra do Iran na Área IV.

**Figura 5.49** – Características em lâmina da fácies sienogranito fino da Serra do Iran. (A) e (B) Fotomicrografias (2,5x) a nicóis paralelos e cruzados, respectivamente, do sienogranito com biotita intersticial em meio ao mosaico quartzo-feldspático de textura granular. (C) Destaque para o cristal de feldspato potássico a nicóis paralelos (4x). (D) Fotomicrografia (2,5x) sobre nicóis cruzados da trama da litologia e o plagioclásio sericitizado.

**Figura 5.50** – Mapa de localização da fácies de monzogranito da unidade Serra do Iran presente na Área IV.

**Figura 5.51** – Aspectos em campo da fácies monzogranítica da Serra do Iran. (A) Blocos rolados de monzogranitos do Granito Serra do Iran (430897/8192542). (B) Amostras de mão da fácies monzogranito (431722/8192240). (C) Comparativo entre monzogranito (cinza) e sienogranito fino (vermelho).

**Figura 5.52** – Localização da fácies granodiorítica da unidade Granito Serra do Iran presente na Área IV.

**Figura 5.53** – Aspectos em campo do granodiorito da unidade Granito Serra do Iran. (A) Afloramento em lajedado presente no Córrego do Capim Branco. (B) Afloramento *in-situ* de granodiorito da unidade Serra do Iran (429816/8192395). (C) Amostra de granodiorito do afloramento em B (430029/8192187).

**Figura 5.54** – Característica em campo da fácies quartzo diorito da unidade Serra do Iran. (A) Afloramento em bloco rolado de quartzo diorito (427523/8191984). (B) Amostra de mão da fácies quartzo-diorito do Granito Serra do Iran.

**Figura 5.55** – Características em lâmina do quartzo diorito do Granito Serra do Iran. (A) Quartzo diorito da amostra AV-P143 sobre fotomicrografia de (2,5x) a nicóis paralelo com textura intersticial intergranular. (B) Fotomicrografia de (2,5x) sobre nicóis cruzados com xenocristais mantelados de quartzo com coroa de cristais finos granulares de hornblenda.

**Figura 5.56** – Aspecto em campo da fácies gabróica. (A) Afloramento do gabro em meio ao sienogranito com destaque para porções máficas (426965/8190319). (B) Amostra de mão do gabro presente na Serra do Iran.

**Figura 5.57** – Características em lâmina da fácies gabro da unidade Serra do Iran. (A) e (B) Fotomicrografias (4x) a nicóis paralelos e cruzados, respectivamente, do gabro encontrado no ponto 67 da Área IV de textura intergranular, destaque para os cristais de piroxênio de cor de interferência alta bastante alterados. (C) e (D) Cristais de biotita e mais subordinadamente quartzo, observados compondo o arcabouço intergranular da rocha rica em plagioclásio à diferente nicóis (2,5x).

**Figura 5.58** – Aspectos gerais em campo da unidade hidrotermal. (A) Afloramento fraturado da alteração hidrotermal no Granito Rio Caiapó (427500/8192024). 437475/8190262). (V) Amostra da alteração hidrotermal no Granito Serra do Iran (427500/8192024). (C) Amostra de mão da alteração presente em anfibolito do Gnaiss Arenópolis. (D) Detalhe de bloco rolado de anfibolito rico em epidoto.

**Figura 5.59** – Características em lâmina do anfibolito que sofreu alteração hidrotermal. (A) e (B) Fotomicrografias (10x) destacando o epidoto na vênula da lâmina a nicóis paralelos e cruzados, respectivamente. (C) Mostrando a relação de contato da associação de hornblenda, clorita e actinolita sendo cortado por uma vênula

rico em clorita e epidoto em lentes de (2,5x). (D) Plagioclásio sericitizado em contato com os anfibólios à nicóis cruzados (2,5x)

**Figura 5.60** – Aspectos em campo da Suíte Alcalina Arenópolis. (A) Afloramento de blocos de diques alcalinos na unidade Rio Caiapó. (B) Amostra de mão de bloco rolado de dique alcalino presente na Serra do Iran (425056/8189108). (C) Dique alcalino presente no chão com zoom em amostra de mão mostrando dique alcalino cortando o Granito Rio Caiapó (425363/8190112).

**Figura 5.61** – Características da unidade subvulcânica do Corpo Arenópolis. (A) Amostra do dique alcalino, basanita, presente na Área I, similar com os blocos rolados encontrados na Área IV. (B) e (C) Fotomicrografias (4x) de textura sub-ofítica realizado pelos cristais de plagioclásio ao redor do cristal de titano-augita. (D) e (E) Destaque para a matriz fina com cristais de olivina, plagioclásio e clinopiroxênio e a vênula oxidada a nicóis paralelos e cruzados.

**Figura 6.1** - Mapa Estrutural Integrado do Projeto Arenópolis com seus respectivos domínios estruturais e zonas de cisalhamento.

**Figura 6.2** - Estereogramas associados ao Domínio Piranhas. (A) Contornos de densidade com os pólos das foliações do domínio Piranhas. (B) Representação das medidas de lineações com polos preferenciais a noroeste e sudeste.

**Figura 6.3** - Estereogramas associados ao Domínio Caiapônia. (A) Contornos de densidade com os pólos das foliações deste domínio com fortes tendências ENE-WSW. (B) Representação das medidas de lineações do domínio Caiapônia com tendência NNW.

**Figura 6.4** - Estereogramas associados sobre o domínio Arenópolis. (A) Contornos de densidade com os pólos das foliações do Domínio Arenópolis com direções preferenciais E-W. (B) Estereogramas dos pólos das medidas de lineação deste domínio.

**Figura 6.5** - Mapa estrutural da Área IV com suas respectivas medidas plotadas adquiridas em campo e seus domínios estruturais presente

**Figura 6.6** - Aspecto gerais das foliações presentes nas rochas do Domínio Piranhas. (A) Destaque para a foliação de xistosidade presente no granito do Ribeirão Água Limpa. (B) Anfibolito foliado e dobrado da unidade matemática da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis com foliações S<sub>2</sub>. (C) Marcante foliação no afloramento de anfibolito da Sequência Arenópolis com foliações plano-axiais S<sub>2</sub>. (D) Gnaiss parcialmente bandado na área do contato do Ribeirão Água Limpa e a Sequência Arenópolis.

**Figura 6.7** - Estereograma referente às medidas dos pólos com as linhas de contorno de densidade das foliações do domínio Piranhas na Área IV.

**Figura 6.8** - (A) Afloramento de bloco basculado do granito milonítico Serra do Tatu. (B) Destaque para a foliação milonítica. (C) Lâmina petrográfica da unidade Serra do Tatu com ocorrência de porfiroclastos em complexos grão-calda do tipo- $\delta$ .

**Figura 6.9** - Aspecto gerais das foliações contidas no Domínio Caiapônia. (A) Afloramento de gnaiss bandado próximo ao contato do Gnaiss Arenópolis com o Granito Serra do Iran. (B) Bandamento de escala centimétrica presente no Gnaiss Arenópolis. (C) Foliação de crenulação na unidade metassedimentar da Sequência Arenópolis. (D) Aspecto textural do Gnaiss Arenópolis.

**Figura 6.10** - (A) Clivagens de crenulação em afloramento de metassedimentos da Sequência Arenópolis. (B) Fotomicrografia ressaltando a geração de crenulação mais recente (S<sub>cren</sub>) no metassedimento do Córrego da Onça.

**Figura 6.11** - Estereograma dos pólos com as linhas de contorno de densidade referente às foliações da Área IV referente ao Domínio Caiapônia.

**Figura 6.12** - Aspecto gerais das foliações contidas no Domínio Arenópolis. (A) Foliação presente no sienogranito do Granito Rio Caiapó. (B) Afloramento de rochas do Gnaiss Arenópolis envolvidas pela zona de Cisalhamento

Ribeirão em sua porção noroeste. (C) Foliação magmática presente no Granito Rio Caiapó refletida pelos feldspatos de tamanho centimétricos. (D) Afloramento do granito Serra do Iran com foliação magmática.

**Figura 6.13** - Estereograma com os pólos plotados com as linhas de contorno de densidade das foliações adquiridas em campo do Domínio Arenópolis localizado na Área IV do Projeto Arenópolis.

**Figura 6.14** - (A) Destaque para biotita estirada no granodiorito do Ribeirão Água Limpa. (B) Afloramento com orientação lineação de filossilicato SW em granito do Ribeirão Água Limpa. (C) Lineação de estiramento mineral em anfibolito da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis. (D) Metassedimento da sequência com lineações de crenulação.

**Figura 6.15** - Estereograma dos pólos com as linhas de contorno de densidade da lineação de estiramento com duas populações de medidas presente na Área IV do Domínio Piranhas.

**Figura 6.16** - Estereograma das medidas dos pólos e as linhas de contorno de densidade da lineação de estiramento presente na Área IV do Domínio Caiapônia.

**Figura 6.17** - Estereograma das medidas de lineações com seus pólos e linhas de contorno de densidade localizadas no Domínio Arenópolis da Área IV com as 3 populações de medidas.

**Figura 6.18** - (A) Afloramento de anfibolito do Córrego do Santo Antônio. (B) Destaque para as dobras presente do afloramento da imagem A com representação da  $S_1$  e todas demais estruturas relacionadas a esta série de dobramentos. (C) Estereograma da representação das medidas dos flancos destas sequências de dobras. (D) Afloramento de anfibolito da Sequência Arenópolis. (E) Desenho esquemático com destaque as séries de dobramentos presentes no afloramento da imagem D, mostrando as componentes  $S_1, E_1, E_2$  e todos os demais. (F) Estereograma com os flancos e plano axial do afloramento da imagem D.

**Figura 6.19** - (A) Anfibolito dobrado da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis. (B) Desenho esquemático mostrando a dobra apertada anfibolito da sequência. (C) Estereograma refletindo a direções dos flancos e plano axial desse afloramento.

**Figura 6.20** - (A) Afloramento de anfibolito dobrado da Sequência Arenópolis. (D) Desenho esquemático do anfibolito aflorante da imagem A com dobras abertas. (C) Estereograma com as medidas dos flancos e plano axial desta dobra de caimento moderado.

**Figura 6.21** - (A) Dobra apertada no metassedimento da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis. (B) Desenho esquemático mostrando os componentes estruturais presentes no metassedimento. (C) Estereogramas das medidas estruturais do metassedimento com o eixo ( $E_2$ ) com caimento de  $64^\circ$  para S30W.

**Figura 6.22** - (A) Afloramento de metassedimento com dobra apertada na Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis. (B) Desenho esquemático mostrando os componentes estruturais presentes no metassedimento. (C) Estereogramas das medidas estruturais dos flancos e plano axial do metassedimento.

**Figura 6.23** - (A) Dobra aberta presente no chão em afloramento de metassedimento da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis. (B) Desenho esquemático os componentes estruturais desta dobra normal com caimento suave. (C) Estereograma com os flancos e eixo axial da dobra presente.

**Figura 6.24** - (A) Afloramento de metassedimento de dobra crenulada da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis. (B) Desenho esquemático da dobra crenulada com representação da  $S_1$  e  $E_2$ . (C) Estereograma com os flancos e eixo axial da dobra presente.

**Figura 6.25** - Aspectos gerais das rochas presentes sobre a zona de cisalhamento Piranhas. (A) Afloramento de anfibolito da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis. (B) Dobras com cinemática sinistral presente no anfibolito da sequência com seu respectivo estereograma.

**Figura 6.26** - (A) Destaque para o movimento sinistral provocado pelo cisalhamento sobre o veio pegmatítico presente no tonalito do Ribeirão Água Limpa e seu estereograma. (B) Enclaves ígneos de cinemática sinistral na unidade Ribeirão Água Limpa com respectivo estereograma.

**Figura 6.27** - Evidências de cisalhamento sobre as rochas do Domínio Arenópolis e seus respectivos estereogramas. (A) Destaque para a foliação S/C no Granito Serra do Iran. (B) Foliação S-C com padrão anastomosado. (C) Estruturas do tipo boudins.

**Figura 6.28** - (A) Foliações miloníticas presentes no Gnaiss Arenópolis e estereograma das medidas de foliação. (B) Estruturas do tipo boudins no Gnaiss Arenópolis. (C) e (D) Foliações S/C localizados no Gnaiss Arenópolis indicando cinemática sinistral.

**Figura 6.29** - Diagramas de rosetas ilustrando as principais direções de fraturas presentes na Área IV pertencendo exclusivamente ao Domínio Arenópolis.

**Figura 6.30** - (A) Juntas conjugadas presente em blocos lajedos do Granito Rio Caiapó com orientação N-S e E-W. (B) Diques de composição ígnea no Granito Rio Caiapó com orientação, próxima a N-S e E-W. (C) Família de juntas ortogonas no Granito Rio Caiapó de orientação NW-SE e SW-NE e seus respectivos sigmas de tensão. (D) Par de fraturas conjugadas no Granito Serra do Iran com orientação, próxima a NW-SE e SW-NE com seus sigmas tensionais.

**Figura 6.31** - (A) Marcas de falhamento com slicksides presente sobre solo sobreposto ao granito da Serra do Iran. (B) Desenho esquemático mostrando o sentido e as estruturas presentes neste falhamento reverso. (C) Estereograma das feições lineares da falha presente com atitude de S75E/30.

**Figura 6.32** - (A) Cataclasito localizados no interior do Granito Serra do Iran. (B) Afloramento no chão evidenciando essa coesão ocorrido de forma friccional-rúptil. (C) Bloco rolado de granito que sofreu essa coesão rúptil.

**Figura 6.33** - (A) Gouge de falha presente próximo nas proximidades entre o Granito Rio Caiapó e Gnaiss Arenópolis com os pares de fraturas. (B) Desenho esquemático destacando os fragmentos angulosos na matriz caolinítica.

**Figura 7.1** - Mapa geológico do Arco Magmático de Arenópolis com a localização dos principais depósitos minerais. Retirado de Silva *et al.* (2014).

**Figura 7.2** - Mapa de Recursos Minerais do Projeto Oeste de Goiás, com destaque para a área de estudo do Projeto Arenópolis. Adaptado de Lacerda *et al.* (2021).

**Figura 7.3** - Mapa de processos minerários por substância na área do Projeto Arenópolis (Fonte: SIGMINE/ANM, Novembro/2023).

**Figura 7.4** - (A) Terraços aluvionares próximos às margens do Córrego da Areia. (B) Solo arenoso com pequenos grãos de seixos proveniente do Granito Rio Caiapó próximo ao Córrego da Areia.

**Figura 7.5** - (A) Amostras de mão de monzogranito (coloração cinza) e sienogranito (coloração rosada) em meio a blocos aflorantes da unidade Granito Serra do Iran obtidos na Área IV. (B) Biotita tonalito milonitizado do Ribeirão Água Limpa.

**Figura 8.1** - Fechamento do Oceano Goiás-Farusiano com desenvolvimento das primeiras assembleias de arcos intra-oceânicos (cerca de 900 a 770 milhões de anos). Adaptado de Marques (2017).

**Figura 8.2** - Diagrama ternário de Pearce (1996) para classificação dos anfibolitos das unidades Córrego da Onça e Córrego Santo Antônio. Fonte: SGB-CPRM (2021).

**Figura 8.3** - Modelo evolutivo do estágio de arco intra-oceânico na região entre Piranhas e Arenópolis, com destaque para o modelo proposto por Lacerda-Filho *et al.* (2021).

**Figura 8.4** - Diagrama de classificação do índice de Shand (alumina-saturação) à esquerda e diagrama TAS para todas as unidades plutônicas e metaplutônicas do Projeto Arenópolis à direita. Fonte: SGB-CPRM (2021).

**Figura 8.5** - Modelo evolutivo do estágio de arco continental na região entre Piranhas e Arenópolis, com destaque para o modelo proposto por Lacerda-Filho *et al.* (2021).

**Figura 8.6** - Modelo evolutivo do estágio pós-colisional na região entre Piranhas e Arenópolis, com destaque para o modelo proposto por Lacerda-Filho *et al.* (2021).

**Figura 8.7** - Modelo proposto por Ferreira *et al.* (2022) para a evolução da litosfera facilitando a colocação dos magmas toleíticos e alcalinos de aproximadamente 130 milhões e 80 milhões de anos. Adaptado de Ferreira *et al.* (2022).

**Figura 8.8** - (A) Afloramento de anfibolito dobrado pertencente a Unidade Córrego do Santo Antônio (416244E/8190590S), evidenciando (B) o padrão de interferência de dobra  $F_2$  com dobra  $F_1$  e as relações de sobreposição das gerações de foliações. A Foliação plano-axial  $S_2$  compõe a foliação predominante na área do projeto, enquanto a foliação  $S_1$  se mostra transposta e incluída nos planos de  $F_2$ . (C) Estereograma mostrando os pólos dos flancos da dobra  $F_2$ , bem como o seu perfil e superfície axial, além do eixo.

**Figura 8.9** - Modelo proposto para a região do Projeto Arenópolis. Destaca-se o cisalhamento regional sinistral com falhas antitéticas e sintéticas e as respectivas direções de encurtamento e estiramento.

**Figura 9.1** – Mapa litológico simplificado do Projeto de Mapeamento Final (1973) com foco nas áreas do Projeto Arenópolis (2023).

**Figura 9.2** – Comparação entre o mapa gerado pela CPRM (Lacerda Filho *et al.*, 2021) e o mapa confeccionado pelo Projeto Arenópolis da mesma área.

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1.1** - Cronograma de atividades do Projeto Arenópolis.

**Tabela 2.1** - Resumo de idades das unidades abarcadas pelo Projeto Arenópolis. Notar a carência de dados geocronológicos mais atuais.

**Tabela 3.1** – Características do sensor ASTER, bem como os metadados da cena utilizada no Projeto Arenópolis.

**Tabela 3.2** - Características da câmera WMP do CBERS-4A, assim como os metadados da cena utilizada no Projeto Arenópolis.

**Tabela 3.3** - Características do Modelo Digital de Elevação oriundos do sensor PALSAR, além dos metadados da cena utilizada no Projeto Arenópolis.

**Tabela 3.4** - Matriz de covariância da imagem CBERS-4A, mostrando a variância de cada banda na diagonal.

**Tabela 3.5** - Matriz de covariância da imagem ASTER L1T, mostrando a variância de cada banda na diagonal. 1T.

**Tabela 3.6** – Tabela de parâmetros utilizados para confecção do relevo sombreado.

**Tabela 3.7** – Tabela de descrição das zonas homólogas da Área IV.

**Tabela 3.8** – Tabela dos parâmetros do levantamento realizado pela Lasa Engenharia.

**Tabela 3.9** - Descrição dos domínios gamaespectrométricos da Área IV.

**Tabela 7.1** - Resumo de algumas características dos principais depósitos metálicos do Arco Arenópolis (Silva *et al.*, 2014).

**Tabela 8.1** - Estágios de evolução tectônica do Arco Magmático de Arenópolis referente as unidades do Projeto Arenópolis.

## LISTA DE ABREVIATURAS

ASA - Amplitude do sinal analítico  
ASF - Alaska Satellite Facility  
ASTER - Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer  
ALOS - Advanced Land Observing Satellite  
CBERS - China-Brazil Earth Resources Satellite  
CPRM - Serviço Geológico do Brasil  
CMA - Campo Magnético Anômalo  
ESDS - Earth Science Data Systems  
eTh - Equivalente de Tório  
eU - Equivalente de Urânio  
FLAASH - Fast Line-of-Sight Atmospheric analysis of Spectral Hypercubes  
GHT - Gradiente Horizontal Total  
GPS - Global Positioning System  
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
JAXA - Japan Aerospace Exploration Agency  
Landsat - Land Remote-Sensing Satellite (System)  
MDE - Modelo Digital de Elevação  
MME - Ministério das Minas e Energia  
nT - Nanotesla  
ppm - Partes por milhão  
TMI – Total Magnetic Intensity  
RGB - Red - Green – Blue  
SIEG - Sistema Estadual de Geoinformação do Governo do Estado de Goiás  
SIG - Sistema de Informação Geográfica  
SRTM - Shuttle Radar Topographic Mission  
SWIR - Shortwave Infrared  
UnB - Universidade de Brasília  
1DV – Primeira Derivada Vertical

Símbolos de elementos químicos e abreviaturas de minerais e rochas utilizados em mapas e relatórios - Divisão de Geologia Básica Instrução Técnica (DIGEOB) - CPRM:

anf – anfíbólio  
aug - augita  
ap - apatita  
bt - biotita  
chl - clorita  
cpx – clinopiroxênio  
ep - epidoto  
grt - granada  
hbl - hornblenda  
kfs - feldspato potássico  
ms - muscovita  
pl - plagioclásio  
plg - plagioclásio  
qtz – quartzo  
ser – sericita  
ttn – titanita  
mic – microclínio  
px – piroxênio

## Sumário

<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivos.....	2
1.2. Localização e vias de acesso .....	3
1.3. Materiais e Métodos.....	3
1.3.1 Etapa Pré-Campo .....	4
1.3.3 Etapa Pós-campo.....	7
1.4 Aspectos Fisiográficos.....	8
1.4.1 Clima.....	8
1.4.2 Hidrografia.....	9
1.4.3 Geomorfologia .....	10
1.4.4 Pedologia.....	12
1.4.5 Vegetação .....	14
<b>2. Geologia Regional .....</b>	<b>16</b>
2.1 Província Tocantins e a Faixa Brasília .....	17
2.2 O Arco Magmático de Goiás .....	22
2.2.1 O Segmento Arenópolis.....	22
2.3 Bacia do Paraná.....	24
2.4 Unidades Geológicas do Projeto Arenópolis .....	25
<b>3. Sensoriamento Remoto, Fotogeologia e Geofísica.....</b>	<b>35</b>
3.1 Sensoriamento Remoto.....	35
3.1.1 Imagens multiespectrais.....	36
3.1.2 Modelo Digital de Elevação (MDE).....	38
3.1.3 Processamento dos Dados .....	38
3.1.4 Produtos e interpretações.....	42
3.2 Fotogeologia .....	52
3.2.1 Produtos e interpretações.....	52
3.3 Geofísica .....	56
3.3.1 Gamaespectrometria.....	58
3.3.2. Magnetometria.....	61
3.3.3 Produtos e Interpretações .....	63
<b>4. Geologia do Projeto Arenópolis.....</b>	<b>75</b>
4.1. Embasamento .....	76
4.2. Arco Magmático Goiás .....	78
4.2.1 Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas .....	78

4.2.3 Gabro Morro do Baú.....	81
4.2.4. Gnaiss Arenópolis .....	82
4.2.5. Intrusões sin-tectônicas.....	83
4.2.6. Intrusões tardi-tectônicas.....	86
4.3. Bacia do Paraná .....	89
4.4. Província Alcalina de Goiás .....	90
<b>5. Litoestratigrafia e Petrografia da Área IV .....</b>	<b>92</b>
5.1. Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas - NP1api.....	95
5.1.1. Unidade Córrego do Santo Antônio - NP1apa .....	95
5.1.2 Unidade Córrego da Onça - NP1apo .....	107
5.2 Granito-Gnaisses Tonianos .....	110
5.2.1 Gnaiss Arenópolis - NP1yna .....	110
5.3 Granitos Criogenianos Sin a Tardi-tectônicos .....	115
5.3.1 Granito Serra do Tatu - NP2yst .....	115
5.3.2 Granito Ribeirão Água Limpa - NP2yal .....	119
5.6 Granitos Ediacaranos Tardi a Pós-tectônicos.....	128
5.6.1 Granito Rio Caiapó - NP3ycai.....	128
5.6.2 Granito Serra do Iran - NP3ysnir .....	132
5.8 Alteração Hidrotermal .....	147
5.7 Suíte Plutônica Alcalina de Arenópolis – Jk $\kappa$ ia.....	149
<b>6. Geologia Estrutural .....</b>	<b>152</b>
6.1 Domínios Estruturais do Projeto Arenópolis.....	152
6.1.1 Domínio Piranhas .....	154
6.1.2 Domínio Caiapônia.....	155
6.1.3 Domínio Arenópolis.....	157
6.2 Arcabouço Estrutural da Área IV .....	158
6.2.1 Arcabouço Dúctil.....	160
6.2.2 Arcabouço Estrutural Rúptil.....	179
<b>7. Geologia Econômica.....</b>	<b>183</b>
7.1 Metalogênese do Arco Magmático de Arenópolis.....	183
7.2. Recursos Minerais do Projeto Arenópolis.....	185
7.2.1. Sistema Magmático-Hidrotermal.....	187
7.2.2 Sistema Hidrotermal .....	188
7.2.3 Sistema associado ao magmatismo alcalino.....	188
7.2.4 Minerais e rochas industriais.....	189
7.3 Recursos Minerais da Área IV .....	192

<b>8. Evolução tectônica .....</b>	<b>194</b>
8.1. Estágio de Arco Intra-Oceânico .....	194
8.2. Estágio Arco Continental - Colisão Continente-Continente .....	199
8.3. Estágio Pós Colisional: magmatismo bimodal em ambiente transicional .....	201
8.4. Estágio Extensional .....	203
8.5 Magmatismo alcalino.....	204
8.6 Fases de deformação e metamorfismo.....	205
<b>9. Considerações finais.....</b>	<b>209</b>
<b>10. Referências Bibliográficas.....</b>	<b>214</b>

## 1. Introdução

O projeto Arenópolis diz respeito a disciplina Trabalho de Mapeamento Geológico Final, componente final do ordenamento curricular do curso de graduação em Geologia. O desenvolvimento do projeto consistiu na elaboração de um mapeamento geológico integrado em escala 1:25.000 e ocorreu durante o ano letivo de 2023 sob a oferta do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (IG-UnB), contando, com o apoio estrutural e financeiro da Universidade. Assim, o presente relatório detalha os estudos realizados na região de Arenópolis-GO, com foco nos dados e produtos da Área IV do Projeto. A área total do tal projeto apresenta cerca de 908 km<sup>2</sup>, com uma subdivisão em 10 áreas, sendo que seis dessas apresentam 80 km<sup>2</sup> e outras quatro com 102 km<sup>2</sup>. As áreas encontram-se distribuídas, de norte a sul, entre os municípios de Arenópolis, Piranhas e Diorama, no estado de Goiás.

O trabalho foi coordenado pela professora Dra. Nathalia Hauser e os professores coordenadores Dr. Elton Luiz Dantas e Dr. Luiz Gustavo Viegas. Em colaboração da equipe de orientadores, foi composto pelos professores doutores Caio Arthur Santos, Julia Curto Ma, Guilherme Gonçalves, Eliza Inez Nunes Peixoto e Henrique Llacer Roig, além da colaboração do Dr. Ítalo Lopes de Oliveira. A turma é composta por 21 alunos, com atribuições designadas a 10 áreas, sendo 9 duplas e um trio.

Historicamente, a região fora alvo de mapeamentos sistemáticos como consta nos trabalhos de Pena & Figueiredo (1972) e Faria et al. (1975), além de projetos de mapeamento em diferentes escalas em regiões vizinhas, como o Projeto Piranhas (1975), em escala de 1:50.000.

Apesar de pioneiros, os supracitados trabalhos de mapeamento foram realizados sob uma diferente ótica da qual hoje paira a base do entendimento moderno dos variados processos geológicos. Deste modo, interpretações que a época era triviais, foram, com o tempo, ganhando novos significados e aceitação de novas reinterpretações. É nesse contexto que o referido projeto de mapeamento geológico foi realizado, abrangendo, assim, o âmbito do segmento Arenópolis, contraparte sul do Arco Magmático de Goiás (Pimentel & Fuck, 1992; Rodrigues *et al.*, 1999; Pimentel *et al.*, 2001).

Tendo em vista esse retrospecto, o Projeto Arenópolis buscou auxiliar na contribuição da compreensão da evolução da porção setentrional do Orógeno Brasília, mais especificamente no que diz respeito as sequências metavulcanossedimentares neoproterozóicas do segmento Arenópolis do Arco Magmático de Goiás, uma vez que o referido projeto engloba as relações

de contato entre unidades da sequência de Arenópolis. Essa sequência configura uma peça-chave na busca de tal compreensão por conter unidades que registram a fase insular da evolução do arco magmático (Fuck *et al.*, 2017). Além disso, a região apresenta um amplo espectro de rochas graníticas que registram eventos tectono-termiais tardios do Ciclo Brasileiro, assim como rochas gnáissicas que podem representar porções de um embasamento tectonicamente imbricadas com as sequências supracrustais ou serem representativos de rochas plutônicas deformadas e metamorfizadas em consonância com essas sequências (Pimentel, 1985).

Levando em conta a grande variação litológica e composicional envolvendo associação de rochas metavulcânicas a subvulcânicas e plutônicas, seria natural a ocorrência de evidências de processos hidrotermais, sejam eles de origem magmática ou de fundo oceânico, afetando as assembleias minerais dessas rochas. Deste modo, essas características intrínsecas ao contexto geológico, por si só, configuram a região como um bom condicionante para vetores prospectivos de depósitos de Cu-Au pórfiro e vulcanogênicos de sulfetos como Cu e Zn.

Neste sentido, o presente projeto de mapeamento geológico se justifica por buscar expandir a cartografia de detalhe da região, seja em pontos onde os dados existentes encontram-se limitados por escalas de menor detalhe ou em pontos em que as informações mais detalhadas disponíveis não recobrem outras porções importantes das unidades dentro do espectro regional. Ademais, a disponibilidade de dados geofísicos de livre acesso recobrimo essa ampla região de importante expressão geotectônica, torna exequível a extensão das interpretações tomadas com base em dados de campo e de laboratório.

### **1.1. Objetivos**

O Projeto Arenópolis visa, acima de tudo, a elaboração de um mapa geológico em escala 1:25.000 com caráter integrado das subáreas que compõem o projeto em conjunção com a confecção de relatórios expondo os procedimentos e técnicas para a obtenção dos dados, aliados com as interpretações deles decorridos, com intuito de caracterizar e classificar as diferentes unidades geológicas e estabelecer relações petrográficas, tectônicas, metamórficas e de deformação entre elas.

Além dos aspectos acima expostos, o Trabalho de Mapeamento Geológico Final visa a formação de novos geólogos, valendo-se de diversos campos do conhecimento da geologia e que foram, de alguma forma, recorrentes para a realização do projeto. Deste modo, o projeto pretende contribuir na formação dos estudantes, a fim de aperfeiçoar conhecimentos obtidos ao decorrer do curso de graduação em geologia, utilizando-se noções de sensoriamento remoto,

estratigrafia, geologia estrutural, geofísica, petrografia, além de conhecimentos a respeito de caracterização de ocorrências minerais e potencial metalogenético.

## 1.2. Localização e vias de acesso

A área do Projeto Arenópolis está situada na porção oeste do Goiás, entre as cidades de Piranhas e Arenópolis (Fig. 1.1), situando-se aproximadamente a 510 km de Brasília e 310 km de Goiânia. O acesso para estas cidades se dá pela rodovia federal BR-158, rodovia estadual GO-060 que liga à Goiânia e a GO-188.

A cidade de Piranhas foi escolhida como base do projeto de mapeamento devido à proximidade das áreas de estudo e sua infraestrutura. Para se chegar na Área IV, foram utilizadas diversas estradas não pavimentadas entre as principais vias de acesso.

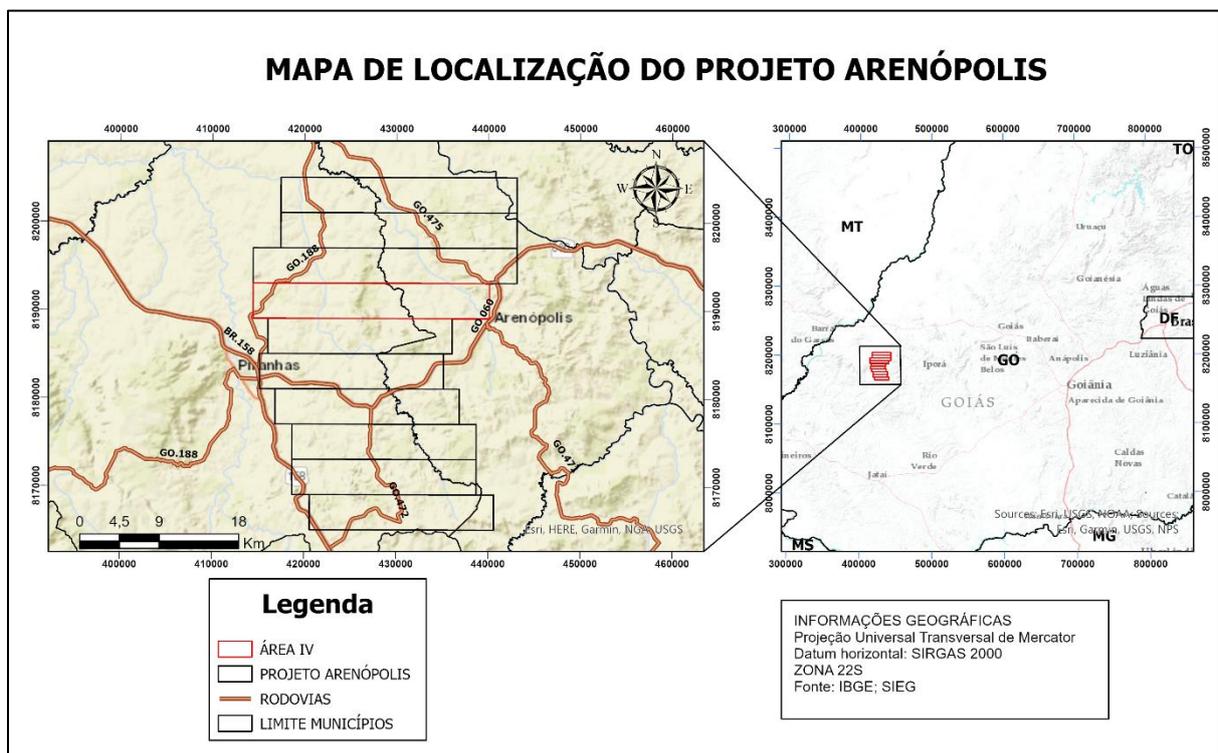


Figura 1.1 - Localização do Projeto Arenópolis, situado entre os municípios de Piranhas e Arenópolis-GO.

## 1.3. Materiais e Métodos

O Projeto Arenópolis, realizado entre março e dezembro de 2023 (Tabela 1.1), foi dividido em três etapas: pré-campo, campo e pós-campo. Na etapa pré-campo, foi realizada a revisão bibliográfica do contexto geológico da área de estudo, assim como a obtenção e interpretação de imagens orbitais e dados aerogeofísicos, finalizando com a elaboração dos mapas-base e das interpretações geológicas preliminares que subsidiaram as etapas de campo

e pós-campo. A etapa de campo foi aquela destinada essencialmente na coleta de amostras para análises litológicas e petrográficas, assim como na obtenção de dados estruturais. Já a etapa pós-campo consistiu na fase do projeto em que todas as informações foram compiladas e integradas e onde as interpretações foram materializadas na forma de mapa e relatório técnico.

**Tabela 1.1** - Cronograma de atividades do Projeto Arenópolis.

Etapa	Atividade	Período (2023)									
		Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Pré-campo	Revisão bibliográfica	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
	Seminários		•	•	•	•					
	Sensoriamento Remoto	•	•	•	•						
	Geofísica			•	•						
	Mapa Base					•					
	Mapa Geológico preliminar				•	•					
<b>Campo</b>						•	•				
Pós-campo	Mapa Geológico parcial							•			
	Petrografia								•		
	Geologia local								•		
	Geologia Estrutural									•	
	Geologia Econômica									•	
	Evolução tectônica									•	
	Conclusão e discussões										•
	Relatório final e defesa										•

### 1.3.1 Etapa Pré-Campo

A etapa pré-campo iniciou-se em março de 2023, perdurando até o mês de julho. Foi centrada na preparação e no planejamento das atividades de campo. Nessa etapa, fora apreciada uma revisão e uma compilação bibliográfica do conhecimento geológico da área alvo de estudo,

além de uma campanha de apresentações de artigos e palestras a fim de elucidar o quadro contextual, levantando problemáticas, questionamentos e novas ideias para o projeto.

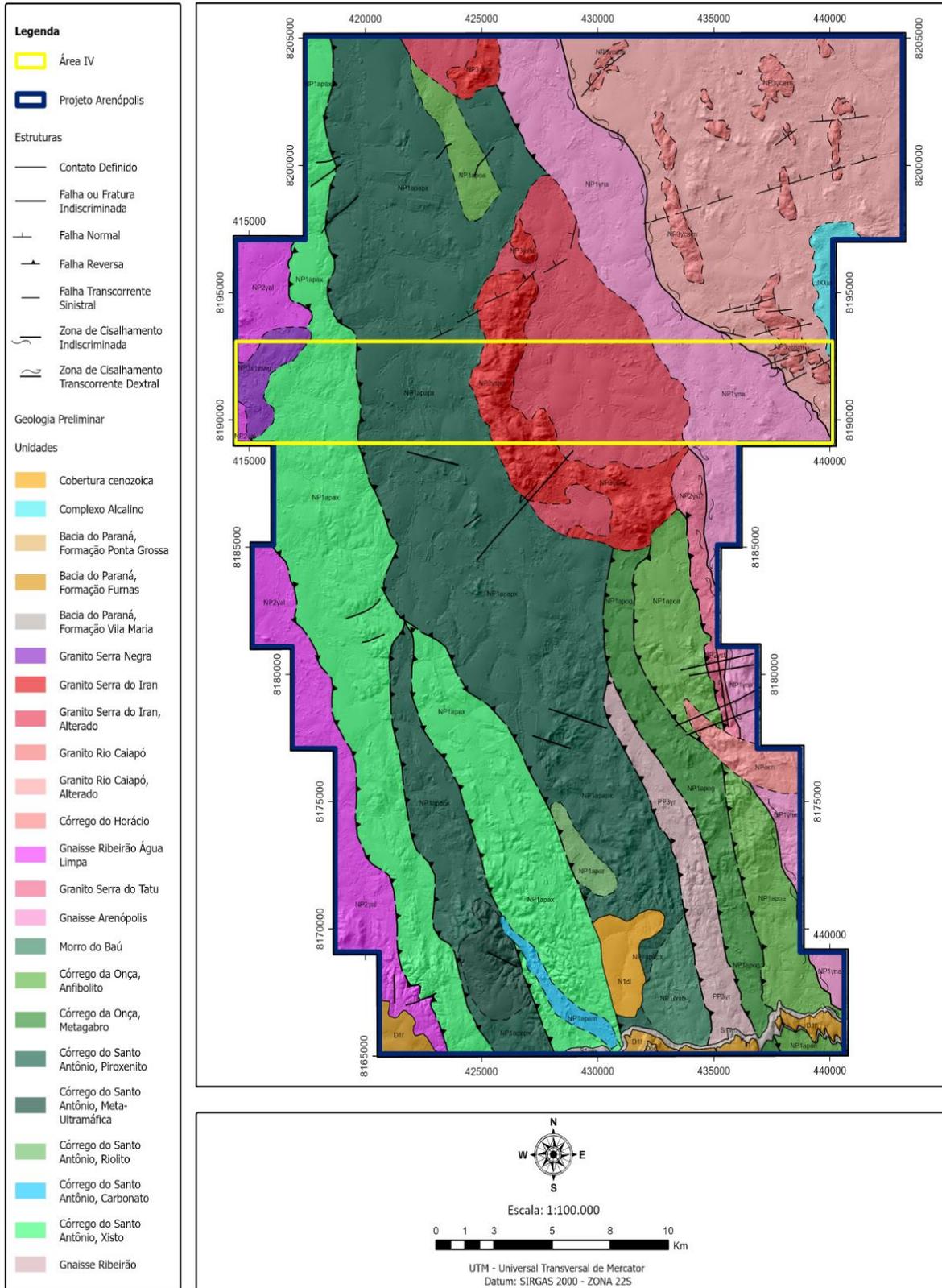
Ao longo dos meses de março a junho, ocorreram reuniões semanais com aulas expositivas e discussões referentes a campanha de campo e gerações de produtos cartográficos. Estes produtos consistiram em mapas elaborados em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), gerados a partir de estruturação de um banco de dados geográficos em sistema *geodatabase* via software Arcgis Pro 3.1.0, com o intuito de armazenar, consultar e manipular dados espaciais, facilitando a troca e a atualização das informações entre os integrantes do projeto. Neste sistema, constaram dados em formato matricial, buscados e referenciados de bancos de dados externos, assim como imagens orbitais multiespectrais, imagens de radar, além de dados vetoriais como hidrografia, vias de acessos, localidades, curvas de nível, dentre outros. Ademais, também integraram essa base, dados aerogeofísicos processados via Geosoft Oasis Montaj 2021.2.1.

A etapa pré-campo foi finalizada com a produção do mapa geológico-geofísico preliminar da área de estudo (Fig. 1.2) e a elaboração de todo o planejamento logístico necessário para a execução da etapa de campo, como a elaboração dos perfis de caminhamentos diários.

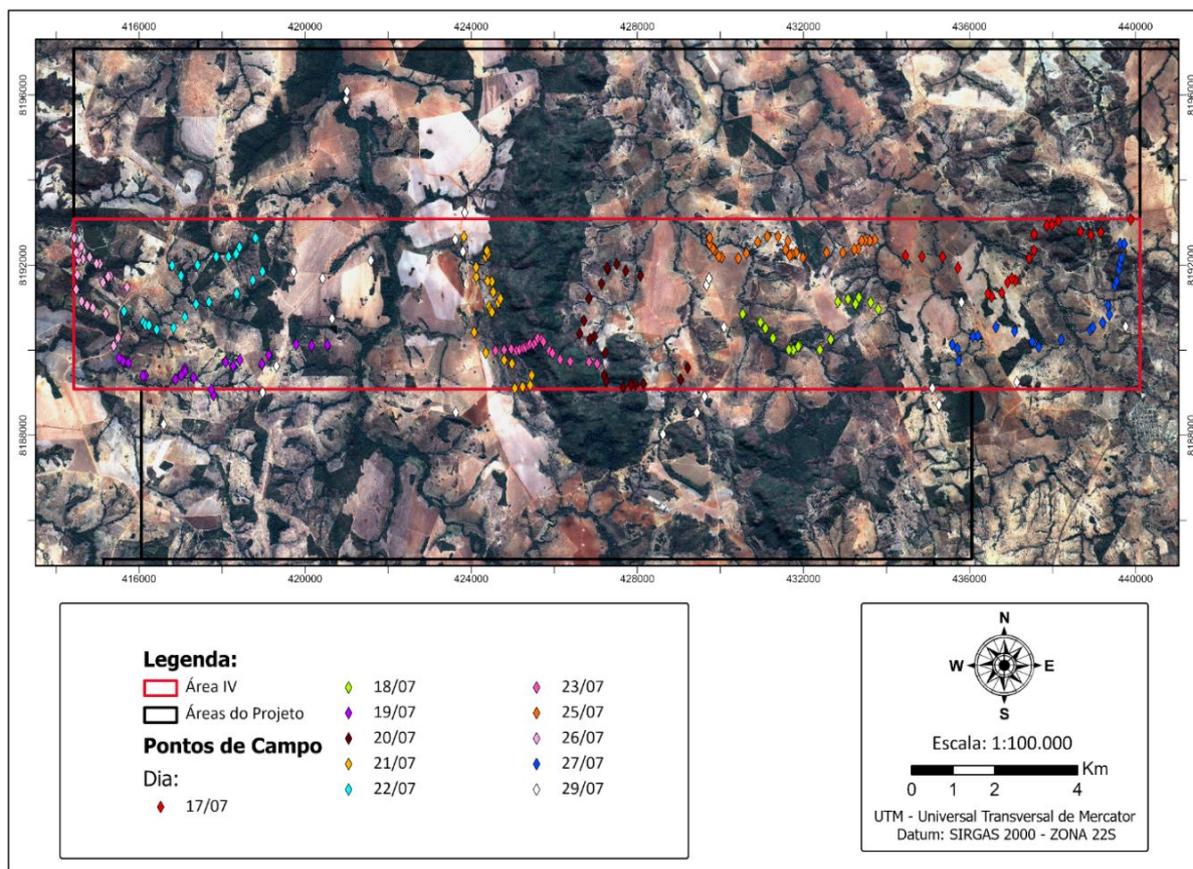
### **1.3.2 Etapa de Campo**

Durante os dias 16 julho a 1 de agosto de 2023, foi realizada a expedição de campo, a qual consistiu na fase de coleta de dados, essencialmente, litológicos e estruturais da área do projeto. Foram, ao todo, 11 dias de trabalho de campo e 3 dias de atividades de escritório. Ao final de cada dia de trabalho, reuniões eram realizadas com o intuito discutir as informações obtidas e definir a logística e perfis para a jornada do dia seguinte. Ao final da etapa, foi confeccionado a mão um mapa geológico em escala 1:25:000.

Foram realizados 10 perfis de caminhamentos pré-determinados de direção-geral E-W, com maior distanciamento visando buscar uma maior variação litológica e estrutural da área com a maximização da cobertura espacial. Além disso, foi realizado 1 perfil em pontos distanciados com intuito de cobrir porções com baixa ocorrência de afloramentos. Ao todo, foram tomados 228 pontos na Área IV do projeto (Fig. 1.3).



**Figura 1.2** - Mapa geológico preliminar do Projeto Arenópolis com destaque para a Área IV.



**Figura 1.3** - Mapa mostrando a distribuição de pontos conforme os dias de amostragem.

Os dados levantados em campo foram sistematizados por meio de descrições litológicas por meio da caracterização das assembleias minerais das amostras, medidas de feições estruturais, coordenadas dos afloramentos, esboços esquemáticos realçando relações de contato, registros fotográficos georreferenciados e coleta de amostras representativas das unidades observadas. Para a coleta desses dados, foram utilizados: caderneta de campo; aplicativos de *smartphone* como *Avenza Maps* para marcação de pontos, *QField* para navegação e *Climo* para realização de medidas estruturais, este último, sempre apoiadas por medições em uma bússola geológica Tipo Clar DQL-2A. Ainda, utilizou-se rádio comunicador Motorola, ímã, lupa, canivete, ácido clorídrico, marreta e martelo geológico.

### 1.3.3 Etapa Pós-campo

A etapa pós-campo iniciou-se no mês de agosto de 2023, seguida da etapa de campo, decorrendo-se até o mês de dezembro de 2023. Esta fase teve o desfecho com a apresentação e defesa do trabalho final. Aqui foram integrados os dados obtidos nas etapas anteriores com a contemplação de análises petrográficas provenientes das amostragens de campo, objetivando a

pormenorização das caracterizações litológicas e refinamento do mapa geológico produzido na etapa de campo.

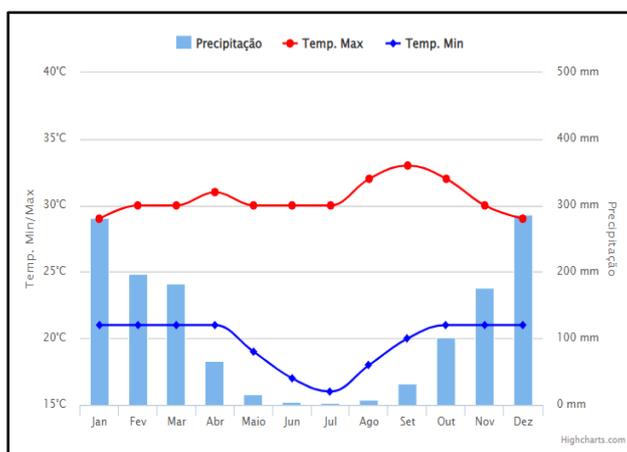
As caracterizações petrográficas aqui presentes, referem-se a 21 amostras representativas das unidades geológicas da Área IV, assim como de unidades com continuação e expressão nas áreas adjacentes, garantindo um panorama integrado com as outras subáreas. As secções delgadas foram confeccionadas no Laboratório de Laminação do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (LABLAM), bem como secções polidas no GEOLAB situado na cidade de Recife, subsidiando, assim, as análises de microscopia de luz transmitida, de modo a caracterizar a assembleia mineral das amostras.

## 1.4 Aspectos Fisiográficos

Uma das etapas do trabalho de mapeamento é a descrição dos aspectos físicos da área do projeto. Estes aspectos, por vezes, são reflexos das litologias presentes juntamente com o clima. A seguir, serão abordados os principais tópicos relacionados a fisiografia da Área IV do projeto de mapeamento geológico de Arenópolis.

### 1.4.1 Clima

O município de Piranhas apresenta a caracterização climatológica em inverno seco seguido de um verão chuvoso, possuindo os meses secos entre maio e setembro e os meses chuvosos entre outubro e abril, essa caracterização entra na classificação climatológica do tipo Aw de Köppen. As temperaturas ao longo do ano apresentam uma amplitude térmica que varia de 17 a 34 °C, sendo raramente inferior a 14 °C ou superior a 38 °C, contendo uma média anual em 31 °C. A precipitação média anual possui valores de 1.360 mm, tendo os meses com maiores pluviosidades nos meses de dezembro a janeiro, com valores próximos a 300 mm (Fig. 1.4).



**Figura 1.4** - Gráfico com dados climatológicos anuais de precipitação e temperaturas do município de Arenópolis-GO, referentes às médias dos últimos 30 anos. Fonte: Climatempo (2023).

### 1.4.2 Hidrografia

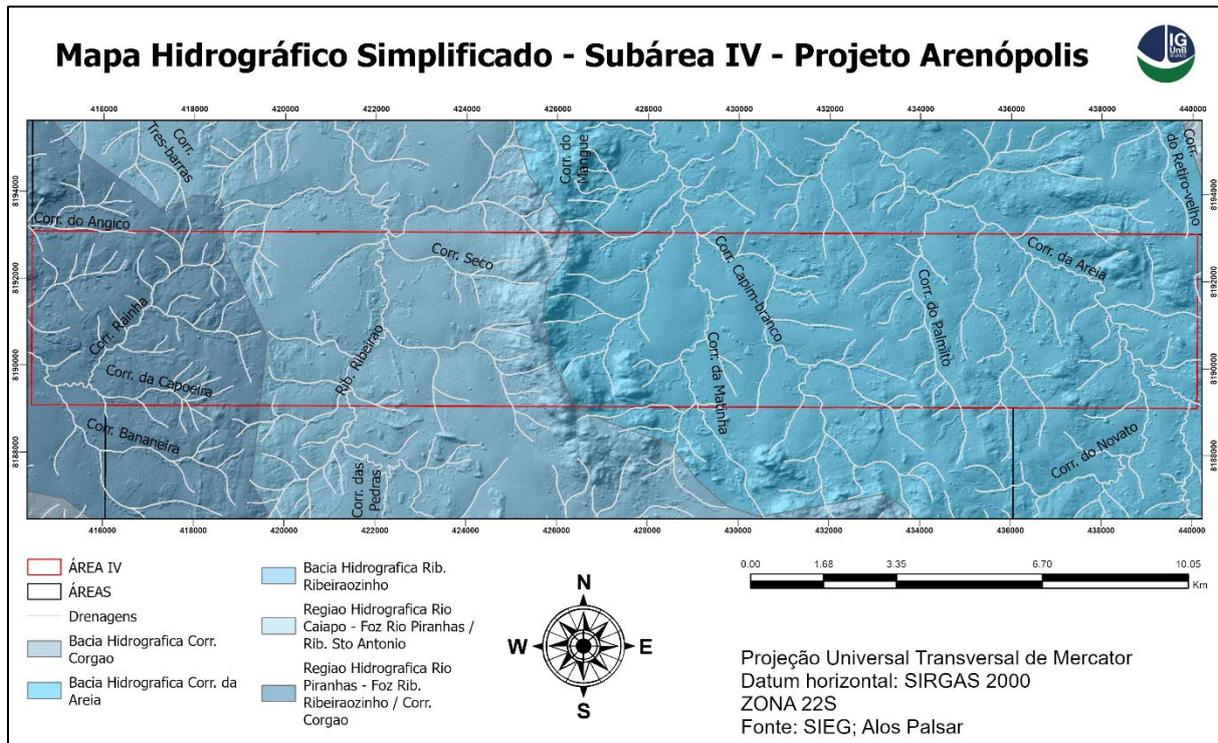
A região do Projeto Arenópolis está situada na Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins-Araguaia, no qual é formada por vários rios e ribeirões, onde estes corpos hídricos estão majoritariamente orientados para noroeste, seguindo a orientação estrutural principal da região, encaixados nas falhas e zonas de cisalhamentos. Os dois principais rios da área do projeto são o Rio Piranhas, presente no extremo oeste das áreas, e o Rio Caiapó, localizado no extremo oriente. O Rio Caiapó que é alimentado pelo Rio Piranhas e Rio Macaco, além dos ribeirões: Córrego das Pedras, São Domingos, Água Parada, Meia Ponte, Indaiá, Sucuri, Bom Sucesso, Córrego Seco, e de dezenas de outros cursos menores d'água os quais formam as bacias do rio Piranhas, que é afluente do Rio Caiapó.

Segundo o Sistema de Informações Geográficas do Estado de Goiás (SIEG), a Área IV possui sub-bacias hidrográficas, compostas pelas bacias: Córrego Corgão, Córrego da Areia e Ribeirão Ribeirãozinho, dos quais compõem a Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins (Figura 1.6).

Os corpos hídricos da Área IV refletem o caráter litológico local, seguindo o controle estrutural da geologia da área. Este controle pode ser visto no corpo hídrico de maior expressão na Área IV: o Córrego da Areia, situado na porção nordeste da área, marcando o contato do Gnaisse Arenópolis com o Granito Rio Caiapó de sentido NW-SE através da zona de cisalhamento (Figura 1.5A). Neste córrego é possível ver uma perenidade, mesmo com o auge da seca no mês de julho. Na quarta área do projeto possui diversas drenagens secundárias, com padrão dendrítico, as vezes lineares, onde muitas delas intermitentes que em período de seca expõe diversos afloramentos de na forma de lajedos (Figura 1.5B).



**Figura 1.5** - Hidrografia presente na Área IV. (A) Córrego da Areia no período da seca com pequeno volume. (B) Drenagem seca intermitente no período da seca próximo a Serra do Iran.



**Figura 1.6** – Mapa hidrográfico da Área IV. Fonte: Sistema de Informações Geográficas do Estado de Goiás.

### 1.4.3 Geomorfologia

De acordo com Lacerda Filho *et al.* (2021), o contexto geomorfológico da região do projeto é predominantemente suave ondulada com algumas elevações. A feição geomorfológica de maior destaque para área do projeto é a extensa linha denominada “cuesta” do Caiapó composta pelos sedimentos da Bacia do Paraná ao sul do Projeto Arenópolis, associadas a uma superfície regional de aplainamento com cotas entre 550 e 750 m, com dissecação média, desenvolvida sobre rochas paleozóicas da Bacia do Paraná com morros e colinas. Além disso, as maiores elevações do projeto (MC) correspondem aos corpos graníticos: Serra do Iran, Serra do Tatu e Serra Negra.

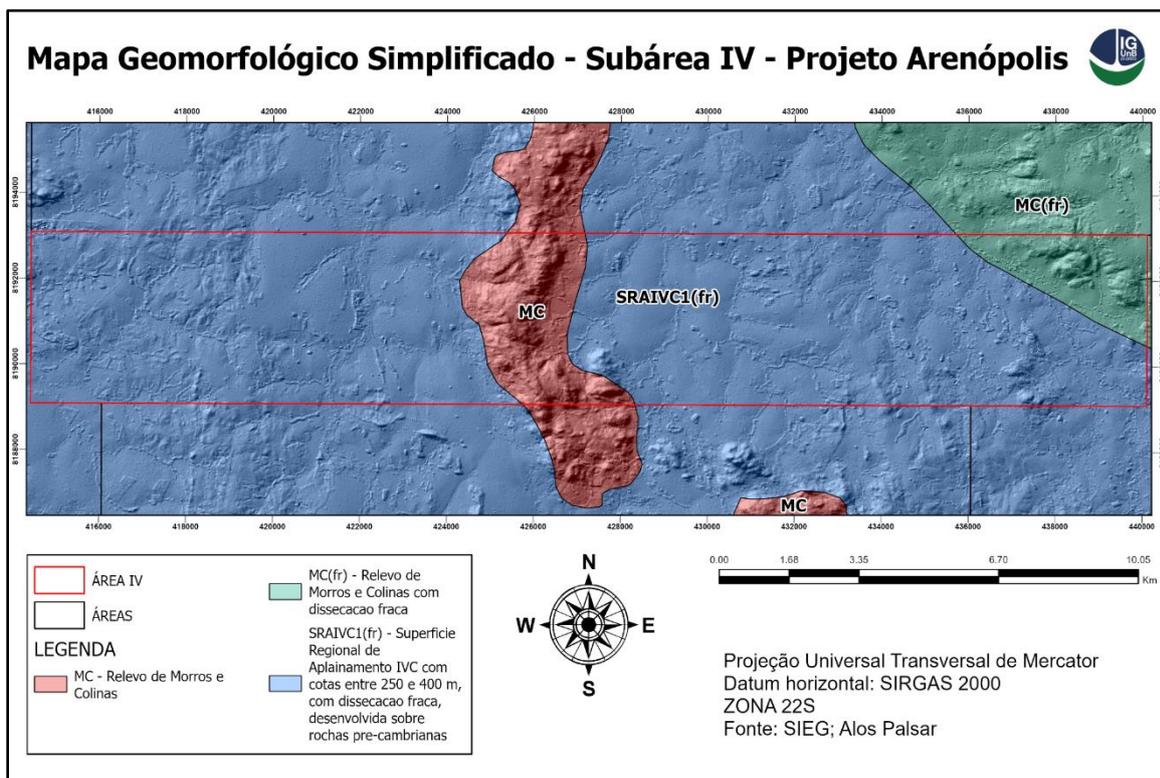
Há um predomínio das superfícies aplainadas na região do projeto, no qual este relevo está sobre as unidades litológicas pré-cambrianas como a Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis e o Gnaisse Arenópolis. Este relevo pode ser associado ao clima tropical e aos processos de pedogênese avançados atuantes na região. Contudo, é comum que a maioria das unidades esteja recoberta por perfis de solo significativos, ou mesmo coberturas lateríticas.

Além da superfície aplainada, a área também ocorre relevo de morros e colinas com dissecação muito forte localizada na porção central das áreas ao sul sobre as unidades do Córrego do Horácio, Morro do Baú e entre outras, e com dissecação fraca associada ao Granito Rio Caiapó no nordeste das áreas setentrionais.

A quarta área do projeto de mapeamento de Arenópolis é marcada por um relevo de morros e colinas no centro pela Serra do Iran, principal elevação da área (Fig. 1.7). O relevo de morros e colinas com dissecação fraca (MCfr) na porção do Granito Rio Caiapó e o restante da área com aplainamento IVC com cotas entre 200 e 400m com dissecação fraca desenvolvida sobre rochas pré-cambrianas como a Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas e o Gnaisse Arenópolis (Fig 1.8).



**Figura 1.7** - Aspecto geomorfológico da Área IV com destaque para ao relevo de morros e colinas (MC) da Serra do Iran e superfície aplainada referente a Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis.



**Figura 1.8** - Unidades geomorfológicas da Área IV do Projeto Arenópolis. Fonte: Sistema de Informações Geográficas do Estado de Goiás - Superintendência de Geologia e Mineração - SIC.

#### 1.4.4 Pedologia

Na área do projeto, de maneira geral, ocorrem sete tipos de solos principais que refletem as unidades geológicas locais sobre os processos pedogenéticos: latossolo vermelho distrófico (LVd), latossolo vermelho-amarelo distrófico (LVad), latossolo vermelho ácrico (LVw), cambissolo háplico distrófico (CXbd), argissolo vermelho-amarelo distrófico (PVad), argissolo vermelho -amarelo eutrófico (PVAe) e nitossolo vermelho eutrófico férrico (NVef).

Os latossolos de maneira geral são distrófico vermelho escuros a arroxeados e vermelho amarelados profundos, porosos e bem drenados, alguns com caráter ácrico, desenvolvidos em áreas mais aplainadas a suavemente onduladas como nas área de ocorrência dos litologias pré-cambrianas como a Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis.

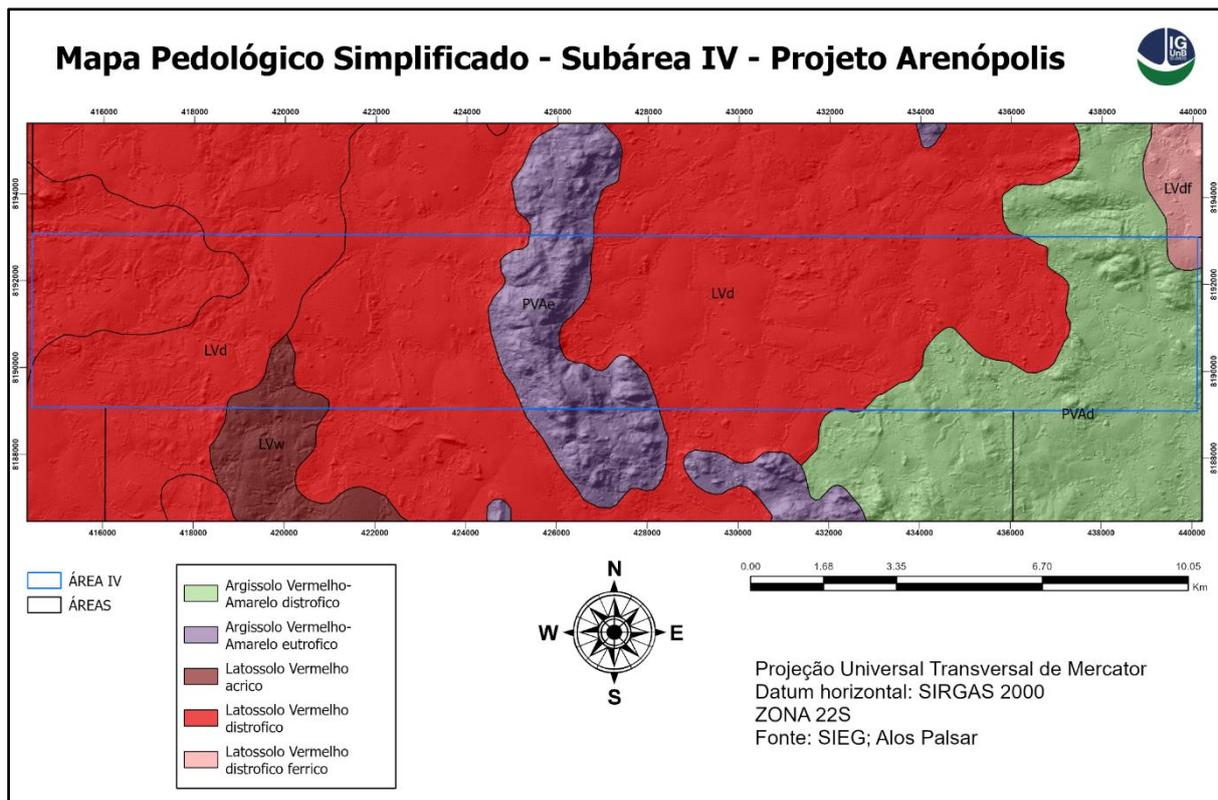
Solos podzólicos como os nitossolos e argissolos são, preferencialmente, vermelho-amarelados, eutrófico ou distrófico, bem drenados e profundos, que se desenvolvem sobre litologias diversas e em regiões de relevo ondulado suave a forte. Os solos cambissolo são distrófico pouco desenvolvidos com horizonte B incipiente.

Os gleissolos de maneira geral são eutrófico, pouco úmidos, profundos, mal drenados, pouco permeáveis e com forte gleização, devido aos encharcamentos periódicos. Desenvolvem-se próximos às drenagens em ambientes de microclima úmido.

Localmente observam-se solos argilosos vermelhos férteis, bastante eutrófico, derivados de alteração de rochas máfica-ultramáficas, com boa utilização na agricultura. Além de neossolos flúvicos nas áreas dos canais de drenagens.

Conforme o *SIEG* (Fig. 1.9), os tipos de solos de maior predominância na Área IV são os latossolos vermelhos, ocupando cerca de 70% da área, onde estes solos bastante desenvolvidos são geralmente vermelho com caráter variando entre ácrico, distrófico e distrófico férrico. A segunda classe de solo, predominantemente, é solos podzolizados como o argissolo, ocupando quase 30% do restante da área e ocorrem de coloração avermelhada a vermelho-amarelo, por vezes distrófico ou eutrófico (Fig. 1.10A).

Localmente ocorrem outras classes de solos de menor escala, próximo às drenagens ocorrem gleissolos com sua coloração cinza, devido ao ferro estar na sua forma reduzida no horizonte glei (Fig. 1.10C). Nas drenagens apresenta solos derivados de sedimentos aluviais com horizonte A assente sobre camada ou horizonte C e que apresentam caráter flúvico (Fig. 1.10D). Além disso, nota-se a ocorrência de solos sobrepostos, onde é possível observar solos de material parental sobreposto por solos de origem aluvionar (Fig. 1.10B).



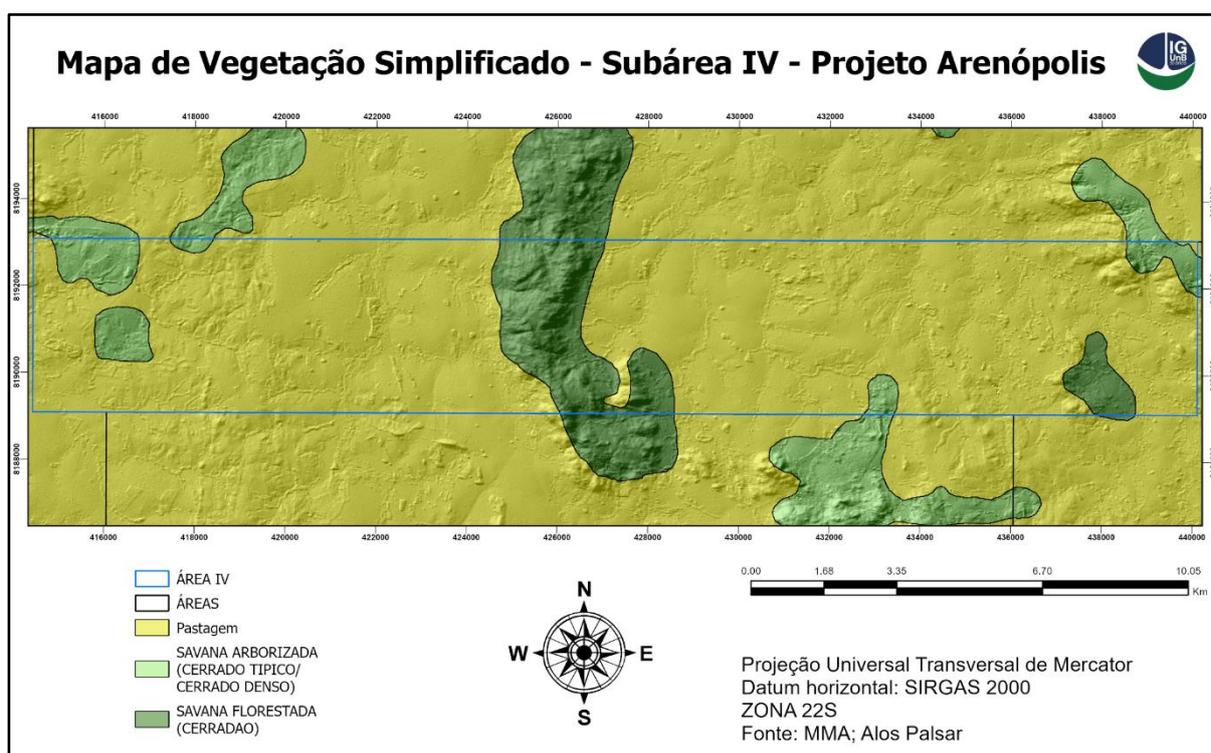
**Figura 1.9** - Mapa dos tipos de solos da Área IV. Fonte dos dados: portal SIEG (Sistema de Informações Geográficas do Estado de Goiás).



**Figura 1.10** - Aspectos pedológicos da Área IV. (A) Argissolo vermelho-amarelo espesso. (B) Contraste entre o solo aluvionar do solo do substrato. (C) Gleissolo melânico. (D) Neossolo flúvico em drenagem próximo ao Granito Rio Caiapó.

### 1.4.5 Vegetação

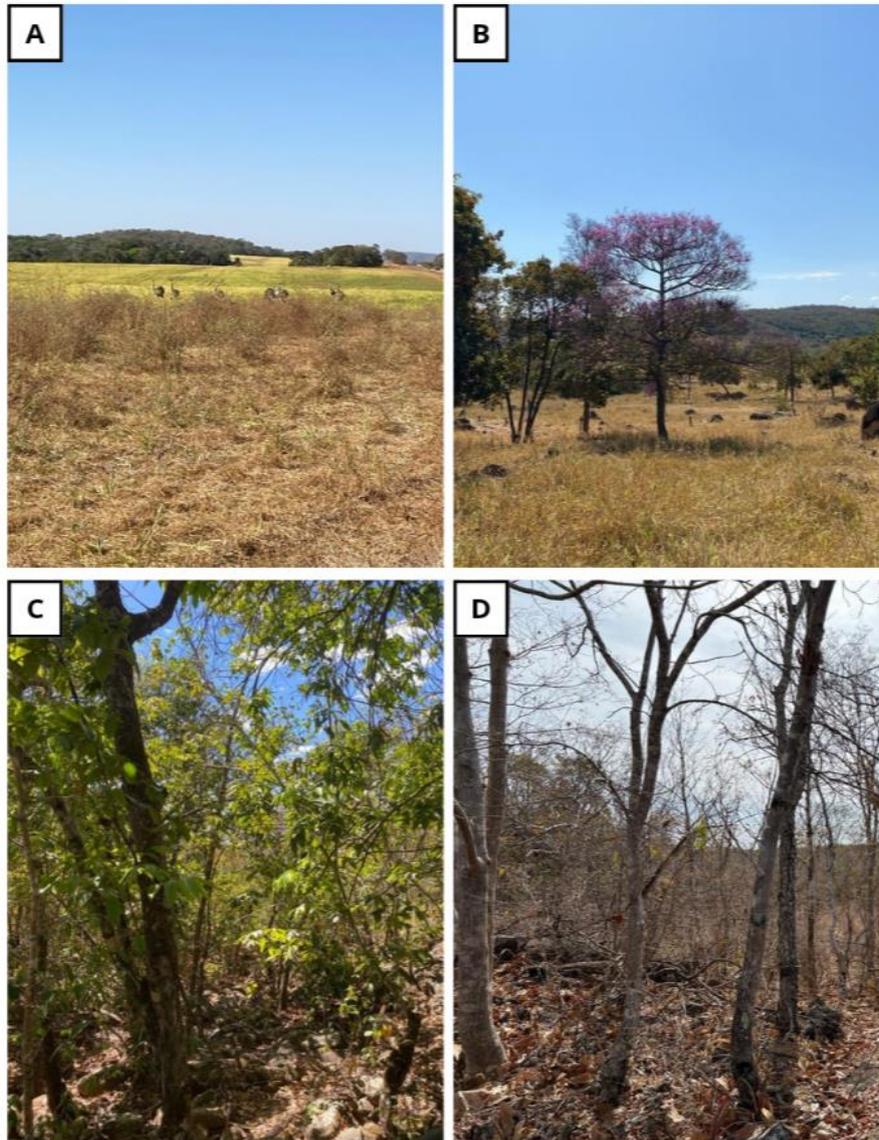
A região é caracterizada por uma ocupação por pastagem ou áreas de aproveitamento agrícola e pecuária, onde a maior parte dos terrenos possuem a vegetação original extraída para determinada atividade. A vegetação original regional é dominada por cerrados, campos e matas-galerias. Trata-se de uma cobertura de vegetação típica de cerrados, cujas principais características são os grandes arbustos e as árvores esparsas, de galhos retorcidos com casca grossa e gramíneas, variando desde o cerrado fechado (cerradão), passando pelo cerrado típico e campos sujos. Localmente são observadas algumas matas densas, classificadas como matas tropicais. Além disso é possível observar a ocorrência de lavouras de culturas anuais, floresta estacional semidecidual aluvial próximo às drenagens com árvores de médio a grande porte e savanas arborizadas com floresta de galeria na área de influência da Bacia do Paraná.



**Figura 1.11** - Mapa de vegetação da Área IV. Fonte do mapa: Cobertura Vegetacional de Goiás/MMA.

No contexto da Área IV (Fig. 1.11), de acordo com a secretaria de Biodiversidade e Florestas do Ministério do Meio Ambiente (SBF/MMA), a vegetação predominante (cerca de 80%) é de pastagem, marcada pelo desmatamento da vegetação primária para utilização agrícola e pecuária (Figura 1.12A). O restante da vegetação é denominado como savana de floresta estacional decidual submontada, classificada como savana florestada (cerradão) nas margens e interior da Serra do Iran e savana arborizada (cerrado típico ou denso) em locais poucos elevados sobre os granitos Rio Caiapó e granito Ribeirão Água Limpa. Matas de galeria

predominam próximo às drenagens (Figura 1.12C). Além disso, nota-se uma vegetação decídua no extremo oriente da área onde as vegetações perdem suas folhas no período de seca como forma de reter água (Figura 1.12D).



**Figura 1.12** - Aspectos da vegetação na Área IV. (A) Vegetação de pastagens em contraste com a vegetação de cerrado da Serra do Iran. (B) Campos de cerrado com vegetação espaçada com ipê. (C) Mata de galeria próxima a uma drenagem local. (D) Vegetação decídua sobre o Granito Rio Caiapó.

## 2. Geologia Regional

É amplamente discutido, com base nos registros geológicos, a participação dos variados fragmentos siálicos de crosta continental do Brasil Central, como o paleocontinente São Francisco-Congo, Amazônia, Paranapanema e o terreno exótico representado pelo Maciço de Goiás, em ciclos tectônicos que resultaram na edificação de massas continentais durante o pré-cambriano (Cordani & Brito Neves 1982; Brito Neves 1999; Cordani *et al.*, 2000). Em particular, a passagem do Meso ao Neoproterozóico envolveu a estruturação de extensas faixas orogênicas que evidenciam a quebra do supercontinente Rodínia e a amalgamação do supercontinente Gondwana (Campos Neto *et al.*, 2000; Cordani *et al.*, 2002; Cordani *et al.*, 2003; Valeriano *et al.*, 2008), com o desenvolvimento de oceanos, bacias sedimentares e arcos magmáticos no decorrer do então referido ciclo tectônico Brasileiro Pan-Africano (Brito Neves, 2002).

O início de tal ciclo é documentado pelo registro de amplas áreas de sedimentação típicas de margem passiva ao redor do paleocontinente São Francisco-Congo, atestando para um estágio evoluído de uma etapa de rifteamento (Valeriano *et al.*, 2004), assim como magmatismo continental toleítico e exames de diques máficos que seriam resultantes da fragmentação do continente Rodínia ao redor de *ca.* 1.1 e 0.9 Ga. Este sistema extensional se inverteria, com fechamento oceânico e a implantação de um sistema de subducção com consumo de crosta oceânica e produção de arcos magmáticos, culminando em uma série de eventos colisionais, com a etapa final de colisão continental ocorrendo penas em *ca.* 0.64 Ga e a conseqüente amalgamação do supercontinente Gondwana no Neoproterozóico (Campos Neto *et al.*, 2000).

Neste contexto, se encontram cinturões orogênicos que compõe o grande sistema orogênico resultado das interações tectônicas dos paleocontinentes São Francisco e Amazônia durante o Neoproterozóico, a Província Tocantins e suas constituintes Faixas Brasília, Paraguai e Araguaia (Fuck *et al.*, 2017).

A área de estudo do Projeto Arenópolis está situada na Faixa Brasília, portanto se encontra, também, inserida na Província Tocantins. A estruturação da compartimentação e composição desses sistemas no âmbito das unidades geológicas abarcadas no projeto, serão tratadas na sequêcia.

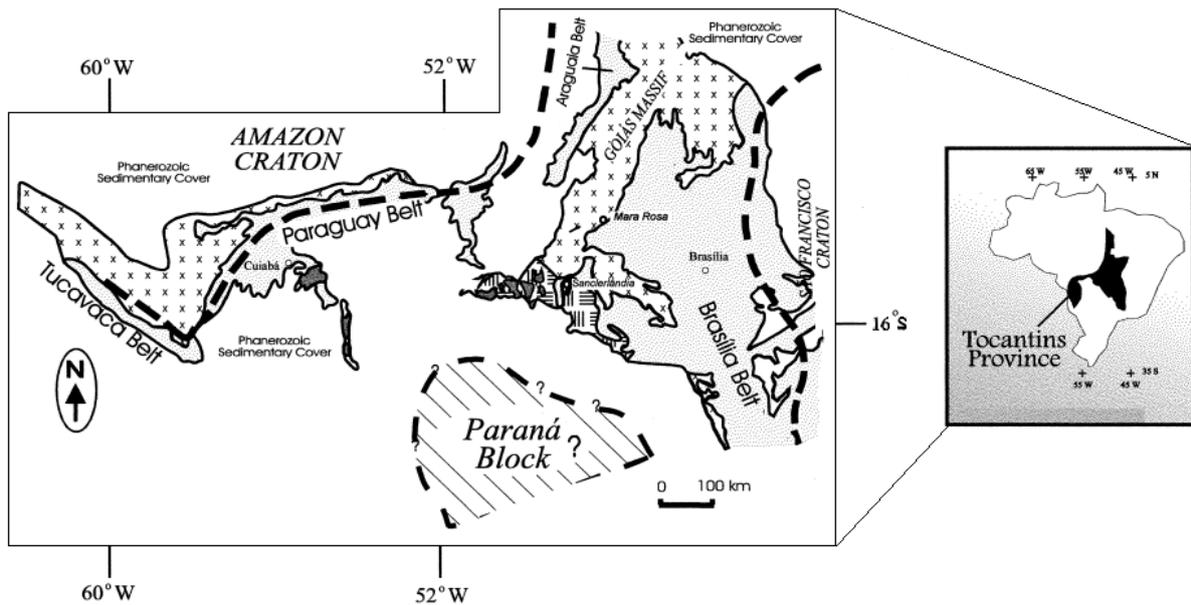
## 2.1 Província Tocantins e a Faixa Brasília

Situada entre os Crátons Amazônico e São Francisco e limitada a norte e a sul pelas bacias do Parnaíba e Paraná, respectivamente, a província estrutural Tocantins foi sistematizada por Almeida *et al.* (1981). Na luz dos dados da época, os autores descrevem sua constituição definida por rochas mais antigas que 2.6 Ga, com diversas gerações de gnaisses, granulitos, migmatitos, rochas máficas e ultramáficas, rochas metassedimentares, além de corpos granitóides intrusivos nestas unidades. O reconhecimento de uma subdivisão com base em critérios estruturais fora também postulado, com a distinção de três regiões estruturalmente distintas, uma central, correspondendo ao núcleo da província e denominado Maciço Mediano de Goiás, bem como duas faixas de dobramento, as faixas Uruaçu-Brasília e Paraguai-Araguaia.

O posterior surgimento de um grande volume de dados, advindos da evolução das técnicas analíticas, propiciou novas propostas de definição para a Província Tocantins, destacando-se aquela de Fuck (1994). Esta nova concepção coloca a província como um extenso orógeno compartimentado por faixas de dobramentos, balizadas por zonas de cisalhamento, com arcos magmáticos e um núcleo metamórfico. Além disso, essa concepção se deu, em grande parte, a partir da descoberta de inúmeros terrenos juvenis, outrora englobados no então Maciço de Goiás, caracterizados pela presença de ortognaisses calc-alcalinos, granitos peraluminosos sin-colisionais e associações de sequências metavulcanosedimentares, todos de idade Neoproterozóicas, apontado para eventos evolutivos envolvendo o consumo de crosta oceânica (Pimentel *et al.*, 2000).

Apesar das novas ideias, os três segmentos basilares constituídos pelas faixas dobradas de rochas supracrustais Paraguai, Araguaia e Brasília, ainda compõe o esqueleto estrutural da província, pelo qual a sua compartimentação é atualmente definida.

As três faixas compõem o orógeno Brasileiro/Pan-Africano formado entre os crátons Amazônico, São Francisco e Paranapamena (Pimentel *et al.*, 2000) (Fig. 2.1). As faixas Paraguai e Araguaia ocupam a porção oeste da Província Tocantins, bordejando os limites sul e oeste do Cráton Amazônico, respectivamente. Já a Faixa Brasília, se faz presente na porção leste da província, limitando a borda oeste do Cráton do São Francisco. Tal estrutura se estende por centenas de quilômetros (~ 1.100 a 1.200 km) na direção N-S perfazendo os estados de Minas Gerais, Goiás e Tocantins.

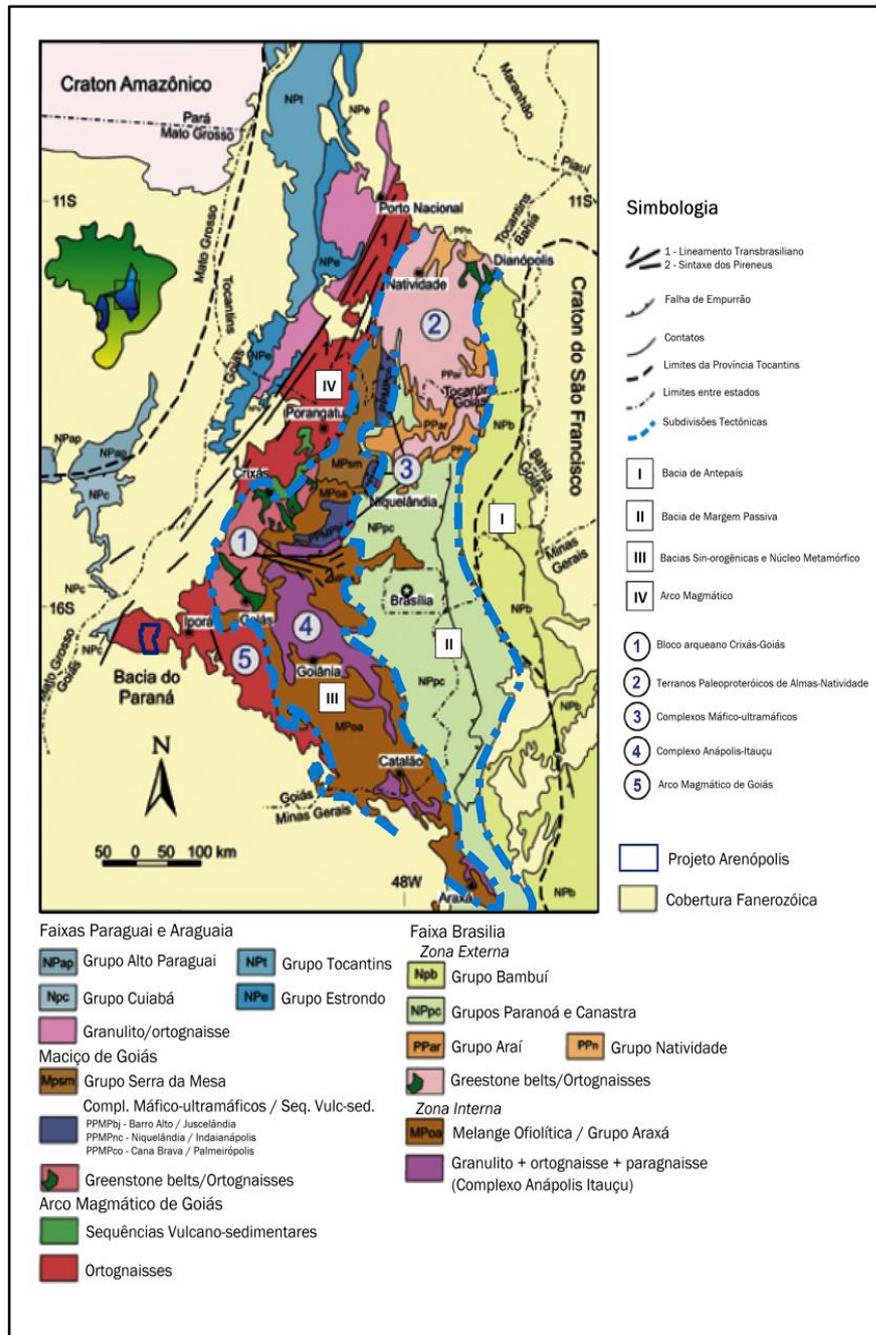


**Figura 2.1** - Esquema ilustrativo da Província Estrutural Tocantins mostrando as três faixas orogênicas que a compõe: Paraguai, Brasília e Araguaia (Adaptado de Pimentel *et al.*, 1998).

A Faixa Brasília é tida como um dos segmentos orogênicos Neoproterozóicos mais bem preservados em consideração ao Supercontinente Gondwana Oriental, sendo parte integral de um longo sistema de cinturões que se estende por milhares de quilômetros, do Brasil Central ao noroeste da África (Pimentel, 2016). Além disso, apresenta uma complexa e diácrona história evolutiva envolvendo deformação e metamorfismo de terrenos acrescionários como arcos de ilha, prováveis microcontinentes, *mélanges* ofiolíticas, rochas calc-alcálicas vulcânicas e intrusivas, granitos colisionais do tipo-S, assim como uma espessa pilha de sedimentos típicos de margem passiva e sedimentos de ambientes mais profundo associados com rochas vulcânicas de arco. O grau metamórfico desse sistema define uma zona de polaridade, no qual apresenta um baixo grau junto zona cratônica a leste, aumentando para oeste atingindo fácies anfíbolito, tendo o seu pico em fácies granulito de ultra alta temperatura na parte central, onde é caracterizado o núcleo metamórfico do orógeno. Progressivamente mais a oeste desta região, o grau metamórfico volta a atingir fácies anfíbolito a xisto verde junto ao arco magmático (Fuck *et al.*, 2017).

A Faixa Brasília, também, apresenta compartimentações internas com base em regiões com distintas características tectônicas, estratigráficas e estilos estruturais (Fig. 2.2) (Dardenne, 2000; Valeriano *et al.*, 2004; Uhlein *et al.*, 2013). Tal compartimentação seria reflexo da interação entre blocos crustais durante o estabelecimento do Gondwana Oriental. Os blocos envolvidos na colisão, portanto, seriam os Crátons do São Francisco, Parapanema/Rio de la

Plata, o Maciço de Goiás e o Cráton Amazônico. As interações crustais teriam ocorrido em momentos distintos, envolvendo primeiramente, a edificação de um cinturão compressional na parte sul, resultante da colisão entre os Crátons do São Francisco e Paranapanema/Rio de la Plata com o estabelecimento da Faixa Brasília Sul e posteriormente, um cinturão ao norte, decorrente da colisão entre o Cráton do São Francisco e o Maciço de Goiás, com o prolongamento final do episódio culminando com o choque do Cráton Amazônico, definindo assim, a Faixa Brasília norte (Araújo Filho, 2000).



**Figura 2.2** - Mapa geológico simplificado da Faixa Brasília salientando seus compartimentos geotectônicos (Adaptado de Pimentel *et al.*, 2004).

A porção norte da Faixa Brasília conforma um segmento de dobras e empurrões com menor largura do que a contraparte sul, com cerca 32 km e definindo um traçado curvilíneo e transporte indicativo para S-SE. As Faixas Brasília Norte e Sul, ou Faixas Brasília Setentrional (FBS) e meridional (FBM) (Valeriano *et al.*, 2004; Uhlein *et al.* 2013), partem de direções NNE e NNW, respectivamente, para uma convergência em sua porção central formando uma mega inflexão ou sintaxe de direção E-W com traçado côncavo para a zona de Antepaís, denominada Sintaxe dos Pirineus (PSX) (Araujo Filho, 2000). De acordo com Araujo Filho (2000), esta inflexão se encontra na intersecção das duas faixas, indicando uma falta de continuidade entre elas, assim como a existência de diferenças marcantes nas suas feições tectônicas (Dardenne, 2000) e, portanto, se trataria de duas faixas de dobras e empurrões distintas, com diferentes histórias estruturais e metamórficas.

Outra forma de compartimentação da Faixa Brasília considera um zoneamento tectono-estratigráfico ponderado pela variação do metamorfismo e da deformação (Fuck, 1994; Fonseca *et al.*, 1995; Dardenne, 2000; Uhlein *et al.*, 2013; Valeriano *et al.*, 2014).

Tal sistematização emprega a existência de três principais zonas: (i) um domínio cratônico englobando as coberturas Neoproterozóicas anquimetamórficas que repousam sobre o Cráton do São Francisco em sua porção central, mas que foram envolvidas pelas frentes de deformação próximo ao limite cratônico em um modelo epidérmico, sendo compostas essencialmente pelas rochas da bacia do São Francisco; (ii) uma zona externa determinada por um cinturão de dobras e cavalgamento no qual a porção do seu embasamento fora envolvido na deformação e constituindo-se por rochas metassedimentares Paleo- a Neoproterozóicas com baixo grau metamórfico; e (iii) uma zona interna composta por um núcleo metamórfico, pelo Maciço de Goiás e pelo Arco Magmático de Goiás (Fuck *et al.*, 2017).

#### *Zona Cratônica (Foreland zone)*

A zona cratônica apresenta dois domínios com comportamentos tectônicos distintos, um situado mais ao centro do núcleo cratônico no qual as frentes de empurrão não afetaram as sequências deposicionais da bacia do São Francisco e um segundo que ocorre sob a influência da margem cratônica, dominada por cinturões de dobras e cavalgamentos em um estilo de deformação epidérmica (Reis *et al.*, 2017; Fuck *et al.*, 2017).

O domínio central é caracterizado por rochas indeformadas do Grupo Bambuí, sendo limitado a oeste pela última falha de empurrão do sistema de antepaís, ainda sob a influência da deformação Brasileira. Esta estrutura, configura uma rampa frontal que apresenta uma expressiva zona de descolamento na interface da base do Grupo Bambuí com rochas de

sequências sedimentares mais profundas, a Falha de São Domingos (Reis & Alkmim, 2015). Já o domínio sob o limite cratônico situa-se entre a Falha de São Domingos e as outras grandes estruturas de empurrão que colocam as rochas dos Grupos Paranoá sobre as rochas do Grupo Bambuí (Fuck *et al.*, 2017).

Em termos de litoestratigrafia, o domínio central é determinado essencialmente por exposições de rochas sedimentares correspondentes a sequências deposicionais de primeira ordem referentes aos Grupos Bambuí, incluindo as Formações Sete Lagoas, Serra da Santa Helena, Lagoa do Jacaré, Serra da Saudade e Três Marias, e Macaúbas com os registros glaciogênicos da Formação Jequitai (Reis *et al.*, 2017; Fuck *et al.*, 2017)

### *Zona Externa*

A zona externa da Faixa Brasília Norte corresponde a faixas de dobras e empurrões a quais o seu embasamento encontra-se envolvido pela deformação que se dá contra a margem oeste do Cráton do São Francisco (Fuck *et al.*, 2017).

É composta por uma espessa pilha de sequências metasedimentares Paleo- a Mesoproterozóicas referentes aos grupos Araí, Natividade e Paranoá (Uhlein *et al.*, 2013), além do seu embasamento siálico Paleoproterozóico constituído por um extenso bloco composto por ortognaisses, granitóides intensamente deformados e unidades supracrustais, denominado Terreno Álmas-Dianópolis (Pimentel *et al.*, 2000). O limite da zona externa ocorre a leste com a zona cratônica pelo Sistema de Falhas Paranã e a oeste, com a zona interna, pelo complexo Sistema de Falhas Rio Maranhão (Fonseca *et al.*, 1995)

### *Zona Interna*

Na zona interna é incluído o núcleo metamórfico do orógeno, composto pelas rochas metasedimentares do Grupos Araxá e das rochas granulíticas do Complexo Anápolis-Itauçu. Além disso, estão presentes os terrenos granito-*greenstone* arqueanos do Maciço de Goiás recobertos pela sequência Paleoproterozóica do Grupo Serra da Mesa. Marcando o seu limite leste com a zona externa da Faixa Brasília Norte, a partir do Sistema Rio Maranhão, se fazem presentes as sequências metavulcanossedimentares mesoproterozóicas Palmeirópolis, Indaianópolis e Juscelândia em contato tectônico com os grandes complexos acamadados máficos-ultramáficos de Niquelândia, Cana Brava e Barro Alto, respectivamente.

O limite final da Faixa Brasília, na porção mais a oeste da sua zona interna, se dá pelo extenso Lineamento Transbrasiliano onde ocorrem terrenos compostos por ortognaisses e

sequências metavulcanossedimentares neoproterozóicas atribuídas ao Arco Magmático de Goiás (Fuck *et al.*, 2017).

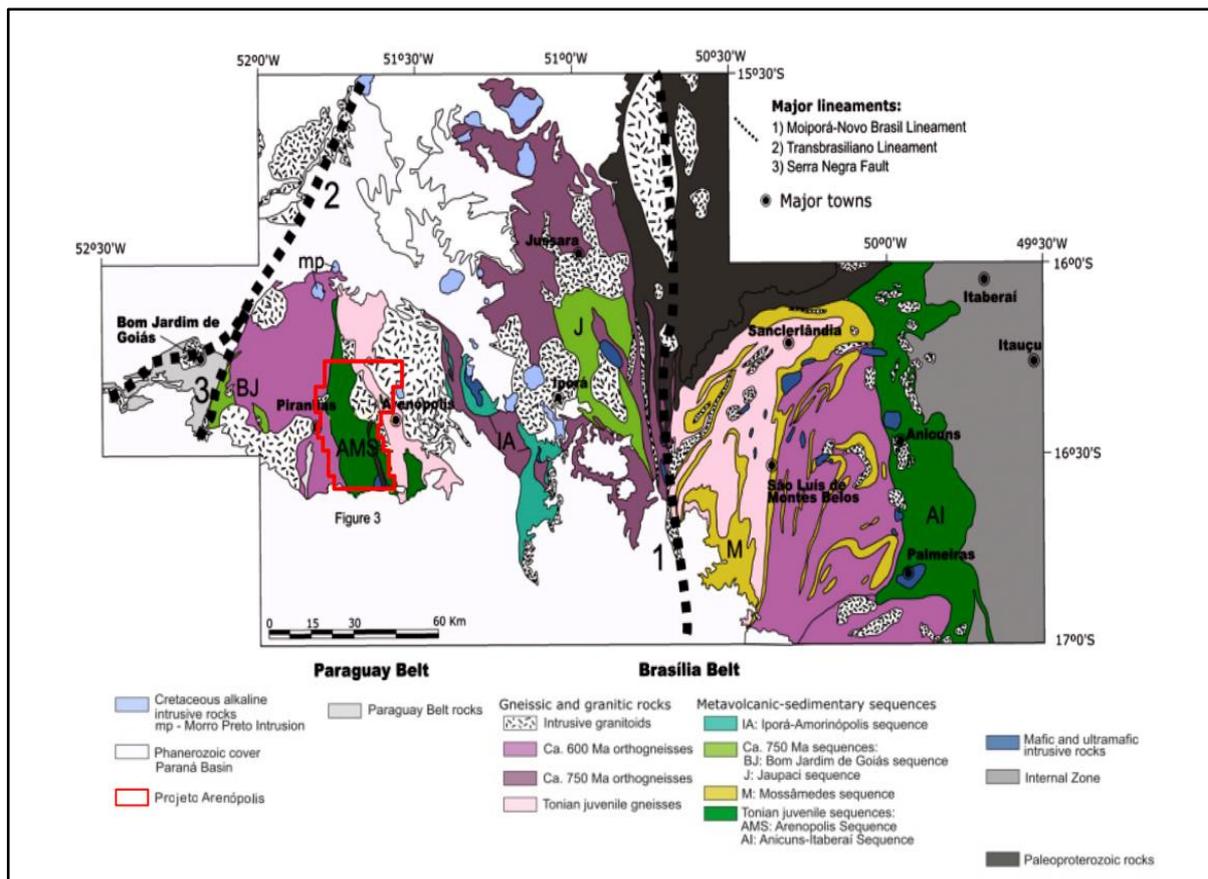
## 2.2 O Arco Magmático de Goiás

As regiões interpretadas como contendo rochas de crosta juvenil cuja evolução se inicia a partir de arcos de ilha com a cristalização de rochas vulcânicas primitivas de afinidade toleítica a calcialcalina, compõe um compartimento tectônico da Faixa Brasília denominado Arco Magmático de Goiás (Fuck, 1994; Fuck *et al.*, 2017). É caracterizado por ortognaisses originados de rochas metaplutônicas de composição tonalítica a granodiorítica, associados a diversas sequências vulcanossedimentares, além de granitos tardi- a pós-tectônicos (Pimentel *et al.*, 1996; Pimentel *et al.*, 1999; Pimentel *et al.*, 2000).

O Arco Magmático de Goiás se expõe em dois principais segmentos separados pelos terrenos arqueanos do Maciço de Goiás, o segmento Mara Rosa ao norte e o segmento Arenópolis ao sul. Segundo Fuck *et al.* (2017), ambos possuem registros evolutivos similares, marcados por estágios primitivos com rochas datadas em 890-860 Ma, que apresentam valores  $\epsilon\text{Nd}(t)$  bastante positivos ( $> 5.0$ ) e idades modelo entre 1.1 e 0.8 Ga, além de registros de estágios mais evoluídos com atividade plutônica e vulcânica bi-modal entre *ca.* 670-600Ma. Entretanto, estes últimos apresentam um espectro de valores  $\epsilon\text{Nd}(t)$  mais amplo e idades  $T_{\text{DM}}$  variando entre 2.0 e 1.0 Ga, o que indica um desenvolvimento na presença de crosta continental mais antiga, provavelmente referente a um estágio de arco continental.

### 2.2.1 O Segmento Arenópolis

O segmento Arenópolis ou Arco Magmático de Arenópolis (Pimentel *et al.*, 2000) ocupa uma vasta área no Sudoeste do estado de Goiás, se estendendo a oeste, desde as proximidades da cidade de Bom Jardim, a leste, próximo a Buriti Alegre (Fig. 2.3). Consiste em múltiplas sequências metavulcanossedimentares de orientação geral N-S, separadas por faixas de ortognaisses calcialcalinos de composição tonalítica a granodiorítica, sendo colocados justapostos ao longo de expressivas falhas transcorrentes de orientação NNE associadas ao Lineamento Transbrasiliano. São, de oeste para leste, as sequências Bom Jardim de Goiás, Arenópolis, Iporá, Jaupaci e Anicuns-Itaberaí (Fuck *et al.*, 2017).



**Figura 2.3** - Segmento Arenópolis do Arco Magmático de Goiás mostrando as diversas seqüências metavulcanossedimentares a ele pertencentes, assim como as faixas de ortognaisses que as separam (Adaptado de Carneiro *et al.*, 2021).

Tais seqüências metavulcanossedimentares são interpretadas como resultantes da deposição em bacias de diferentes contextos tectônicos do arco magmático, com a suas exposições controladas em dois domínios estruturais balizados pelo Lineamento Moiporá Novo-Brasil (Carneiro *et al.*, 2021). Além disso, as rochas vulcânicas das seqüências Bom Jardim e Arenópolis são caracterizadas geoquímicamente como metabasaltos toleíticos de baixo-K, basaltos calc-alcalinos, metaandesitos e metadacitos, enquanto as das seqüências Iporá e Jaupaci constituem uma bimodalidade mais expressiva, com metabasaltos e metariolitos. Estas rochas apresentam assinaturas geoquímicas e isotópicas primitivas, com razões  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  baixas, na ordem de 0.7032-0.7050 e valores  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  positivos (Fuck *et al.*, 2017).

No que se refere aos ortognaisses que separam as seqüências, são predominantemente hornblenda-biotita metadioritos, metatonalitos e metagranodioritos, muitos com texturas ígneas reliquias, assim como marcantes feições de deformação, como foliações miloníticas. Além disso, evidenciam paragênese mineral típica de metamorfismo de fácies anfíbolito (Pimentel *et al.*, 1985). De acordo com Pimentel & Fuck (1986), os dados de elementos traço

para essas rochas evidenciam derivação a partir de protólitos calcio-alcálicos metaluminosos com baixo-K, comparados a granitóides do tipo-M, típicos de arcos de ilha intraoceânicos.

O Orógeno Brasília também é marcado por várias intrusões tardias, dadas como tardi a pós tectônicas, as quais foram atribuídas a dois estágios evolutivos, o primeiro com intrusões ocorridas entre 600-560 Ma e o segundo por intrusões de 500 Ma. Pimentel *et al.* (1996), descreve o primeiro evento intrusivo representado por granitos do tipo-I, enquanto o evento mais jovem é caracterizado por granitos alcalinos do tipo-A. Ademais, neste magmatismo alcalino recente, ocorre em associação, vários diques máficos que cortaram as rochas do Arco Magmático de Goiás durante o abatimento orogênico.

### 2.3 Bacia do Paraná

Após os eventos orogênicos do ciclo Brasileiro, que perduraram de *ca.* 1.000 a 440 Ma. (Hasui, 2010), a Plataforma Sul-Americana experienciou um período de relativa estabilidade tectônica com a gradual diminuição de esforços compressivos nas bordas do supercontinente Gondwana. Este período de atenuação tectônica é conhecido como etapa de transição e se estendeu do Cambriano ao Ordoviciano. O período de quiescência que se sobrepôs, é conhecido como estágio de estabilidade e perdurou do Siluriano ao Triássico (Teixeira *et al.*, 2004).

É na etapa de transição e estabilidade que foram instaladas as *sinéclises* Paleozóicas da Plataforma Sul-Americana, incluindo a bacia intracratônica do Paraná. A Bacia do Paraná constitui uma extensa calha de formato semicircular que ocupa mais de 1.100.000 km<sup>2</sup> no território brasileiro, se estendendo desde o Rio Grande do Sul e perfazendo os estados do Paraná, Santa Catarina, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais. Apresenta um empilhamento litoestratigráfico compreendendo rochas sedimentares e vulcânicas com espessuras máximas de até 6 km (Pereira *et al.*, 2010).

Sua origem é ainda controversa, sendo que os exatos mecanismos de subsidência e acomodação das unidades sedimentares é uma matéria não consensual. Hipóteses envolvendo dinâmicas tectônicas em um ambiente cratônico estável, por meio do resfriamento litosférico ocorrido após os eventos brasileiros, bem como mecanismos de flexura litosférica com a instalação de sistemas de *grabens* e evolução a partir de *aulacógenos* instalados em grandes sistemas de fraturas através de um *rifte* precursor, tem sido sugerida nas últimas décadas (Pereira *et al.*, 2010). Independente do mecanismo preciso, o que parece mais claro constituiu-se em alguma relação tectônica entre as margens do supercontinente Gondwana ocidental e a calha deposicional da bacia durante o Paleozóico (Milani, 2004).

Milani & Ramos (1998) destacam a ligação entre a deposição da sedimentação inicial durante o Neorodoviciano e os processos geodinâmicos da orogenia Oclóyica por meio da colisão do Terreno Pré-Cordilheirano na margem ocidental do Gondwana. Para estes autores, esse fato implicaria na retomada de esforços compressivos com o aproveitamento de antigas estruturas e zonas de fraqueza que acomodaram os pacotes sedimentares iniciais da bacia. Deste modo, a subsidência inicial, com a instalação dos *grábens* que constituiria o *rifte* inicial, se orientou segundo a estruturação brasileira, acomodando os pacotes basais da Supersequência Rio Ivaí (Milani, 2004).

São reconhecidas seis unidades de segunda ordem ou supersequências na Bacia do Paraná, dentre as quais três são atribuídas as etapas de transição e estabilidade, sendo elas: Supersequência Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano); Supersequência Paraná (Devoniano) e Supersequência Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico) (Milani, 1997). A supersequência Rio Ivaí representa a sedimentação precoce da bacia e marca um caráter transgressivo com a subsidência configurando um golfo aberto para o então oceano Panthalassa, onde predominou um estilo de sedimentação continental a transicional com a Formação Vila Maria marcando condições de máxima inundação, sucedidos por sedimentos glaciais com diamictitos e folhelhos. Já a Supersequência Paraná registra um ciclo transgressivo-regressivo, com depósitos areno-conglomeráticos de ambientes fluviais costeiros da Formação Furnas recobertos por pelitos da Formação Ponta Grossa em contexto de plataforma marinha rasa a continental (Milani, 2004; Milani *et al.*, 2007).

## **2.4 Unidades Geológicas do Projeto Arenópolis**

A região do estudo do projeto é marcada pelos litotipos associados à Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis (Fig. 2.3 e 2.4), com exposição de diversas unidades de rochas metavulcânicas, metassedimentares e ortognáissicas. Dentre as últimas, temos o embasamento paleoproterozóico, denominado Gnaisse Ribeirão, bem como o Gnaisse Arenópolis, ambos de caráter calci-alcalinos. Além disso, ocorrem granitos miloníticos, intrusões máficas e graníticas tardi a pós-tectônicas (Pimentel e Fuck, 1994) e sedimentos da Bacia do Paraná.

As unidades são predominantemente neoproterozóicas com idades variando dentro do intervalo *ca.* 900-600 Ma. A única exceção se refere ao Gnaisse Ribeirão de idade paleoproterozóica. A Tabela 2.1 representa um resumo das idades obtidas por diversos autores

no decorrer das últimas décadas. Nela estão presentes apenas unidades englobadas no Projeto Arenópolis.

**Tabela 2.1** - Resumo de idades das unidades abarcadas pelo Projeto Arenópolis. Notar a carência de dados geocronológicos mais atuais.

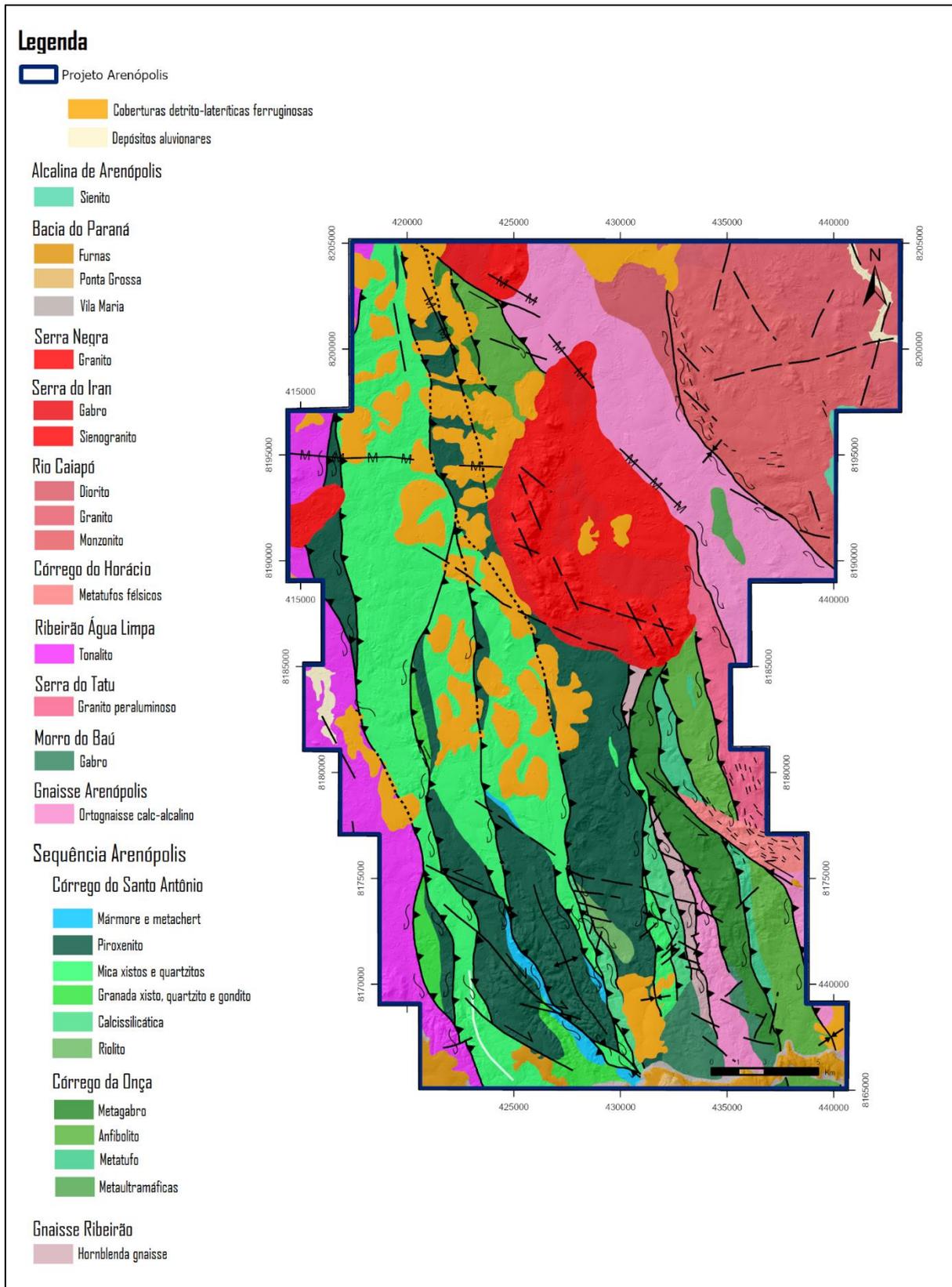
Unidade	Idade (Ma)	Ref.
<i>Ortognaisses</i>		
Gnaiss Arenópolis	899 ± 7	1
Gnaiss Ribeirão	1800 ± 110	2
Ribeirão Água Limpa	600	3
<i>Granitos miloníticos</i>		
Serra do Tatu	692 ± 110	4
<i>Sequências Vulcano-sedimentares</i>		
Metariolito Sequência Arenópolis - Córrego da Onça	929 ± 8a	5
Anfibolito Sequência Arenópolis	859 ± 43	6
<i>Intrusões máficas</i>		
Morro do Baú - Gabro	890 ± 8	7
<i>Magmatismo bimodal pós-orogênico</i>		
Rio Caiapó - Granito	587 ± 17	8
Serra do Iran - Diorito	622 ± 350	8
Serra do Iran - Granito	588 ± 19	8
Serra Negra - Granito	508 ± 24	8

- |                          |                            |
|--------------------------|----------------------------|
| 1 - Pimentel & Fuck 1994 | 5 - Pimentel et al. 1991   |
| 2 - Pimentel 1992        | 6 - Hasui and Almeida 1970 |
| 3 - Cameiro 2019         | 7 - Pimentel 2003          |
| 4 - Pimentel et al. 1985 | 8 - Pimentel et al. 1994   |

#### 2.4.1 Gnaiss Ribeirão - PP3yr

O Gnaiss Ribeirão é um ortognaiss de idade paleoproterozóica com composição calcálcico, de coloração rosada, intensamente deformado e metamorfozido em fácies anfibolito. Esta litologia é composta por bandas ricas em granada e diopsídio intercaladas com bandas quartzo-feldspáticas (Pimentel, 1992). Pimentel & Fuck (1986, 1987) descreveram estes gnaisses como a litologia que separa as unidades Córrego da Onça e Córrego do Santo Antônio, da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis.

O Gnaiss Ribeirão se apresenta em contato por falha com as rochas da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas e, ao sul, é recoberto por arenitos esbranquiçados da Formação Furnas.



**Figura 2.4** - Mapa geológico regional mostrando unidades presentes na Sequência Arenópolis (Adaptado de Carneiro & Meneghini, 2020).

### **2.4.2 Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis - NP1api**

Como mencionado, há cinco sequências supracrustais compostas por rochas metavulcânicas calcialcalinas e por rochas metassedimentares no Arco Magmático de Arenópolis, as sequências Bom Jardim de Goiás e Arenópolis, na porção oeste, Iporá-Armorinópolis e Jaupaci na porção central e sequência Anicuns-Itaberaí na porção leste em contato com a margem oeste do Complexo Anápolis-Itauçu (Pimentel & Fuck, 1987; Pimentel *et al.*, 2017). A sequência presente na região do presente projeto de mapeamento é a Sequência Metavulcanossedimentar de Arenópolis (Pimentel, 1985).

As rochas que compõem a sequência Arenópolis afloram ao longo de uma faixa de direção NNW exposta entre as cidades de Piranhas e Arenópolis. Tal sequência é composta por duas unidades divididas por uma faixa de gnaisses expostos ao longo do Córrego Ribeirão, são elas: as unidades Córrego da Onça e Córrego do Santo Antônio.

A unidade Córrego Santo Antônio é aflorante na porção oeste e consiste em rochas metassedimentares tectonicamente imbricadas com rochas vulcânicas máficas e ultramáficas (Pimentel, 1985). Na porção oriental, ocorre a unidade Córrego da Onça, cuja representação é dada principalmente por rochas metavulcânicas e metapiroclásticas básicas a intermediárias.

#### **2.4.2.1 Unidade Córrego do Santo Antônio - NP1apa**

A unidade da porção ocidental da sequência, a Unidade Córrego do Santo Antônio, é caracterizada por uma associação de rochas metassedimentares representadas por conjuntos de micaxistos, intercalados com pacotes de rochas máfico-ultramáficas como anfibólitos e anfibólitos xistos, provavelmente representantes de metagabros, metaperidotitos, metapiroxênitos e serpentinitos. Além disso, são descritos, de forma mais restrita, lentes de mármore, quartzitos micáceos, rochas calcissilicáticas, metacherts e gonditos (Pimentel, 1985).

Segundo Carneiro (2019), a associação destes conjuntos de rochas compõe uma escama a qual os pacotes de rochas se encontram imbricados e limitados por falhas de empurrão. Em especial, os pacotes máfico-ultramáficos, ainda que presentes em um alto estado de intemperismo, aparentam apresentar uma estruturação interna a qual ocorreriam de leste a oeste, gabros seguidos de metapiroxênitos e metaperidotitos serpentinizados. Segundo este autor, tal estruturação seria um indicativo de uma representação ofiolítica.

#### **2.4.2.2 Unidade Córrego da Onça - NP1apo**

A unidade Córrego da Onça representa a porção oeste da Sequência Metavulcanossedimentar de Arenópolis e é constituída por rochas metavulcânicas e metapiroclásticas básicas, intermediárias e ácidas, além de um pequeno pacote de rochas metassedimentares. São rochas de afinidade cálcio-alcalinas que exibem composição toleítica de baixo-K, frequentemente apresentando texturas vulcânicas reliaquiais. A partir de tais feições petrográficas, aliadas com aspectos de campo e dados geoquímicos, Pimentel e Fuck, (1987) atribuem esses litotipos a prováveis metabasaltos, metandesitos, metadacitos e metariolitos.

Pimentel (1985) estabelece um agrupamento em três sub-unidades, sendo elas, a sub-unidade máfica interpretada como o pacote basal, a sub-unidade intermediária félsica e a sub-unidade metassedimentar como pacote de topo. A sub-unidade máfica é composta por anfibólitos e anfibólitos de composição basáltica e andesítica com texturas vulcânicas preservadas. A sub-unidade intermediária félsica é definida pela ocorrência de rochas vulcânicas e tufáceas quartzo-feldspáticas de granulometria fina de composição dacítica a riolítica intercaladas com rochas metandesíticas e metabasálticas e calcixistos. Já a sub-unidade metassedimentar é de menor expressão e é representada por metagrauvacas e quartzitos intercalados com mármores, anfibólitos e xistos grafitosos.

#### **2.4.3 Gnaiss Arenópolis - NP1yna**

O Gnaiss Arenópolis faz parte do segundo agrupamento de rochas gnáissicas da região, sendo o primeiro referente a parte central com as rochas paleoproterozóicas do Gnaiss Ribeirão. As rochas do Gnaiss Arenópolis ocupam a parte leste da região, sendo predominantemente hornblenda gnaisses ricos em plagioclásio e composicionalmente similares a tonalitos e granodioritos (Pimentel, 1985).

Segundo Pimentel *et al.* (1996), estas rochas seriam as mais antigas representações do magmatismo de arco, sendo geoquimicamente bastante primitivos, típicos de ambientes de arcos interoceânicos.

#### **2.4.4 Gabro Morro do Baú - NP1ômb**

Dentre os litotipos presentes na região de Piranhas destacam-se também as rochas sub-vulcânicas calc-alcalinas intrusivas, sendo a mais expressiva as rochas da unidade Morro do Baú que afloram próximas à feição geomorfológica de mesmo nome. São gabros e dioritos,

metamorfizados e deformados. Exibem textura fanerítica grossa, localmente fina e frequentemente apresentam trama ofítica a subofítica. Estas rochas apresentam caráter intrusivo nas rochas da Sequência Arenópolis, evidenciado por meio de enclaves de anfibolitos finos (Pimentel *et al.*, 2003).

De acordo com Pimentel *et al.* (2003), ao contrário das rochas metavulcânicas as quais são intrudidas pelos gabros da Unidade Morro do Baú, estes não apresentem composições juvenis, mas sim uma forte contaminação de material siálico arqueano, provavelmente relacionado ao terreno alóctone representado pelas rochas do Gnaiss Ribeirão. Desta forma, a idade U-Pb de  $890 \pm 8$  Ma obtida por estes autores, indicam a idade mínima da acreção tectônica de tal terreno alóctone contra as rochas da Sequência Arenópolis.

#### **2.4.5 Granito Serra do Tatu - NP2 $\gamma$ st**

Constitui um corpo granítico alongado de direção N20W, sendo composto por rochas leucocráticas, acinzentadas, milonitizadas a cataclasadas, eventualmente com bandamento gnáissico e de textura porfiroblástica a granoblástica. A foliação milonítica é normalmente vertical e fortemente desenvolvida (Pimentel, 1985). Esta unidade é intrudida ao norte pelos granitos da Serra do Iran e ao sul são cortados e recobertos por tufos ácidos. Diques alcalinos ultramáficos de textura granular grossa, também intrudem as rochas desta unidade

Pimentel (1985) realizou a única datação existente desta unidade, pela qual obteve uma isócrona de  $692 \pm 110$  Ma por meio do método Rb-Sr. Segundo o autor, tal idade pode ser resultante de reajustes isotópicos que acompanharam os processos de cataclase e milonitização. Portanto, é possível que a referente idade seja um marco dos episódios de estabelecimentos das zonas miloníticas.

#### **2.4.6 Granito Ribeirão Água Limpa - NP2 $\gamma$ al**

Esta unidade é composta por um conjunto de granitóides que afloram ao longo da margem do Rio Piranhas e é composta por tonalitos, granodioritos leucocráticos, granitos cinza esverdeados e granitos porfiríticos de coloração rosa (Laceda Filho *et al.*, 2021). Os granitos exibem foliação, marcada por placas de muscovita e biotita e aglomerados estendidos de quartzo, e, localmente, apresentam xistosidade, que evidencia a foliação milonítica.

#### **2.4.7 Córrego do Horácio - NPach**

Pimentel & Fuck (1986) descreveram os metatufos riolíticos pouco deformados que afloram em meio às rochas da Unidade Córrego da Onça da Sequência Arenópolis. Estas rochas

são metatufos de composição dacítica de cor rosa a rosa-esverdeados, isotrópicos a pouco deformados. Afloram em forma de blocos esparsos em meio ao pasto, ou ao longo de corte de estradas vicinais, por vezes bastantes intemperizados e ocorrem na forma de diques, intrudindo as rochas da Sequência Arenópolis e do Granito Serra do Tatu.

#### **2.4.8 Granitos tardi a pós-tectônicos**

Diversos corpos plutônicos pouco a não deformados ocorrem na região do projeto, sendo associados a eventos tardi a pós-orogênicos ou da fase final da formação do arco. Entre estes corpos, a região possui em evidência o Granito Rio Caiapó, Granito Serra do Iran e o Granito Serra Negra. Estas rochas foram descritas por Pimentel (1985) e Pimentel *et al.* (1985) como granitos de caráter tardi a pós-tectônicos.

Trata-se de duas gerações de rochas graníticas, uma mais antiga com idades entre ~588 a 560 Ma com características petrográficas e geoquímicas diferenciadas com composições similares a granitoides calc-alcinos, bem como uma geração mais nova com idades entre ~508 a 485 Ma, essa com afinidades alcalinas, típicas de granitoides do tipo-A (Pimentel *et al.*, 1996)

##### **2.4.8.1 Granito Rio Caiapó - NP3ycai**

Pimentel & Fuck (1987) descrevem as rochas plutônicas que afloram ao longo do vale do Rio Caiapó como dioritos, granodioritos e granitos compondo uma massa de dimensões batólíticas. As rochas desta unidade são de textura predominante porfirítica e levemente deformadas. A grande variabilidade petrográfica é explicada pela existência de três episódios intrusivos. O primeiro caracterizado pela presença de rochas gabróicas e dioríticas expostas em pequenas áreas e que podem apresentar xenólitos de rochas anfibolíticas. O segundo compreende monzodioritos a granitos com textura porfirítica cortados por fases intrusivas tardias como diques pegmatíticos.

Segundo Pimentel *et al.*, (1996) a grande abundância de minerais como micas e anfibólios sugerem que estas rochas são produtos de fusão de rochas crustais sob condições hidratadas. Possuem características geoquímicas similares a granitoides calc-alcinos de arco, inclusive com forte assimilação das rochas do Gnaisse Arenópolis. Além disso, segundo Pimentel *et al.* (1985), o caráter levemente foliado das rochas desta unidade indica características tardi-tectônicas, com sua intrusão ocorrendo nos estágios finais do Ciclo Brasileiro.

##### **2.4.8.2 Granito Serra do Iran - NP3ysnir**

Assim como o Granito Rio Caiapó, as rochas da Unidade Serra do Iran compõem a primeira geração de rochas graníticas da região. Tais litotipos conformam um pequeno *plúton* caracterizado por uma textura equigranular isotrópica contendo duas fases intrusivas diferentes. A primeira compreende gabros e quartzo-monzodioritos isotrópicos de granulometria média com texturas sub-ofíticas localizadas que, por sua vez, são intrudidos por uma segunda fase, essa constituída por granitos equigranulares ricos em K (Pimentel & Fuck, 1987).

#### **2.4.9 Bacia do Paraná**

O arcabouço da Bacia do Paraná é representado por seis supersequências estratigráficas de segunda ordem cobrindo o intervalo de 450 a 65 Ma, sendo que parte significativa deste lapso temporal inclui hiatos marcados por discordâncias regionais. As três primeiras supersequências marcam o início da sedimentação da bacia e estão ligadas a ciclos transgressivos-regressivos associados a dinâmica eustática durante o Paleozóico, enquanto as três restantes representam uma sedimentação predominantemente continental com vulcânismos relacionados (Milani & Ramos, 1998; Milani *et al.*, 2007).

Na área do Projeto Arenópolis estão presentes apenas as duas primeiras, ou seja, a Supersequência Rio Ivaí e a Supersequência Paraná. A primeira é particularizada pela unidade litoestratigráfica referente ao Grupo Rio Ivaí com a Formação Vila Maria, e a última pelo Grupo Paraná com as Formações Furnas e Ponta Grossa.

##### **2.4.9.1 Grupo Ivaí**

O Grupo Rio Ivaí corresponde a Supersequência homônima de idade Ordovício-Siluriana e compreende as rochas sedimentares mais antigas da Bacia do Paraná, uma vez que faz parte do primeiro ciclo de sedimentação instalado sob o embasamento cratônico após os primeiros estágios de subsidência ocorridos após o término do ciclo Brasileiro. Apresenta espessura não uniforme com o preenchimento seguindo a tendência de depocêntricos alongados segunda a direção de lineamentos regionais de orientação NE-SW (Milani & Ramos, 1998).

O Grupo apresenta três formações, uma basal com conglomerados e arenitos referentes a Formação Alto Garças, uma intermediária composta essencialmente por diamictitos compondo a Formação Iapó e uma terceira definida por uma sedimentação de topo com folhehos e siltitos correspondente a Formação Vila Maria (Milani *et al.*, 2007).

##### **2.4.9.1.2 Formação Vila Maria - S1vm**

Constitui um pacote predominantemente pelítico representado por folhelhos fossilíferos e siltitos. Os folhelhos representam etapas de máximo afogamento dentro do ciclo sedimentar pertencente ao período ordoviciano-siluriano (Milani & Ramos, 1998). São folhelhos avermelhados, localmente acinzentados e micáceos com aspecto ferruginoso. Seu conteúdo fossilífero constitui em megafósseis marinhos como graptólitos, trilobitas, braquiópodos, gastrópodos, bivalvíos e ostracodes, assim como palinomorfos. Já a porção mais psamítica representada por siltitos e arenitos, apresentam estratificações cruzadas *hummocky* e gretas de contração. O topo da sequência é definido por um limite discordante regional, a discordância Neossiluriana. Acima desta assenta-se a supersequência Paraná (Milani *et al.*, 2007).

#### **2.4.9.2 Grupo Paraná**

Representado pela sequência de mesmo nome, as rochas do Grupo Paraná assentam-se sobre a discordância Neossiluriana ou diretamente sobre o embasamento. Apresenta uma geometria geral tabular e evidencia um ciclo transgressivo-regressivo completo já desenvolvido sob a influência eustática das águas do paleoceanos Panthalassa. A sedimentação se inicia com sedimentos arenosos continentais a transicionais eodevonianos da Formação Furnas que, por sua vez, são recobertos por sedimentos marinhos siltico-argilosos da Formação Ponta Grossa (Milani & Ramos, 1998).

##### **2.4.9.2.1 Formação Furnas - D1f**

A Formação Furnas apresenta arenitos quartzosos brancos, subarcóseos e sublitarenitos médios a grossos com estratificações cruzadas, se intercalando com níveis de siltito e folhelho. Níveis conglomeráticos com geometrias lenticulares também são comuns. Estratificações cruzadas do tipo espinha-de-peixe são características do nível intermediário do pacote. Na porção de topo, arenitos médios a grossos são dominantes, ocorrendo também arenitos muito finos com estratificação *hummocky* e folhelhos com estruturas *wavy* (Lacerda Filho *et al.*, 2021; Milani *et al.*, 2007).

##### **2.4.9.2.2 Formação Ponta Grossa - Dpg**

A Formação Ponta Grossa representa a transição da sedimentação do pacote Furnas, constituindo sedimentos marinhos siltico-argilosos. São folhelhos que marcam eventos de máxima inundação do ciclo de sedimentação reinante no devoniano e está ligada ao afogamento rápido da plataforma Furnas (Milani & Ramos, 1998).

É constituída na base por folhelhos e siltitos que marcam o evento de transgressão responsável pelo afogamento da bacia seguida pela implementação de um ambiente marinho raso. A sedimentação da porção intermediária está associada a um ciclo regressivo, com arenitos finos a muito finos micáceos e feldspáticos, de coloração marrom a preto. No topo está marcando a volta de um evento transgressivo com a incidência de outra sedimentação siltico-argilosa (Lacerda Filho *et al.*, 2021)

#### **2.4.10 Suíte Alcalina Arenópolis**

Descrita por Junqueira *et al.* (2002), este conjunto de corpos corresponde a rochas alcalinas pluto-vulcânicas datadas do cretáceo que ocorre ao longo de uma faixa de direção NW-SE coincidente com as grandes estruturas regionais, localizados na região oeste de Goiás. Esta suíte é composta por diversos corpos que afloram na forma de sills, diques, plugs, chaminés e depósitos de lavas.

##### **2.4.10.1 Corpo Córrego do Preto**

A intrusão Corpo Córrego do Preto é composta por dois corpos circulares localizados entre a confluência dos rios Caiapós e Piranhas, e ocorrem como blocos decimétricos a métricos, quando isótropos possuem coloração esverdeada a preta. Nascimento (2018), indica que as intrusões carbonatíticas de Morro Preto são representadas por rochas bandadas, com estruturas de fluxo magmático e textura cumulática, além que a autora ressalta a singularidade da intrusão de Morro Preto no âmbito da Província Alcalina de Goiás, visto que neste corpo os carbonatitos predominam sobre outras rochas alcalinas.

##### **2.4.10.2 Corpo Arenópolis - Jkλia**

As rochas deste corpo são descritas por Danni *et al.* (1976) por exibirem bandamento magmático com uma textura cumulática. São gabros alcalinos, melanocráticos, isotrópicos, de textura granular grossa a cumulática. Estas litologias possuem concentrações variáveis de olivina, piroxênio, plagioclásio, epidoto e flogopita, eventualmente com apatita e algumas fácies com nefelina imersos numa matriz com sulfetos.

### 3. Sensoriamento Remoto, Fotogeologia e Geofísica

Neste capítulo são apresentadas ferramentas que auxiliaram nas etapas de campo e pós-campo, onde se fez necessário a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e métodos aerogeofísicos. Tais recursos, amplamente aplicados na cartografia geológica moderna, são essenciais para realização de um mapeamento de maior detalhe, buscando assegurar um bom planejamento de campo, além de auxiliar e complementar os dados coletados nesta etapa. Estas ferramentas foram utilizadas com objetivo de elaborar mapas de domínios litológicos e lineamentos estruturais, bem como extrapolar as interpretações das informações de campo, facilitando a integração, com a confecção do produto final, o mapa geológico do Projeto Arenópolis.

Dentre os dados utilizadas para esse fim, inclui-se imagens orbitais multiespectrais e de radar, além de dados aerogeofísicos potenciais, todos compondo um papel singular na etapa de interpretações pré-campo, assim como nos refinamentos da etapa pós-campo. No que se refere as imagens orbitais, estas formularam a base para a identificação de feições de logística, como vias de acesso, propriedades rurais e ocupações humanas de forma geral, bem como feições naturais como redes de drenagens e estruturas geomorfológicas. Além disso, quando utilizadas em paralelo com os dados de aerogeofísica, subsidiaram interpretações prévias a respeito de relações de contatos litológicos, lineamentos estruturais e a possível distribuição das unidades geológicas da área de estudo.

#### 3.1 Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto, segundo Meneses e Almeida (2012), é uma técnica de obtenção de informações acerca de um objeto situado na superfície terrestre, sem que haja contato físico entre este e o sensor que coleta tais informações. Os dados são obtidos através da interação entre a radiação eletromagnética, gerada por fontes naturais (passivos) ou por fontes artificiais (ativos), com o sensor. As informações são apresentadas na forma de imagens digitais, sendo as mais utilizadas atualmente, aquelas captadas por sensores orbitais abordados em satélites.

Neste projeto, os dados de fontes passivas referem-se a imagens de sensores imageadores multiespectrais na faixa óptica abordo dos satélites CBERS-4A e TERRA, o primeiro através da Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (WPM) e o último por meio do sensor *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*

(ASTER). Já os dados de fontes ativas foram referentes ao sensor radar de abertura sintética PALSAR abordo do satélite ALOS. Os dados foram processados e interpretados em ambiente Arcgis Pro 3.1.0.

### **3.1.1 Imagens multiespectrais**

Os dados de fontes passivas referem-se a imagens multiespectrais da faixa óptica provenientes das câmeras/sensores WPM, acoplado ao Satélite CBERS-4A e ASTER, abordo do satélite TERRA. Estes dados são distribuídos e disponibilizados, através de catálogos de imagens em portais de agências e programas exploratórios internacionais, como o Earth Science Data Systems (ESDS) da NASA e nacionais, como o Centro de Processamento de Imagens da Divisão de Geração de Imagens do INPE. Os dados são pré-processados antes da disponibilização, processo pelo qual as imagens passam por correções geométricas e radiométricas definindo variados níveis de processamento de acordo com a finalidade do usuário.

O *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER) é o instrumento imageador de maior resolução espacial abordo da plataforma satelital TERRA, colocado em órbita em dezembro de 1999. O ASTER possibilitou uma ampliação de estudos de cunho geológicos devido a sua maior resolução espectral na região do infravermelho de ondas curtas (SWIR), contando com um total de 6 bandas com 30 metros de resolução espacial. Estas bandas são de especial importância, pois é no SWIR que ocorrem as principais feições de absorção e reflexão de minerais e rochas. Além disso, a região do visível e infravermelho próximo (VNIR) conta com 3 bandas espectrais com resolução espacial de 15 m, responsáveis por detectar a interação de minerais com elementos de transição como os que contém íons de ferro em sua estrutura (Meneses e Almeida, 2012). A Tabela 3.1 resume as características do sensor ASTER, bem como os dados da cena utilizada nesse projeto.

A Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (WPM) é um dos três sensores de observação óptica abordo do satélite CBERS-4A, a última plataforma da constelação lançada pelo programa CBERS (*China-Brazil Earth Resources Satellite*). No Brasil, os dados produzidos por este programa são recebidos, processados e disseminados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), desde o início da missão em 1999, até o lançamento do 4A em 2019. As imagens adquiridas pelo WPM compõem dados com resolução panorâmica de 2m e resolução multiespectral de 8 m. A Tabela 3.2 especifica os dados da câmera WPM.

**Tabela 3.1** – Características do sensor ASTER, bem como os metadados da cena utilizada no Projeto Arenópolis (NASA LP DAAC, 2015).

ASTER L1T			
Banda	Região espectral	Comprimento de onda ( $\mu\text{m}$ )	Resolução espacial (m)
B1	VNIR	0.52-0.60	15
B2		0.63-0.69	
B3		0.78-0.86	
B4	SWIR	1.60-1.70	30
B5		2.145-2.185	
B6		2.185-2.225	
B7		2.235-2.285	
B8		2.295-2.365	
B9	2.360-2.430	90	
B10	8.125-8.475		
B11	8.475-8.825		
B12	8.925-9.275		
B13	10.25-10.95		
B14	10.95-11.65		
DADOS DA CENA UTILIZADA			
Identificação	AST_L1T_00306142006134415_20150514203627_94714		
Tipo do dado	Radiância no topo da atmosfera		
Nível de Processamento	L1 T ( <i>Terrain Corrected Registered At-Sensor Radiance</i> )		
Data de Aquisição	14/06/2006		
Cobertura de nuvem	0%		
Largura da faixa imageada	60 Km		

**Tabela 3.2** - Características da câmera WPM do CBERS-4A, assim como os metadados da cena utilizada no Projeto Arenópolis (INPE, 2023).

CBERS - 4A (WPM)			
Banda	Região espectral	Comprimento de onda ( $\mu\text{m}$ )	Resolução espacial (m)
B1	VIS	0.45-0.52	8
B2		0.52-0.59	
B3		0.63-0.69	
B4	NIR	0.77-0.89	2
P	PAN	0.45-.090	
DADOS DA CENA UTILIZADA			
Identificação	CBERS4A_WPM21113320220803		
Tipo do dado	Radiância no topo da atmosfera		
Nível de Processamento	L4_DN		
Data de Aquisição	03/08/2022		
Cobertura de nuvem	0%		
Largura da faixa imageada	70 Km		

### 3.1.2 Modelo Digital de Elevação (MDE)

O PALSAR é um radar de abertura sintética (SAR) de banda L que compõe um dos três sensores do satélite *Advanced Land Observing Satellite* (ALOS), lançado em 2006 sob a coordenação da *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA). O sensor operante na região das micro-ondas apresenta observação com coleta de dados através do princípio da interferometria, com múltiplos modos de polarização que variam de acordo com a resolução espacial e com os ângulos de visada *off-nadir*.

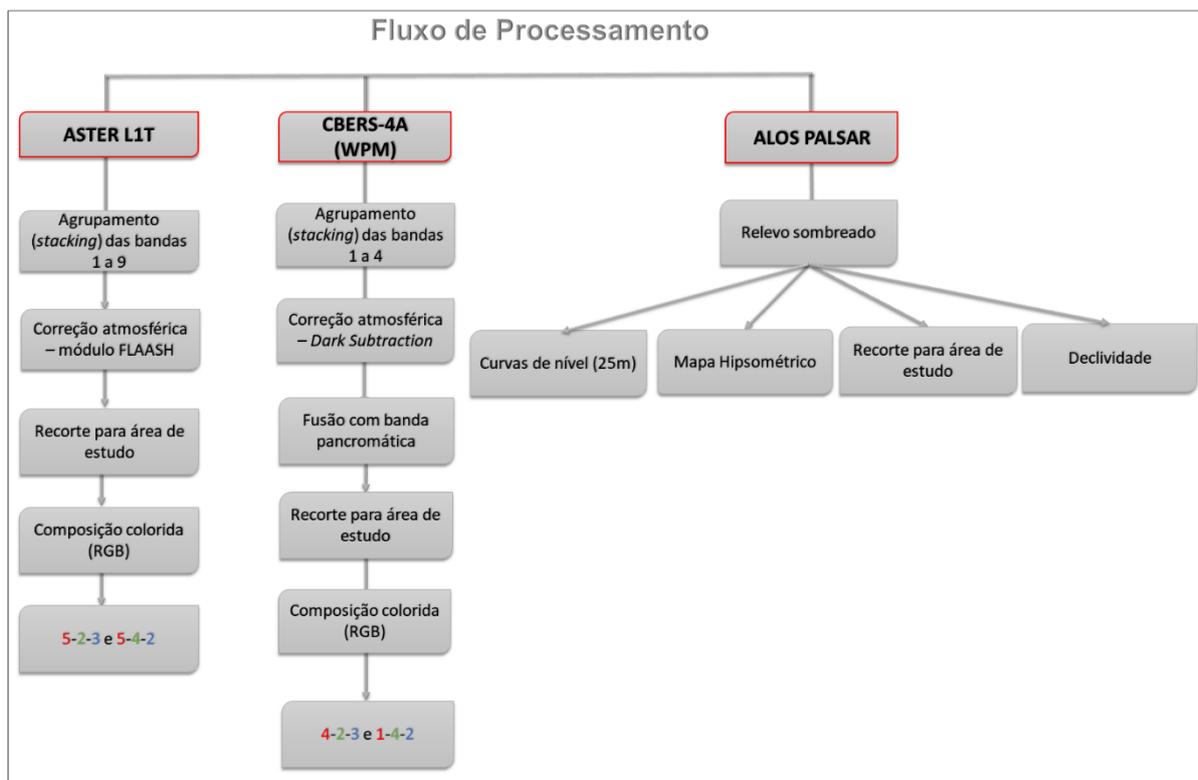
As imagens produzidas pelo ALOS-PALSAR são disponibilizadas como um Modelo Digital de Elevação (MDE) e distribuídas pelo catálogo do *Alaska Satellite Facility* (ASF). O dado é obtido já com etapas de pré-processamento efetuadas, incluindo correções geométricas e radiométricas. A Tabela 3.3 apresenta um resumo das especificações do MDE proveniente do sensor PALSAR, além dos parâmetros da cena utilizada no Projeto Arenópolis.

**Tabela 3.3** - Características do Modelo Digital de Elevação oriundos do sensor PALSAR, além dos metadados da cena utilizada no Projeto Arenópolis (JAXA/METI, 2023).

ALOS PALSAR			
Banda	Frequência (MHz)	Resolução radiométrica (bits)	Resolução espacial (m)
Banda L	1270	5	12,5
DADOS DA CENAS UTILIZADAS			
Identificação	ALPSRP268256850-AP_26825_FBS_F6850_RT1		
Tipo do dado	Elevação (m)		
Nível de Processamento	RT1 ( <i>High Resolution Terrain Corrected</i> )		
Data de Aquisição	06/02/2006		
Polarização	HH		
Largura da faixa imageada	92 Km		

### 3.1.3 Processamento dos Dados

Os dados apresentados na seção anterior foram adquiridos nas respectivas plataformas de disponibilização e em seguida integrados a base de dados geográficas do projeto em ambiente SIG para que seu posterior processamento e interpretação fosse realizado, cumprindo assim uma sistemática de armazenamento, consulta e manipulação de dados espaciais. Os produtos das três imagens, ASTER L1T, CBERS-4A WPM e ALOS PALSAR seguiram fluxos de processamento independentes cuja o esquema pode ser visualizado pelo fluxograma da Figura 3.1.



**Figura 3.1** - Fluxograma mostrando as etapas de processamento dos dados de sensoriamento remoto do Projeto Arenópolis.

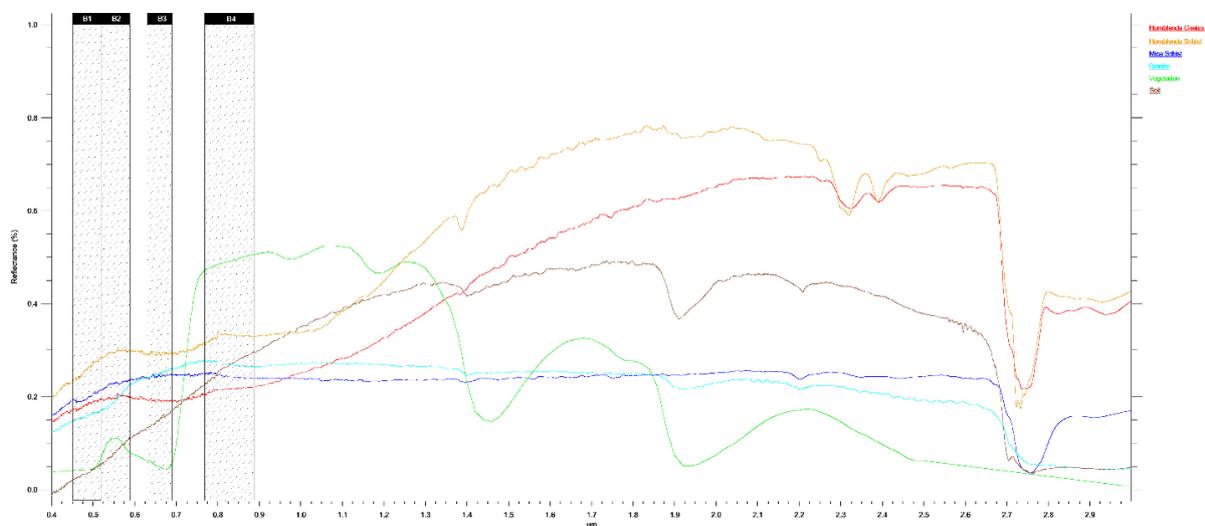
As etapas de processamento das imagens, assim como para os demais dados vetoriais, foram realizadas em ambiente SIG por meio softwares como ArcGIS Pro 3.1 e Envi 5.6, utilizados em etapas específicas dentro fluxo de processamento. Para o uso do software Envi 5.6, foi utilizado o Laboratório de Sensoriamento Remoto e Análise Espacial do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília. Já para o ArcGIS Pro 3.1, fora utilizado a licença individual para discentes fornecida pelo programa GIS UNB.

O processamento da imagem CBERS-4A envolveu, primeiramente, o agrupamento de todas as bandas espectrais (*stacking*), seguida por uma básica correção atmosférica por meio da técnica *Dark Subtraction* para remoção do espalhamento da atmosfera, seguida da fusão com a banda pancromática, com intuito de alcançar uma resolução espacial de 2 metros, culminando com o final recorte da cena para a área de estudo. Após isso, a cena foi recortada e reamostrada para uma resolução espacial maior.

Para a escolha de bandas a serem compostas, primeiro observou-se a posição das bandas do sensor em relação espectros de reflectância de alguns alvos de interesse. Para guiar esta escolha, foram analisados os espectros de alvos como Hornblenda gnaisses, Hornblenda xistos, Mica xistos, Granitos, Vegetação e Solo exposto, disponibilizados na biblioteca espectral da *Johns Hopkins University* (Korb *et al.*, 1996). A Figura 3.2 mostra um gráfico de reflectância

destes alvos versus comprimento de onda, com a sobreposição das bandas da câmera WPM do satélite CBERS-4A. As bandas ideais seriam aquelas com maiores diferenças de reflectância entre os alvos. Para ordem de alocação nos canais, seguiu-se a premissa de Meneses e Almeida (2012), que sugerem a alocação das bandas de maior variância nos canais vermelho ou verde, sendo aquela de menor variância alocada sempre ao canal azul. Esta observação se deve ao fato de que a sensibilidade da visão humana às cores azuis é mais baixa do que às cores vermelha e verde. Deste modo, a escolha baseada em tais critérios implicaria em uma composição com maior contraste entre os alvos, bem como em um maior impacto visual.

A Tabela 3.4 ilustra uma matriz de covariância das bandas do CBERS-4A, onde os elementos da diagonal mostram as variâncias de cada banda. Baseado nestas informações e nos espectros de reflectância dos alvos da Figura 3.2, seguindo a premissa de Meneses e Almeida (2012), foram escolhidas duas composições para a imagem, sendo elas a 4(R)-2(G)-3(B) e 1(R)-4(G)-2(B).



**Figura 3.2**— Espectros de reflectâncias de alvos de interesse com a sobreposição das bandas do sensor CBERS-4A (Fonte: Korb *et al.*, 1996).

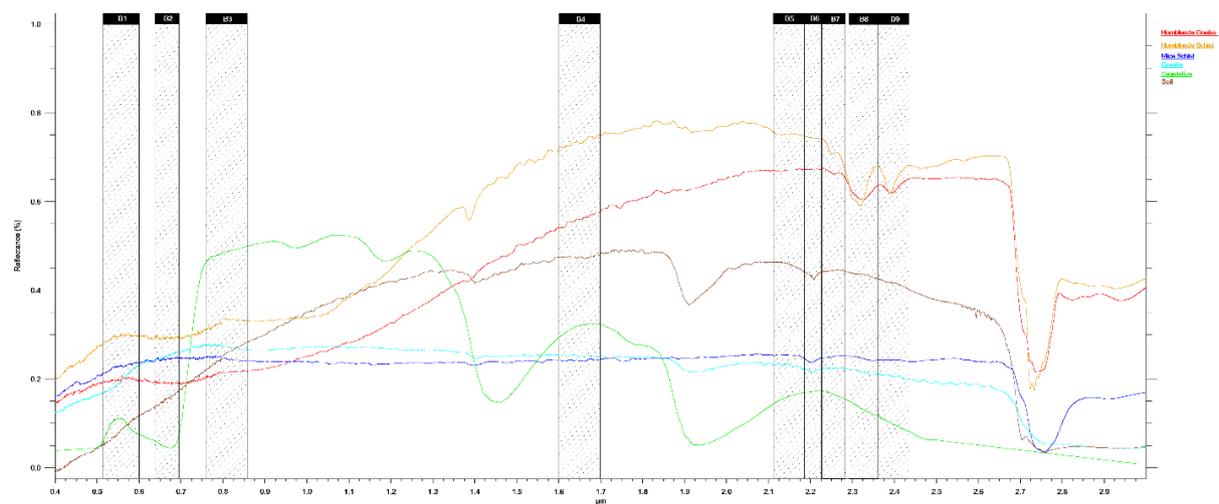
**Tabela 3.4** - Matriz de covariância da imagem CBERS-4A, mostrando a variância de cada banda na diagonal.

Covariance	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4
Band 1	9124.54	5403.55	4628.39	5779.54
Band 2	5403.55	4393.15	3648.36	4490.28
Band 3	4628.39	3648.36	3937.44	4062.38
Band 4	5779.54	4490.28	4062.38	7072.66

No caso da imagem ASTER L1T, o primeiro passo foi a reamostragem da resolução espacial das bandas do SWIR para 15 metros com a posterior união de todas as cenas (VNIR e SWIR), agora padronizadas em 15 m, também a partir de um procedimento de *Layer Stacking*. O conjunto, então, passou por uma transformação dos dados originais em radiância no topo da

atmosfera (TOA), com a correção dos efeitos atmosféricos utilizando-se o módulo FLAASH (*Fast Line-of-Sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes*) com a consequente mudança para dados para reflectância na base da atmosfera (BOA). A partir daí, a imagem foi recortada para a área de estudo com a posterior realização de composições coloridas.

As escolhas das composições da imagem ASTER L1T seguiu a mesma sistemática do caso da imagem CBERS-4A. A figura 3.3 mostra a distribuição das bandas do sensor contra os espectros de reflectância dos alvos e a Tabela 3.5 apresenta a matriz de covariância das bandas do sensor, mostrando os valores das variâncias de cada banda na diagonal. Deste modo, para essa imagem, foram escolhidas as composições 5(R)-2(G)-3(B) e 5(R)-4(G)-2(B). Observa-se que as bandas de maiores variâncias estão alocadas nas posições do vermelho ou verde. Além disso, tais bandas apresentam, em geral, significativas diferenças de reflectância entre os alvos.



**Figura 3.3** - Espectros de reflectâncias de alvos de interesse com a sobreposição das bandas do sensor ASTER L1T (Fonte: Korb *et al.*, 1996).

**Tabela 3.5** - Matriz de covariância da imagem ASTER L1T, mostrando a variância de cada banda na diagonal.1.T.

Covariance	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6	Band 7	Band 8	Band 9
Band 1	156334.35	211715.50	127697.34	895025.61	1460559.22	491760.64	-449894.83	-3104467.83	-5849281.48
Band 2	211715.50	318544.53	130999.87	1302449.31	2166164.05	422287.89	-1246210.90	-5841339.17	-10110367.85
Band 3	127697.34	130999.87	272346.43	661338.47	991826.76	717790.92	487304.51	-387674.11	-1204176.86
Band 4	895025.61	1302449.31	661338.47	6936649.33	11443788.47	2806625.77	-5188100.07	-27239930.79	-47668178.17
Band 5	1460559.22	2166164.05	991826.76	11443788.47	30782436.88	12051259.84	-4548853.43	-48025588.87	-86255363.02
Band 6	491760.64	422287.89	717790.92	2806625.77	12051259.84	151055750.24	120015565.69	39861775.28	-38089330.10
Band 7	-449894.83	-1246210.90	487304.51	-5188100.07	-4548853.43	120015565.69	251873726.04	139036457.56	28931251.66
Band 8	-3104467.83	-5841339.17	-387674.11	-27239930.79	-48025588.87	39861775.28	139036457.56	541260221.86	306701405.44
Band 9	-5849281.48	-10110367.85	-1204176.86	-47668178.17	-86255363.02	-38089330.10	28931251.66	306701405.44	804231466.97

Por fim, o modelo digital de elevação referente aos dados do ALOS PALSAR foi primeiramente recortado para a área de estudo e posteriormente derivado para produtos básicos como relevo sombreado, mapa hipsométrico, curvas de nível com intervalos de 25 metros e declividade. O mapa hipsométrico é gerado basicamente atribuindo escalas de cores para os

intervalos de altitude do modelo de elevação. Os outros produtos são gerados a partir de algoritmos básicos dentro do conjunto de ferramentas Raster Functions no ArcGis Pro.

No caso do relevo sombreado, adotou-se um método de iluminação multifonte (Gantenbein, 2012), no qual foram gerados três produtos com azimutes e ângulos verticais distintos e posteriormente sobrepostos com níveis de transparências também diferentes. Esta técnica apresenta a vantagem de eliminar efeitos de sombreamento em vales e encostas que obscurecem maiores detalhes do dado. Os parâmetros utilizados para a elaboração do relevo sombreado são apresentados na Tabela 3.6.

**Tabela 3.6** – Tabela de parâmetros utilizados para confecção do relevo sombreado.

RELEVO SOMBREADO			
Layer	Azimute	Ângulo vertical	Transparência
Topo	350°	70°	65%
Meio	15°	60°	50%
Base	270°	55°	70%

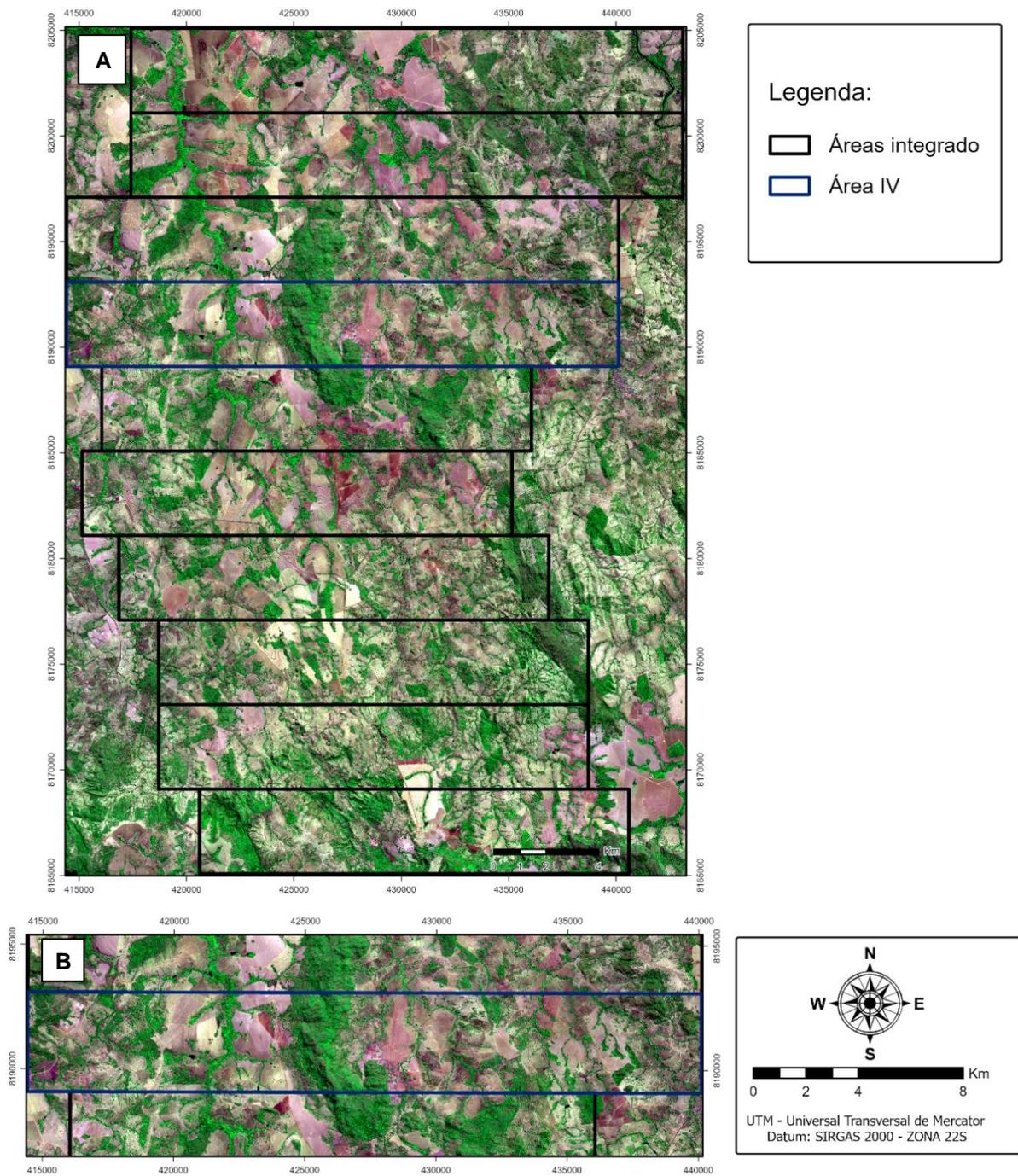
### 3.1.4 Produtos e interpretações

O produto das composições coloridas das imagens multiespectrais é representado a partir das Figuras 3.4 a 3.7. A primeira observação que pode ser feita refere-se a um aparente aumento do brilho das imagens, decorrente da mudança das médias dos níveis de cinza após a eliminação do espalhamento da atmosfera por meio das correções aplicadas nas cenas. Apesar de não existir uma grande heterogeneidade de alvos na área de estudo, devido a extensa cobertura de solos e vegetação, típicos de um clima tropical, o artifício de atribuir as bandas de maiores variâncias aos canais vermelho ou verde, se provou eficiente no sentido de aumentar o contraste entre as feições naturais.

Como a feição de maior reflectância da vegetação se encontra na banda 4 da imagem CBERS-4A (Fig. 3.2) e visto as composições escolhidas, observa-se que a vegetação mais densa aparece em tons intensos de verde, na Figura 3.4 e vermelho, na Figura 3.5. Os tons de roxo na primeira e verde musgo na segunda figura, evidenciam uma mistura entre solo e vegetação com menor atividade de clorofila. Esta mistura de cor, decorre da proximidade das reflectâncias desses alvos na banda 1 e 2, respectivamente. Além disso, é possível notar que estas feições correspondem a regiões de plantio onde há uma exposição de ambos os alvos.

Ao se associar padrões de relevo com as outras tonalidades nessas imagens, é possível observar certas tendências que indicam mudança das distribuições de solo, o que indiretamente também implicam nas distribuições das rochas. Por exemplo, os padrões de tons de verde claro e branco na Figura 3.4, bem como o alaranjado e cinza da Figura 3.5, provavelmente sugerem

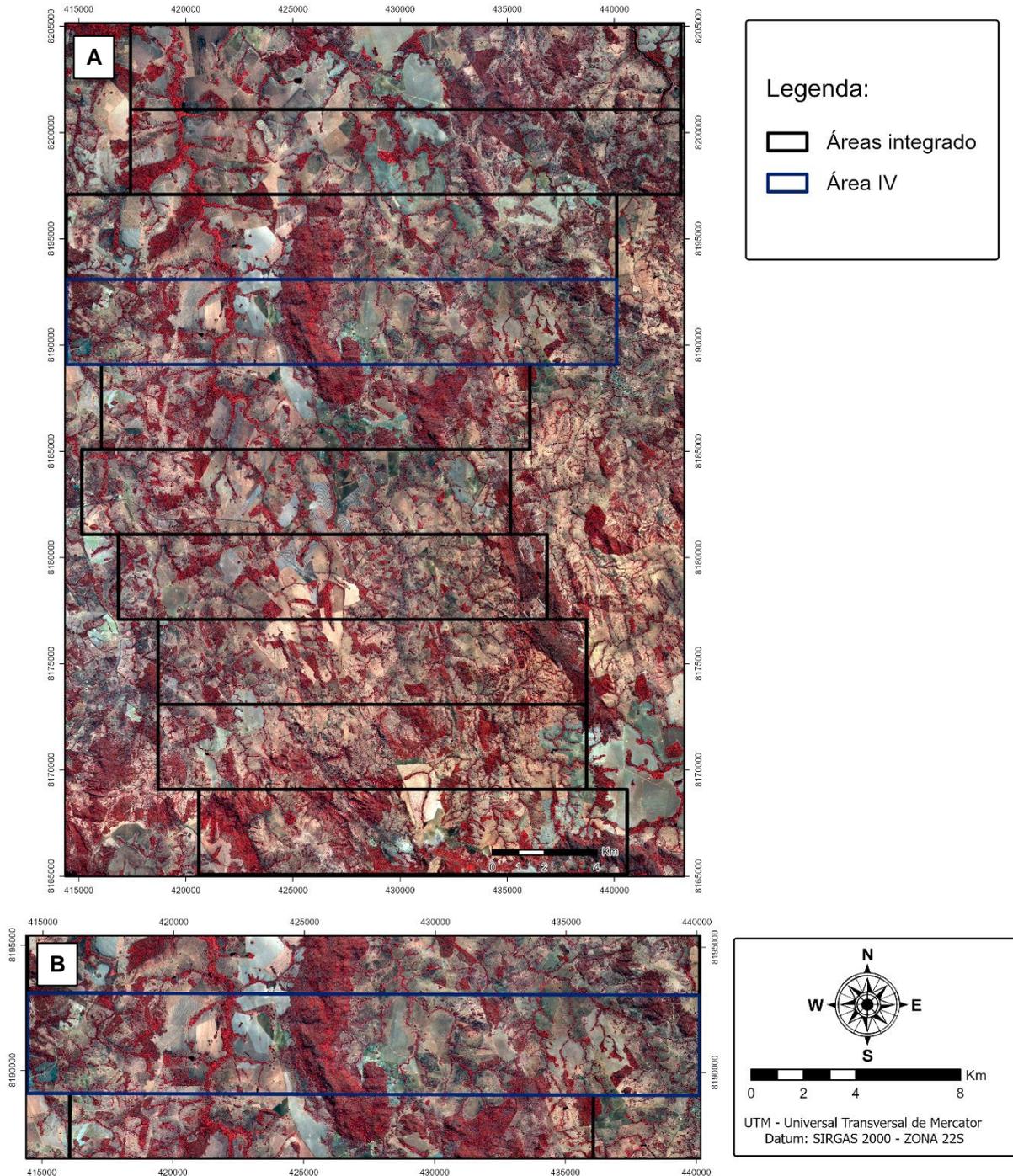
tal relação, uma vez que existem diferenças nas reflectâncias dos alvos na banda 4, o que teria o efeito não apenas na mistura de cor, mas também no brilho dos pixels.



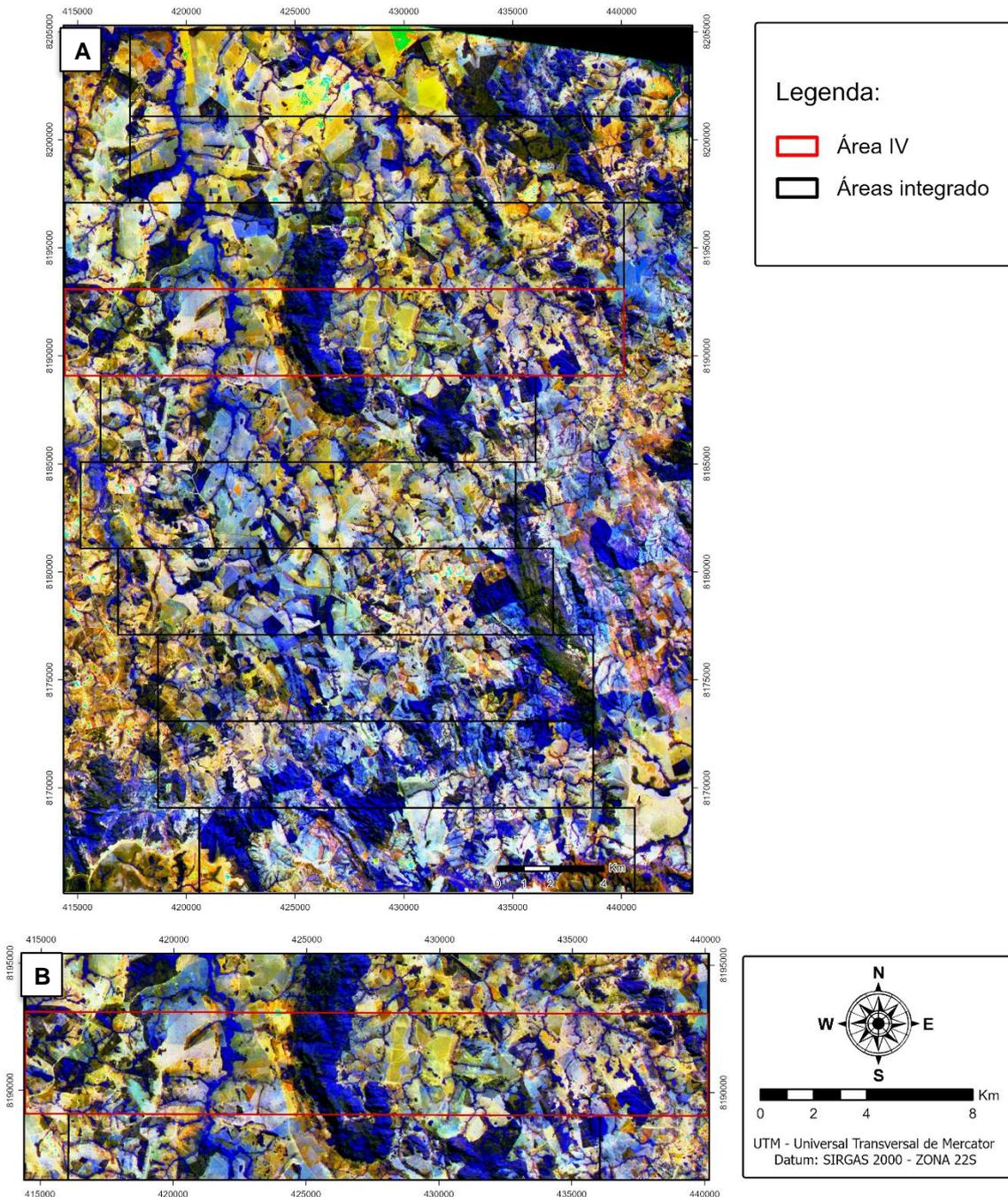
**Figura 3.4** – Composições coloridas RGB (142) do CBERS-4A. (A) Mapa de composições coloridas da imagem CBERS 04A utilizada no Projeto Arenópolis. (B) Mapa de composições com foco na Área IV.

Os dados da imagem ASTER (Fig. 3.6 e 3.7) mostram diferenças de contraste significativas entre os alvos se comparado com os dados da imagem CBERS. Isso provavelmente evidencia a compensação do aumento resolução espectral em detrimento da

diminuição da resolução espacial entre os dois sensores. Além disso, o artifício de atribuição das bandas de maior variância em canais apropriados, soma-se a este efeito de melhora no contraste, conferindo um maior impacto visual nas cenas.



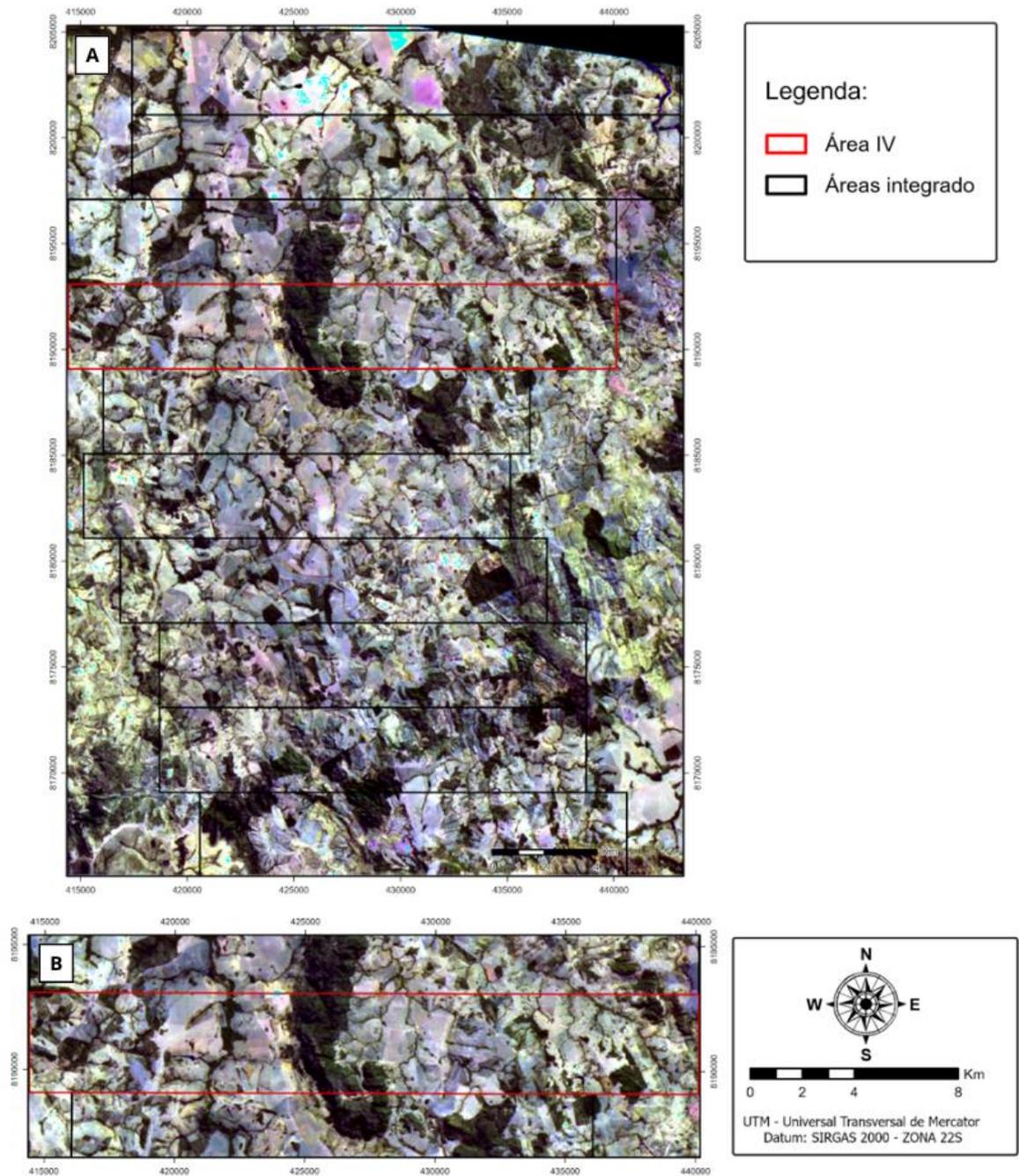
**Figura 3.5** - Composições coloridas RGB (432) do CBERS-4A. (A) Mapa de composições coloridas da imagem CBERS-4A utilizada no Projeto Arenópolis. (B) Mapa de composições com foco na Área IV.



**Figura 3.6** - Composições coloridas RGB (523) do ASTER. (A) Mapa de composições coloridas da imagem ASTER utilizada no Projeto Arenópolis. (B) Mapa de composições com foco na Área IV.

No caso do ASTER, a banda que melhor capta a presença da vegetação é a banda 3 (Fig. 3.3). Deste modo, a composição da Figura 3.6, apresenta as feições de vegetação mais densa em tons de azul intenso. Os tons mais claros de azul correspondem a regiões com uma cobertura de vegetação menos densa. Em contrapartida, o solo apresenta maior reflectância na banda 5, entretanto essa também é significativa na banda 3. Deste modo, os tons de amarelo

refletem a mistura entre a alta reflectância do solo na banda 5, com uma considerável reflectância desse mesmo alvo, na banda 3, e a vegetação, também presente nesta última banda. Portanto, a vasta distribuição de amarelo na imagem corresponderia a áreas de plantio.



**Figura 3.7** - Composições coloridas RGB (542) do ASTER. (A) Mapa de composições coloridas da imagem ASTER utilizada no Projeto Arenópolis. (B) Mapa de composições com foco na Área IV.

Um paralelo parecido, referente à vegetação e ao solo, pode ser traçado a partir da composição da Figura 3.7. No entanto, nesse caso a banda 3, de maior expressão da vegetação, não se apresenta no triplete RGB. Porém, a banda 4 apresenta alguma contribuição (Fig. 3.3). Deste modo, a vegetação se apresenta em tons de verde escuro, diminuindo a intensidade da

tonalidade à medida que se torna menos densa. Além disso, a composição desta cena permite fazer uma observação interessante a respeito da litologia. A partir da imagem é possível notar uma ampla distribuição de tons lilás. Essa cor é resultado da mistura entre o canal vermelho, o qual está atribuído a banda 5 e o azul, o qual está ligado a banda 2. Observando as assinaturas espectrais dos alvos (Fig. 3.3), é possível notar que a banda 5 apresenta alta reflectância do solo e a banda 2 mostra uma relativa reflectância de xistos máficos, como Hornblenda xisto. No entanto, a banda 4 também mostra a presença desse alvo. Portanto, é possível que tons de lilás e amarronzados represente uma mistura espectral entre solo e tais rochas máficas.

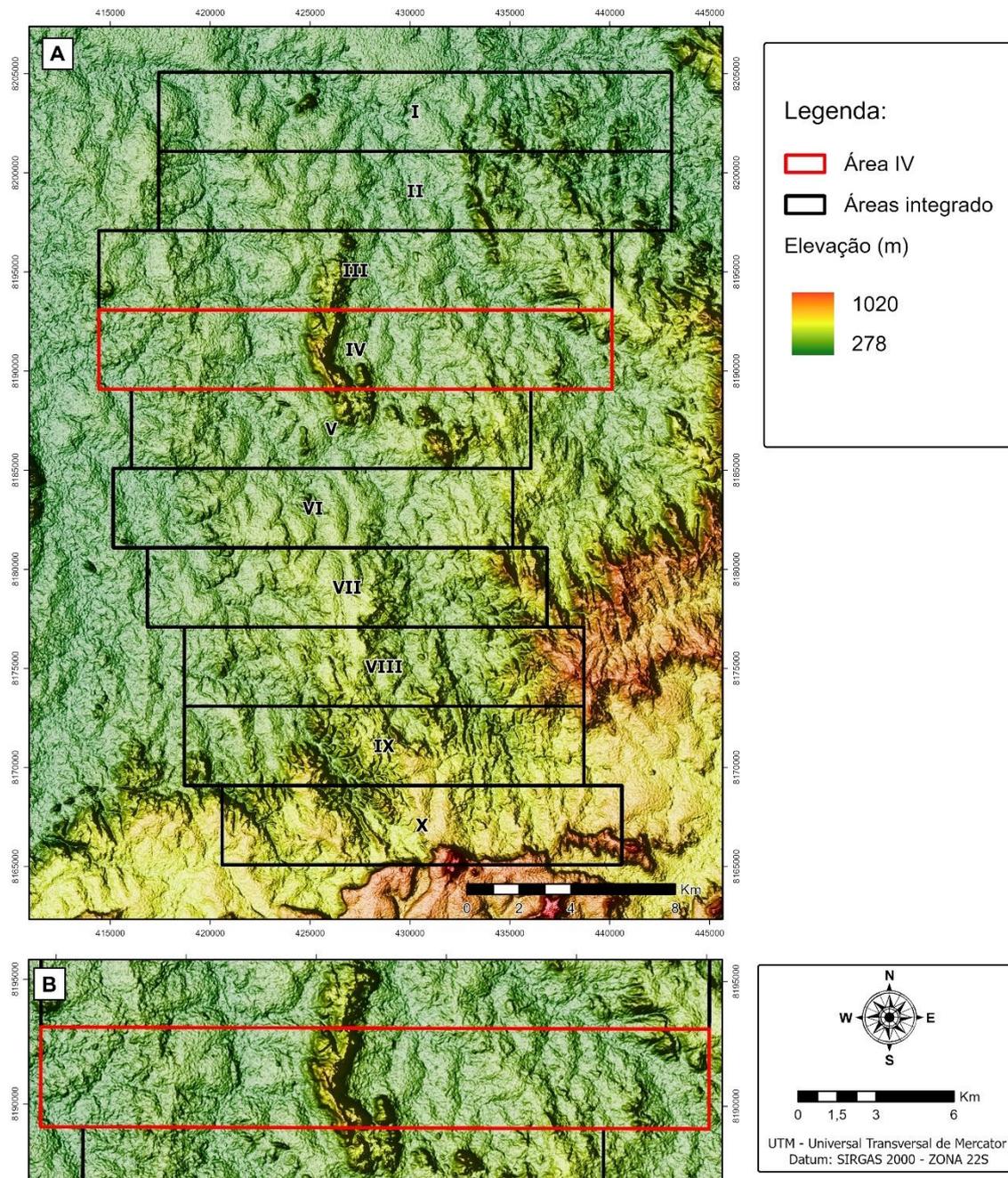
É importante notar que existem sutis transições entre as tonalidades em ambas as imagens das Figuras 3.6 e 3.7. Isso se deve ao fato da presença de uma complexa sobreposição de assinaturas de reflectância entre variados alvos na cena. Portanto, deve existir um cuidado para interpretar a resposta da interação destes alvos com a radiação eletromagnética, principalmente no que diz respeito a traçar conclusões a respeito da distribuição de litologias. Para uma análise mais segura, deve ser feita uma cautelosa observação dos espectros de reflectâncias, como aqueles das Figuras 3.2 e 3.3, e se possível, realizar uma amarração com dados aerogeofísicos.

Os dados hipsométricos provenientes do ALOS-PALSAR revelam que grande parte da área do Projeto Arenópolis se encontra em porções arrasadas de relevo, compreendendo altitudes entre 300 a 500 metros (Fig. 3.8). Apenas uma pequena parcela ultrapassa limites maiores que 600 metros de altitude, como pode ser visto na porção sul da área, nas proximidades da Bacia do Paraná e em algumas serras isoladas na porção central, como nas Serra do Iram e Serra do Tatu. Uma parcela ainda menor atinge os 1000 metros, como é o caso das escarpas e dos platôs da Bacia do Paraná e em alguns *inselbergs* resultantes da sua erosão.

A declividade é outro produto derivado do Modelo Digital de Elevação, tendo como expoente o mapa de declividade expresso em porcentagem, equivalendo assim, a uma diferença de nível para 100m de distância horizontal (Figura 3.9). Este mapa consiste em um produto no qual o relevo é classificado de acordo com os agrupamentos de intervalos propostos pela EMBRAPA (1979). Neste sistema classificatório, o relevo é dito plano quando contém entre 0 a 3% de declividade, suave ondulado quando compreende valores entre 3 a 8%, ondulado para o intervalo de 8 a 20%, forte ondulado nos casos em que apresenta 20 a 45%, montanhoso a partir do intervalo de 45 a 75% e escapado para valores maiores do que 75% de declividade.

É possível notar a predominância de relevos planos e suaves ondulados, seguido das porções de ondulado e forte ondulado nas cabeceiras e vales de redes de drenagens, bem como nas encostas das serras que se encontram na parte central e nordeste da área, sendo que nesse

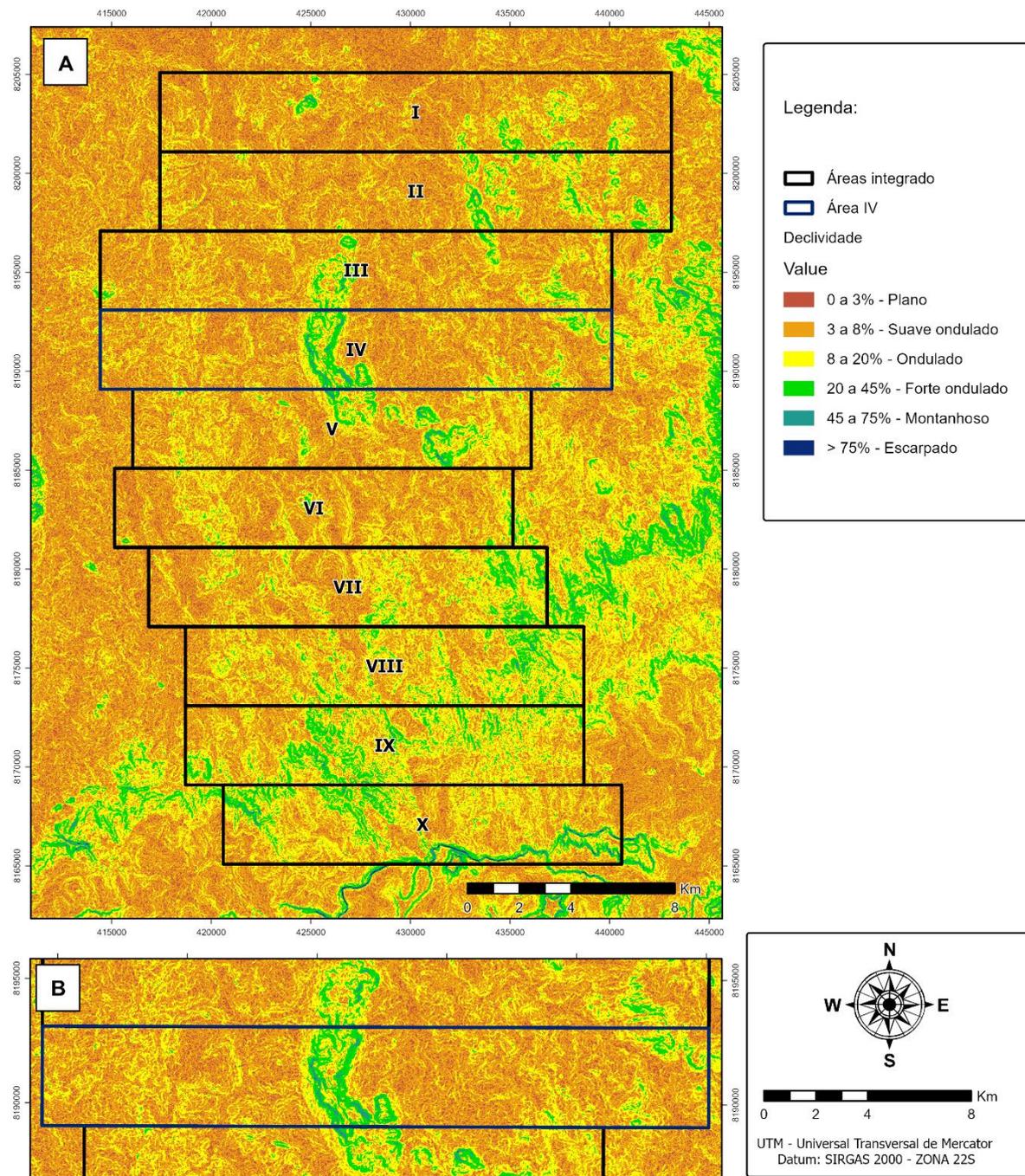
último caso, também podem atingir condições montanhosas em locais mais restritos. Por fim, um relevo escapado é notado na porção sul, junto a borda da Bacia do Paraná.



**Figura 3.8** – (A) Mapa de elevação das áreas integradas do Projeto Arenópolis. (B) Mapa de elevação com foco na Área IV.

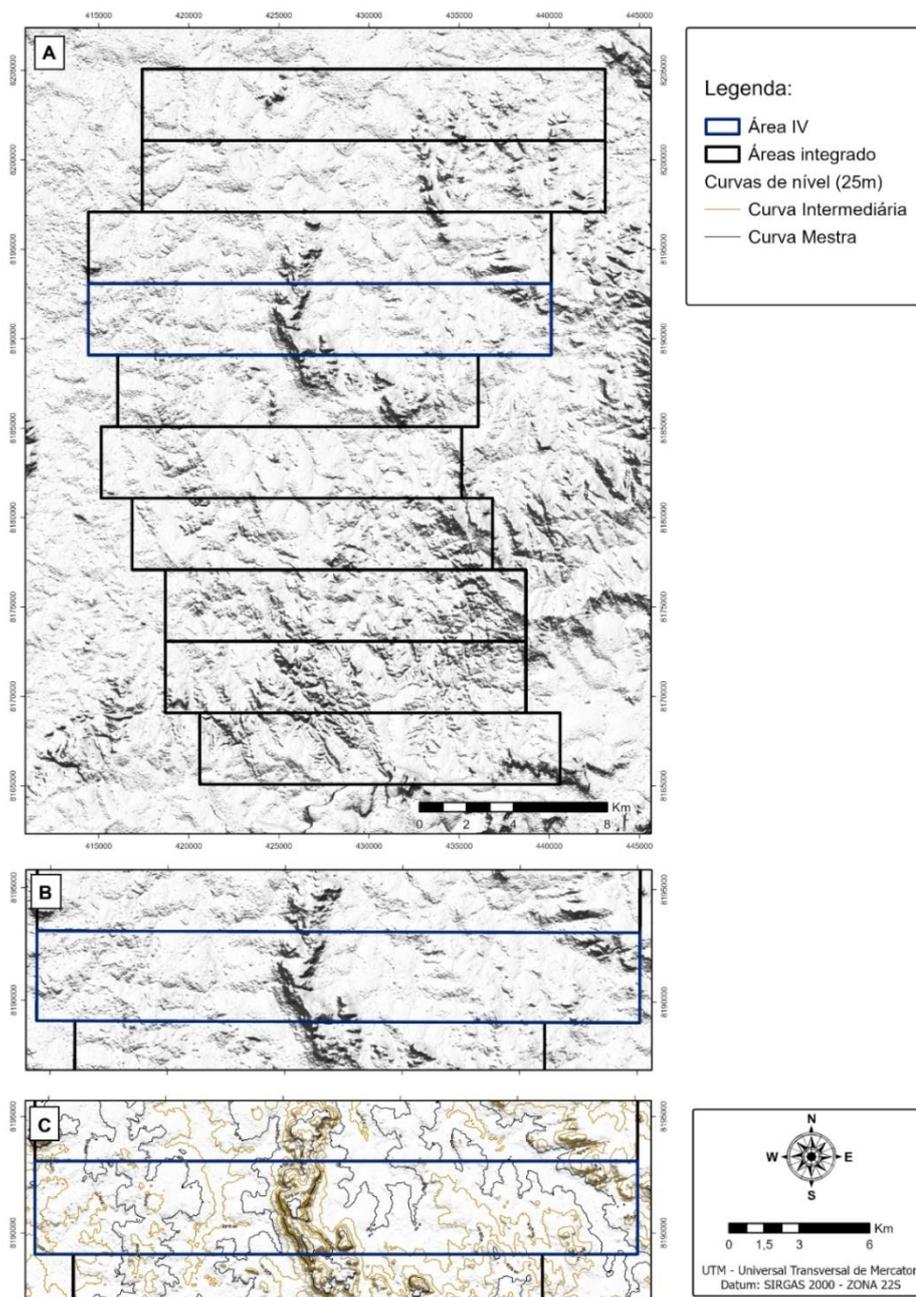
Por fim, os últimos produtos derivados do Modelo de Elevação são referentes ao relevo sombreado (*Shaded Relief*) e as curvas de nível espaçadas de 25 m. As curvas de nível (Fig. 3.10C) são uma manifestação equipotencial dos dados de elevação e foram utilizadas com maior ênfase na elaboração do mapa base para o planejamento dos caminhamentos e da

navegação na etapa de campo (Seção 3.2). Já o relevo sombreado (Fig. 3.10A e B) é um produto que condiciona a expressão da representação morfológica do terreno e é tradicionalmente utilizada em programas de mapeamento geológico como elemento base de sobreposição aos mapas finais, assim como um arcabouço que revela padrões texturais de relevo os quais são usados para realizar interpretações estruturais a partir da extração de lineamentos.



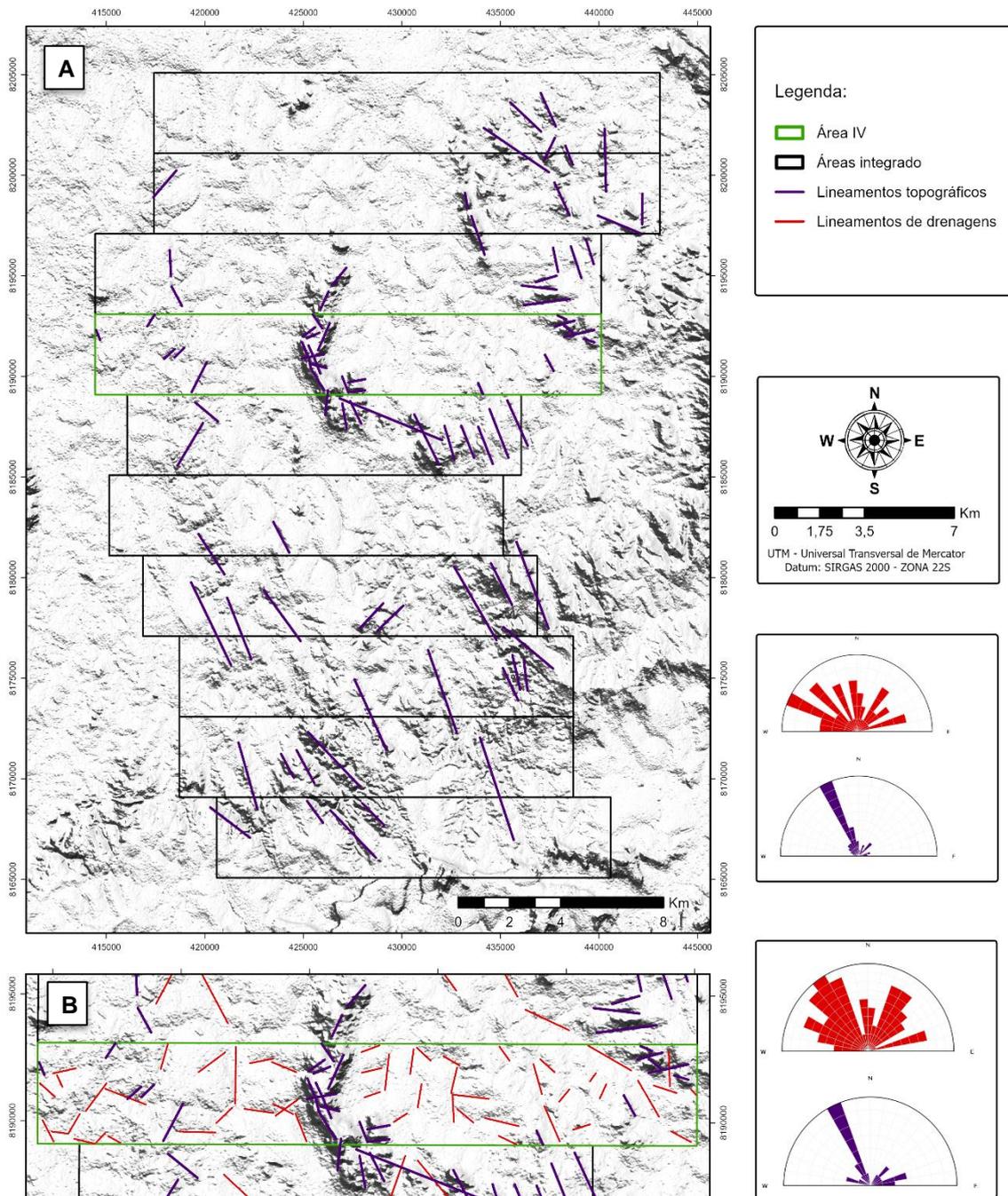
**Figura 3.9** – (A) Mapa de declividade das áreas integradas do Projeto Arenópolis. (B) Mapa de declividade em destaque a Área IV do projeto.

Ao introduzir posições azimutais apropriadas para a fonte de luz e a altura com que essa atinge a superfície, foi possível reproduzir um modelo que recriasse as condições de relevo com impressões adequadas de profundidade ao mesmo tempo aumentando o nível de detalhe e reduzindo a saturação induzida pelas sombras. Essa tarefa foi atingida ao se sobrepor diferentes camadas com direções de iluminação, altura e transparência distintas, criando uma imagem mais balanceada e fiel da expressão geomorfológica (Gantenbein, 2012).



**Figura 3.10** – (A) Mapa de relevo sombreado das áreas integradas do Projeto Arenópolis. (B) Mapa de relevo sombreado com foco na Área IV. (C) Mapa de relevo sombreado da Área IV com acréscimo das curvas de níveis.

O relevo sombreado também serviu como base para extração de lineamento estruturais baseados em expressões condicionadas pela rede de drenagem, bem como aquelas resultantes da própria manifestação de cristais orientadas do relevo. A Figura 3.11 mostra alguns dos lineamentos extraídos na área do Projeto Arenópolis, com aqueles referentes as feições de hidrografia representadas por traçados em vermelho e aquelas de feições topográficas em traçado roxo.



**Figura 3.11** – (A) Mapa de relevo sombreado com lineamentos topográficos e de drenagens das áreas integradas do Projeto Arenópolis. (B) Mapa de lineamentos em relevo sombreado com foco na Área IV.

É possível perceber que os lineamentos de origem topográfica apresentam uma distribuição coerente com a tendência estrutural regional com direções predominantemente NNW, refletindo a orientação geral da foliação principal das rochas (Fig. 12 A e B). Os lineamentos de hidrografia, já refletem um espalhamento maior, com componentes NNW, NNE e até mesmo EW.

### **3.2 Fotogeologia**

Interpretações prévias sobre as condicionantes naturais do terreno a partir de imagens de sensores remotos acrescentam diversas possibilidades ao projeto de mapeamento, como pode ser analisado na seção anterior. Dentre essas condicionantes, aquelas relacionadas os elementos geológicos constituem a base do estudo fotogeológico, que deve acompanhar as fases do mapeamento, sendo a fotografia aérea, o produto classicamente utilizado nos trabalhos de campo (Arcanjo, 2011).

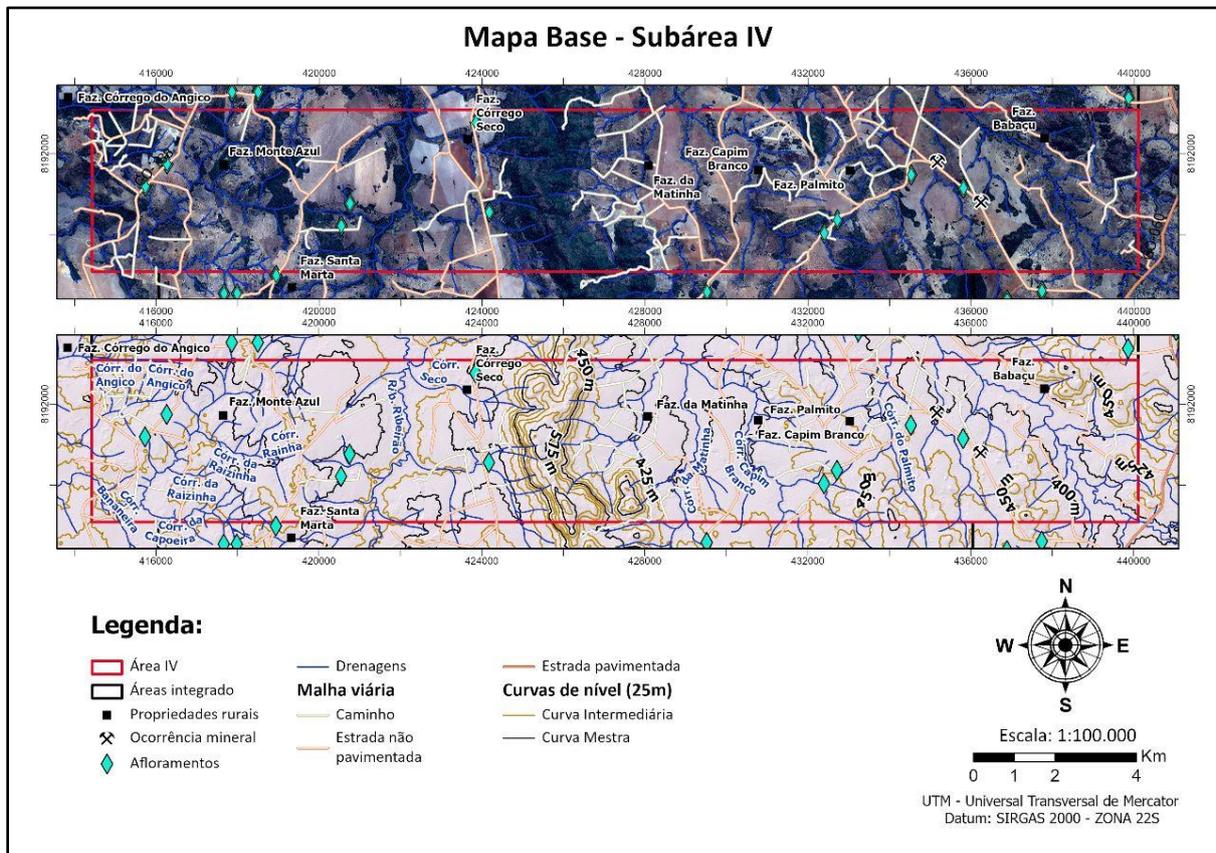
Dentre as feições a serem observados estão os padrões de drenagem, tonalidade, textura de relevo e vegetação. Essas feições, que devem ser sistematicamente observadas nas imagens, têm suas correspondências nos afloramentos. Deste modo, a interpretação é realizada com aproximação aos elementos exibidos nas imagens e um quadro prévio estimado por meio da junção de tais elementos.

Como o mapa base, expoente crucial no desenvolvimento dos trabalhos de campo, reúne informações que se relacionam com os elementos analisados na etapa fotointerpretativa, a exposição do resultado da sua elaboração também será abordada nessa seção, juntamente com aqueles das interpretações fotogeológicas. Além disso, é importante ressaltar que apesar da disponibilidade de fotografias aéreas referentes a área de estudo, optou-se por realizar essas interpretações por meio dos produtos de sensoriamento remoto, devido aos desafios de se operacionalizar digitalmente uma técnica que foi desenvolvida para ser realizada de maneira analógica.

#### **3.2.1 Produtos e interpretações**

Um dos primeiros produtos em escala de prioridade da etapa pré-campo é o mapa base (Fig. 3.12), gerado a partir da sobreposição da imagem CBERS-4A em composição natural com os dados vetoriais. Este produto é feito com o intuito de otimizar a navegação e planejamento do caminhamento em campo.

O mapa base mostra informações sobre as principais redes de drenagem, os limites das subáreas do projeto, vias de acesso, distinguidas entre aquelas pavimentadas e não pavimentadas, caminhamentos, curvas de nível (métrica e intermediárias), afloramentos, ocorrências minerais e propriedades rurais. Ambas as informações são necessárias para um planejamento efetivo do caminhamento em campo.

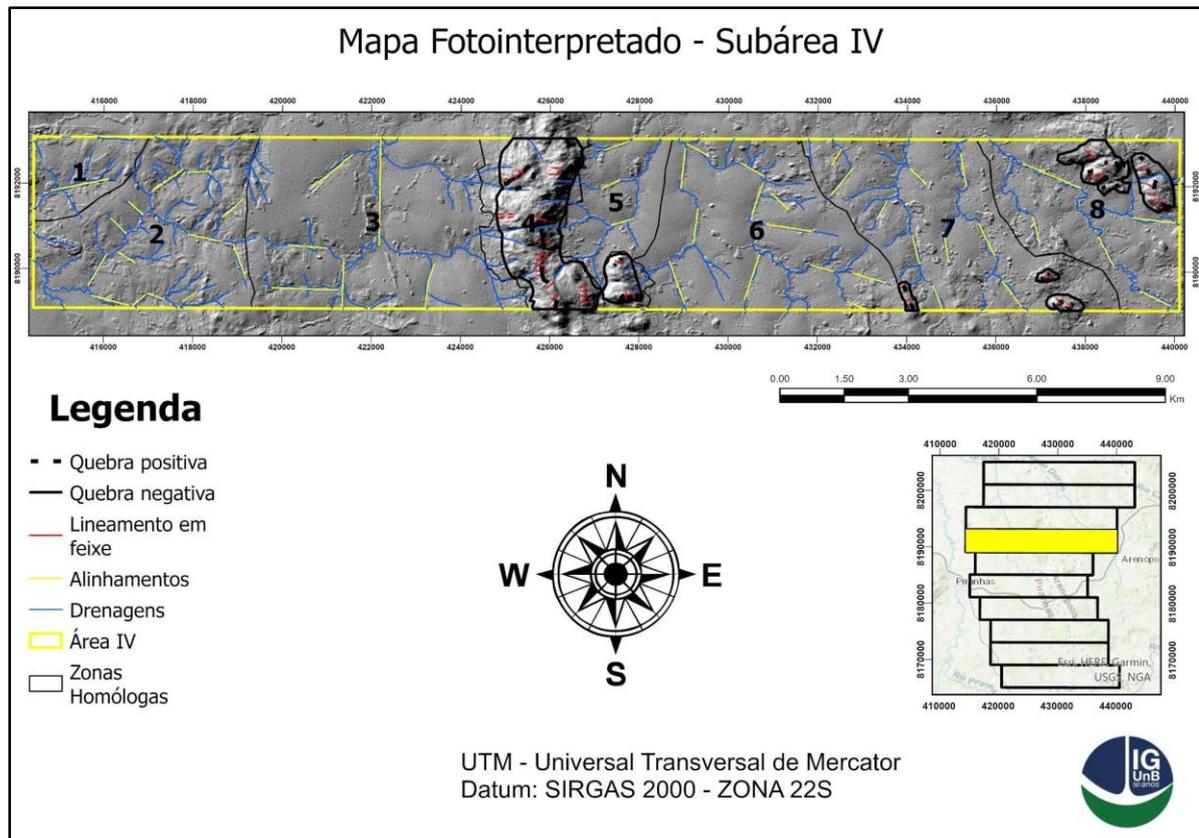


**Figura 3.12** - Mapa base simplificado da Área IV do Projeto Arenópolis (Fonte: SIEG, IBGE).

Outro produto que compõe a sistemática de análise da etapa pré-campo, importante na caracterização de feições geológicas e morfológicas é a fotointerpretação. A fotointerpretação, neste projeto, seguiu o método dedutivo ou lógico-sistemático com os conceitos básicos introduzidos por Guy (1966) e posteriormente compilados por Arcanjo (2011).

A partir da análise baseadas nesses métodos, foi possível a elaboração do mapa fotointerpretado (Fig. 3.13) e do mapa de elementos fotogeológicos (Fig. 3.14). A extração das quebras positivas e negativas, lineamentos em feixe e alinhamentos, além da definição de zonas homólogas foram realizados utilizando, também, imagem CBERS-4A em composição natural, assim como e o relevo sombreado derivado do modelo digital de elevação.

No que se refere a Área IV, foi possível extrair 8 zonas homólogas, onde cada uma foi discriminada conforme seu tipo de drenagem, relevo, densidade das drenagens e vegetação (Tabela 3.7).

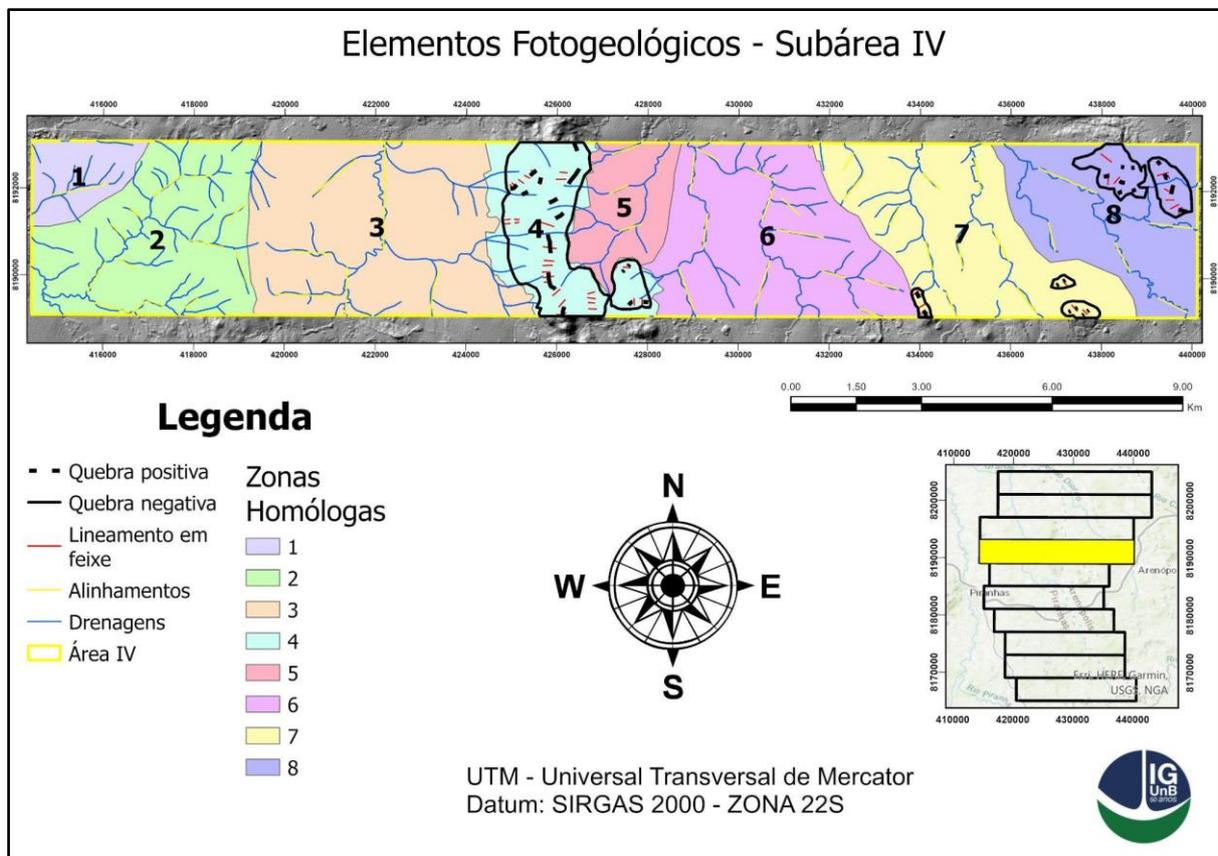


**Figura 3.13** – Mapa fotointerpretado da Área IV do Projeto Arenópolis.

Observa-se que ao longo de toda a Área IV o padrão de relevo é suave, exceto na porção central da área, onde está é cortada pela Serra do Iran. As drenagens da subárea são caracterizadas, principalmente, de dendríticas a paralelas e de média a alta densidade. E a vegetação é majoritariamente rasteira, com exceção nas margens das drenagens e ao longo da serra, que nesse caso se apresenta de forma densa.

**Tabela 3.7** – Tabela de descrição das zonas homólogas da Área IV.

Zonas homólogas	Relevo	Padrão de drenagem	Densidade de drenagem	Vegetação
1	Suave	Dendrítico	Média	Média
2	Suave ondulado	Treliça	Alta	Densa nas drenagens e rasteira nos pastos
3	Ondulado	Dendrítico	Média	Rasteira
4	Forte ondulado	Paralelo a centrípeta	Média a baixa	Densa
5	Suave ondulado	Dendrítico	Média a alta	Densa nas drenagens e rasteira no campo
6	Suave	Sem padrão específico	Alta	Rasteira a moderada nas drenagens
7	Ondulado	Paralelo	Média a alta	Rasteira a densa nas drenagens
8	Ondulado	Paralelo	Média	Densa



**Figura 3.14** – Mapa de elementos fotogeológicos da Área IV do Projeto Arenópolis.

### 3.3 Geofísica

Os levantamentos de dados por meio de métodos aerogeofísicos são caracterizados por cobrir grandes áreas em um curto período de tempo e com um custo proporcional baixo. Além disso, levantamentos mais recentes contam com alta resolução espacial, uniformidade na amostragem e baixo impacto ao meio físico. Estes métodos são essenciais em programas de mapeamento geológico, principalmente em regiões tropicais onde os processos intempéricos são intensos, resultando em mantos de alteração espessos que dificultam a identificação de afloramentos de rochas (Jacques *et al.* 1997). Em contexto similar está inserida a área do Projeto Arenópolis.

No âmbito do projeto, foram utilizados dois métodos aerogeofísicos, gamaespectrometria e magnetometria. Estes métodos subsidiam as etapas de mapeamento geológico, auxiliando na pré-identificação de unidades a partir da caracterização de domínios litoestruturais, bem como o posterior refinamento da cartografia de campo.

Os dados utilizados foram referentes ao Projeto de Levantamento Aerogeofísico do Estado de Goiás - 1ª Etapa: Arco Magmático de Arenópolis (2004), realizado pela Lasa Engenharia e Prospecções em convênio com o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e o Minitério de Minas e Energia, na região centro-oeste de Goiás (Fig. 3.15) produzindo mapas magnetométricos e gamaespectrométricos do estado de Goiás nas escalas de 1:500.000 e 1:100.000.

O projeto da Lasa contou com duas aeronaves, a PT-FZN e a PT-WOT realizando coleta de dados entre os meses de junho a novembro de 2004. O levantamento constou no recobrimento de 135.756,53 km de perfis aeromagnetométricos e aerogamaespectrométricos de alta resolução, com linhas de voo e controle espaçadas de 0,5 km e 5,0 km, respectivamente. Maiores detalhes dos parâmetros do levantamento estão resumidos na Tabela 3.8.

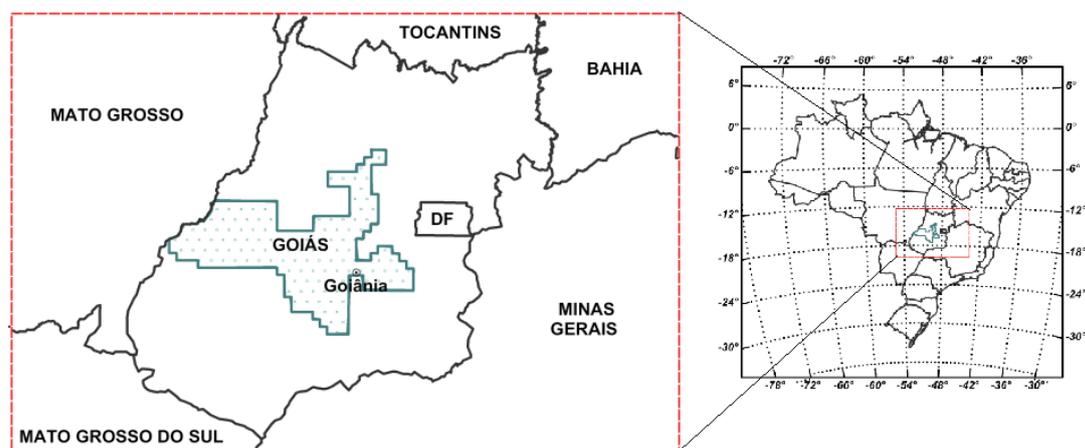


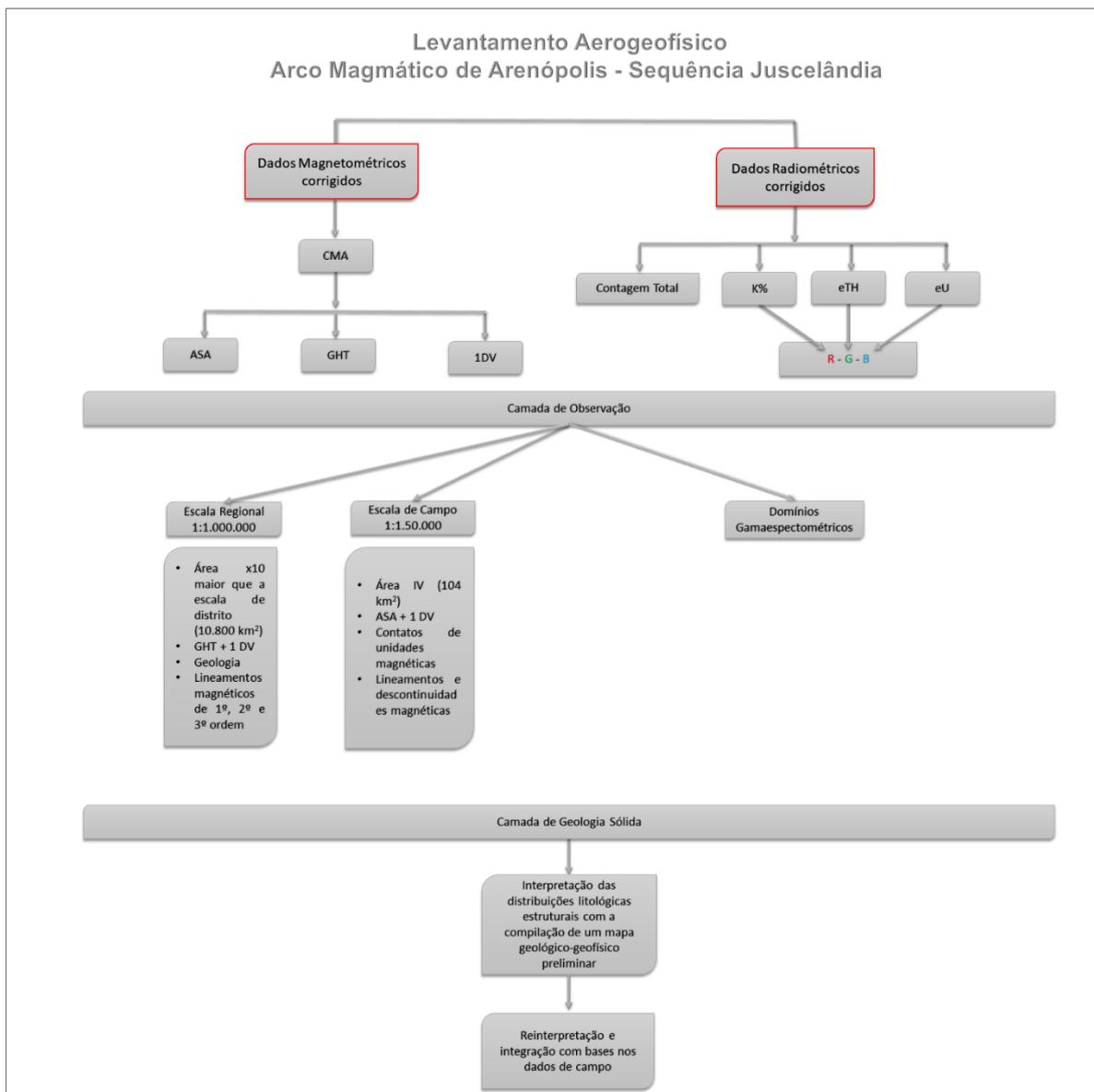
Figura 3.15 - Localização da área do projeto aerogeofísico da porção oeste do estado de Goiás (LASA, 2004).

**Tabela 3.8** – Tabela dos parâmetros do levantamento realizado pela Lasa (LASA, 2004).

LEVANTAMENTO AEROGEOFÍSICO DO ESTADO DE GOIÁS - 1ª Etapa: Arco Magmático de Arenópolis	
Área de levantamento	58.834 km <sup>2</sup>
Espaçamento das linhas de vôo	500 m
Espaçamento das linhas de controle	5,0 km
Orientação das linhas de vôo	N-S
Orientação das linhas de controle	E-W
Altura média de vôo	100 m
Intervalo entre medições	0,1 s (Magnetômetro) - 1,0 s (Espectrômetro)
Velocidade de vôo	294 km/h (Aeronave PT-FZN) - 286km/h (Aeronave PT-WOT)

Além da aquisição, o processamento dos dados brutos foi também realizado pela Lasa e envolveu um fluxo de processamento distinto para cada método. Para os dados magnéticos, a sequência de processamento fez a seguinte ordem: remoção da variação magnética diurna, correção do erro de paralaxe, nivelamento dos perfis, micronivelamento dos perfis e remoção do IGRF. Já no caso dos dados radiométricos, a sequência de processamento pode ser entendida como se segue: correção do tempo morto, aplicação de filtragem, correção do erro de paralaxe, cálculo da altura efetiva de voo, remoção e cálculo de *backgrounds*, estimativa dos coeficientes *Skyshine*, correção do Efeito Compton, correção altimétrica, conversão para a concentração de elementos e determinação das razões eU/eTh, eU/K e eTh/K (LASA, 2004).

Os resultados dos processamentos referidos foram disponibilizados nos formatos XYZ, os quais foram adquiridos no âmbito do Projeto Arenópolis para a geração dos *grids* e de produtos específicos em ambiente Geosoft Oasis Montaj 2021.2.1, realizada no Laboratório de Sensoriamento Remoto e Análise Espacial (LASRAE) - IG/UnB. Os passos para obtenção dos produtos derivados dos dados aerogeofísicos corrigidos, assim como os esquemas de utilização destes, podem ser ilustrados no fluxograma da Figura 3.16.



**Figura 3.16** - Fluxograma de processamento dos produtos aerogeofísicos no âmbito do Projeto Arenópolis.

### 3.3.1 Gamaespectrometria

O método gamaespectrométrico é baseado na detecção da radiação gama advinda do decaimento natural de isótopos radioativos. A maioria dos elementos radioativos são pouco abundantes na natureza ou apresentam uma fraca emissão de raios gama. No entanto, alguns elementos como o  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$  e  $^{238}\text{U}$  possuem meia-vidas suficientemente longas para que os seus produtos de decaimento se mantenham relativamente abundantes (Dendith & Mudge, 2014).

O potássio (K) é um elemento volumetricamente importante na crosta terrestre, representando cerca de 2,32 % de sua composição (Ferreira *et al.*, 2016). Dentre os seus

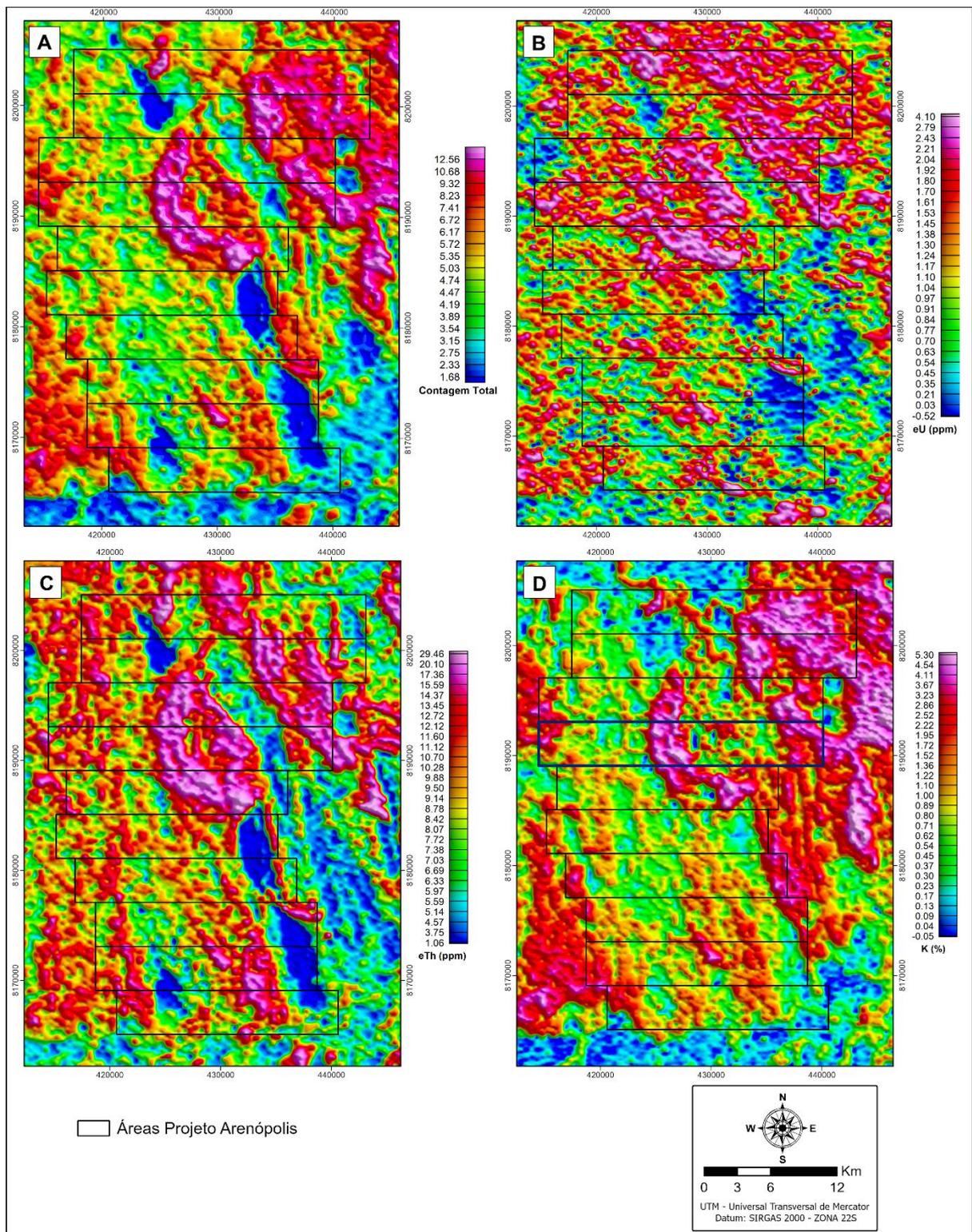
isótopos, apenas o  $^{40}\text{K}$  é radiotivo e compõe cerca de 0,01% do potássio presente nos ambientes naturais. Nos ambientes geológicos, está concentrado, principalmente, em rochas ígneas félsicas, rochas sedimentares, em geral pelíticas, especialmente nas estruturas de minerais micáceos, feldspatos alcalinos e argilominerais. Além disso, o K possui alta mobilidade, sendo facilmente lixiviado da estrutura dos minerais primários e adsorvido por argilominerais produtos de alteração (Dendith & Mudge, 2014).

O urânio (U) e o tório (Th) são elementos poucos abundantes na crosta terrestre e entram dentro da estrutural cristalina de alguns minerais como monazita, alanita, apatita, zircão, xenotima, uraninita e entre outros. São elementos imóveis, ao contrário do potássio, e não emitem, por si só, radiação gama. Desta forma, os registros são feitos por meio dos isótopos derivados do decaimento do Bismuto ( $^{214}\text{Bi}$ ) e Tório ( $^{208}\text{Tl}$ ) (Dendith & Mudge, 2014).

Pelo fato de o potássio ser um elemento bastante móvel, ou seja, se concentra facilmente nos produtos de lixiviação, a interpretação dos dados gamaespectrométricos deve levar em conta que áreas com concentrações anômalas, pode refletir regiões condicionadas por alta mobilidade de fluídos. Tal fator torna o potássio um bom indicador para identificação de canais de drenagem, bem como para o entendimento das condições intempéricas e hidrotermais da região de análise. Já as concentrações dos elementos urânio e tório, podem indicar características primárias da rocha.

Os dados gamaespectrométricos, assim como os provenientes de sensores orbitais multiespectrais, propiciam informações sobre respostas essencialmente superficiais, portanto, podem apresentar uma mistura de assinaturas de solos, rocha, vegetação e água. São originalmente medidos, no espectrômetro, em unidades de contagens por segundo e posteriormente calibrados para concentrações de K (%), U e Th (ppm). Para tanto, o número total de contagens dos três radioelementos são medidos em um único canal, o canal de Contagem Total (CT), bem como em canais individuais que discretizam as janelas de energia do Potássio (K), equivalente de Tório (eTh) e Urânio (eU) (Dendith & Mudge, 2014). Além disso, estes canais individuais podem ser combinados em uma relação ternária R-G-B (K-eTh-eU) gerando mapas com maiores contrastes das distribuições das concentrações dos elementos e, assim, propiciando bons guias para a delimitação de unidades litológicas (Dendith & Mudge, 2014).

A Figura 3.16 ilustra o fluxograma com a relação dos produtos radiométricos utilizados (Fig. 3.18A-D). A estruturação do planejamento de análise para os produtos radiométricos foi pensado para uma consonância com aquela dos produtos magnetométricos, cuja metodologia adotada foi adaptada de Isles & Rakin (2013).



**Figura 3.17** – Produtos radiométricos em RGB das áreas integradas do Projeto Arenópolis. (A) Mapa de contagem total em ppm. (B) Mapa de equivalente de urânio em ppm. (C) Mapa de equivalente de tório em ppm. (D) Mapa de porcentagem de potássio.

O dado de contagem total foi utilizado para produzir um mapa indicativo das intensidades relativas, permitindo identificar regiões com altos e baixos teores de radioelementos, bem como as situações transitórias. Já os canais individuais permitiram a

elaboração de um mapa ternário RGB no qual relações interpretativas com base na delimitação de domínios foi realizada. A delimitação destes domínios compôs a etapa ou a Camada de Observação e são úteis para a integração com os dados magnetométricos, na camada de Geologia Sólida, com a posterior tentativa de compatibilização entre os litotipos cartografados em campo pela extrapolação para regiões as quais a obtenção de informação, de alguma forma não tenha sido possível ou mesmo para a compreensão de algum padrão da distribuição dos dados de campo.

### 3.3.2. Magnetometria

A magnetometria é um método geofísico potencial que consiste na investigação da distribuição dos materiais em subsuperfície por meio da medição da intensidade do campo magnético local da terra. Tais medidas são uma combinação do campo produzido no núcleo do planeta, mais precisamente do *International Geomagnetic Reference Field* (IGRF), e do campo induzido que este causa nas rochas crustais. O produto básico proveniente dos levantamentos aeromagnéticos é a diferença entre o campo medido localmente e o IGRF, conhecido como *Total Magnetic Intensity* (TMI) ou Campo Magnético Anômalo (CMA).

A manifestação da influência do campo magnético nos materiais crustais pode ser compreendida a partir da origem geográfica da magnetização por eles adquirida e pelos processos geológicos que controlam a sua susceptibilidade magnética. Deste modo, o caráter magnético das rochas é determinado por fatores como a composição química, o conteúdo Fe presente nas estruturas cristalinas dos minerais, tipos de magnetização como a induzida e a remanescente e a intensidade e orientação do campo externo indutor (Dendith & Mudge 2014).

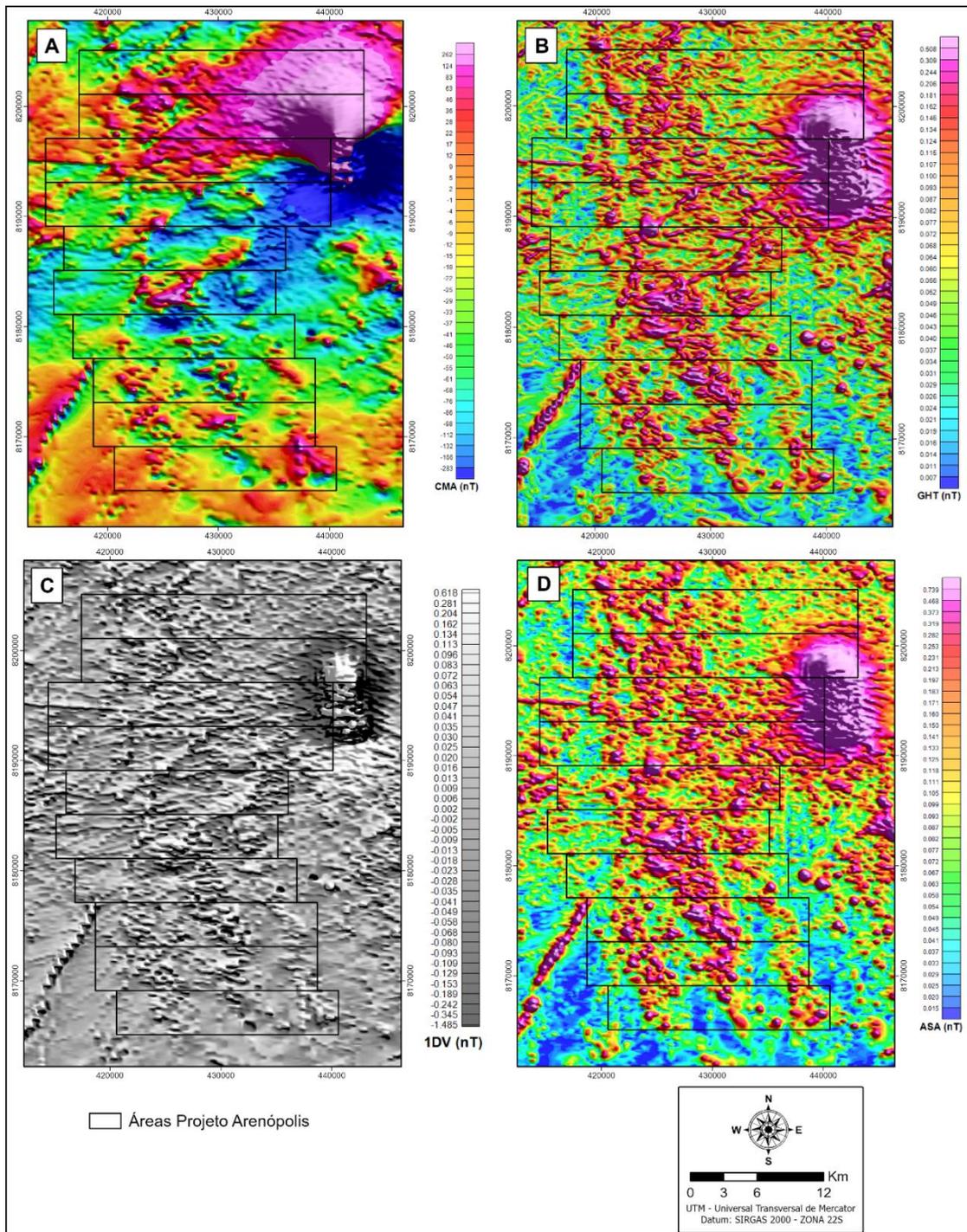
A ideia de que específicos grupos de rochas possuem também específicos valores de susceptibilidade permitindo, assim, uma correlação direta com unidades litológicas, pode ser encarada como uma simplificação que pode acarretar más interpretações. Isso se deve ao fato de que a maioria dos grupos litológicos podem conter variadas proporções de minerais magnéticos e que a presença destes são função da composição primária e dos eventos geológicos aos quais as rochas foram submetidas (Isles & Rankin, 2013). Deste modo, no que se refere aos fatores condicionados por processos geológicos, a subdivisão destes em grupos se torna interessante para o melhor direcionamento das interpretações dos dados aeromagnéticos em programas de mapeamento, visto a ampla variedade de contextos geológicos. Assim, pode-se tratar como processos primários aqueles relacionados, por exemplo, a formação de rochas

ígneas e sedimentares, além de processos secundários, sendo aqueles relacionados a superimposição por eventos diagenéticos, metamórficos, metassomáticos e deformacionais.

Visto que os processos secundários costumam prevalecer sobre os primários no que se refere ao impacto na susceptibilidade magnética, bem como mantendo em mente o contexto geológico do Projeto Arenópolis, o qual apresenta rochas que foram submetidas a um metamorfismo regional de médio a alto grau, além da intensa deformação resultante de uma história tectônica complexa envolvendo ambientes acrescionários e colisionais, a análise e interpretação dos dados (Fig. 3.16) foram preferencialmente voltadas para aspectos estruturais. Tal abordagem mais unidirecional se deu pelo intuito de assinalar os principais lineamentos magnéticos, os tipos de relevo e textura magnética associados as amplitudes dos sinais. Deste modo, as análises tiveram como foco a identificação das principais zonas de cisalhamento e as estruturas a elas associadas, permitindo uma complementação mais específica do método gamespectrométrico e dos dados de campo, de modo a melhor estabelecer as distribuições das unidades e os seus limites.

A Figura 3.18 ilustra os produtos magnetométricos utilizados na presente abordagem, a qual estão presentes os dados de campo magnético anômalo (CMA ou TMI), além de três produtos dele oriundos, como a amplitude do sinal analítico (ASA), primeira derivada vertical (1DV) e o Gradiente Total Horizontal (GHT).

O método de análise e interpretação dos dados foi adaptado dos estágios de observações de Isles & Rankim (2013) (Fig. 3.16), no qual foram elaborados produtos a partir de duas camadas de observações, cada uma com escalas de análises distintas com específicas associações de dados e objetivos. Esta foi seguida de uma camada de “Geologia Sólida” a qual os produtos interpretados na camada de observação são cruzados e integrados com mapas pré-existentes e com os dados de campo.



**Figura 3.18** – Produtos magnetométricos das áreas integradas do Projeto Arenópolis. (A) Mapa do campo magnético anômalo (CMA). (B) Mapa de gradiente total horizontal (GHT). (C) Mapa da primeira vertical (1DV). (D) Mapa da amplitude do sinal analítico (ASA).

### 3.3.3 Produtos e Interpretações

Os produtos aerogeofísicos referentes aos dados radiométricos e magnéticos aqui apresentados compuseram, na etapa ou Camada de Observação, a base das interpretações prévias referentes às possíveis distribuições das litologias, bem como as principais feições do

arcabouço estrutural que condicionam tais distribuições. As interpretações foram sintetizadas na camada de Geologia Sólida, culminando com a elaboração de uma mapa geológico-geofísico prévio (Fig. 1.2) e a posterior reinterpretação com base nos dados coletados em campo. O produto final deste fluxo refere-se ao mapa geológico final do Projeto Arenópolis.

Para delimitação dos domínios gamaespectométricos foi utilizado, essencialmente, o mapa de composição ternária RBG (Fig. 3.19). Este mapa foi elaborado por meio da combinação dos canais individuais, com atribuição de cores para cada radioelemento. Neste caso, para composição ternária RGB, o Potássio (K) é designado ao canal vermelho, enquanto os canais verde e azul correspondem ao Tório (eTh) e ao Urânio (eU), respectivamente. O branco é a representação de altas concentrações dos três canais, em contraponto ao preto que é resultado de baixos teores.

A partir dos contrastes gerados por diferentes combinações de concentrações dos três radioelementos, foi possível realizar a delimitação dos domínios baseados nos teores relativos que, por sua vez, correspondem a assinaturas similares. Deste modo, no modelo integrado (Fig. 3.19), foi possível realizar um agrupamento de 15 domínios gamaespectométricos.

Ao comparar tais agrupamentos como o conhecimento geológico prévio da região, é possível fazer uma correlação com as unidades conhecidas. Por exemplo, por meio do mapa de Contagem Total (3.18A) percebe-se que as unidades predominantemente félsicas, como os granitos tardi a pós-tectônicos, possuem os mais altos teores de radioelementos gerando alto contraste com as unidades gnáissicas adjacentes. No mapa ternário (Fig. 3.19), tal relação também é evidente, uma vez que as unidades graníticas se realçam por domínios de coloração branca. Além disso, é nítido que o Granito Rio Caiapó, com suas tonalidades mais roseadas possuem teores mais baixos de Tório do que o Granito Serra do Iran que, por sua vez, aparenta conter teores equilibrados dos três radioelementos. Outra unidade granítica com teores contrastantes, é a Unidade Água Limpa que mostra colorações avermelhadas, indicando que os granitos a ela pertencentes seriam granitos mais enriquecidos em K.

Outras unidades facilmente correlacionáveis com os padrões radiométricos, são aqueles referentes ao Gnaisse Arenópolis e a Unidade Córrego da Onça. O primeiro possui altos conteúdos de K, uma vez que são hornblenda-biotita gnaises de composição tonalítica, resultando em anomalias positivas no mapa de Contagem Total e domínios avermelhados de alto contraste no mapa ternário. O segundo apresenta uma anomalia de menor intensidade no mapa de Contagem Total e colorações escuras no seu domínio no mapa ternário, indicando baixos teores de radioelementos e uma composição mais máfica.

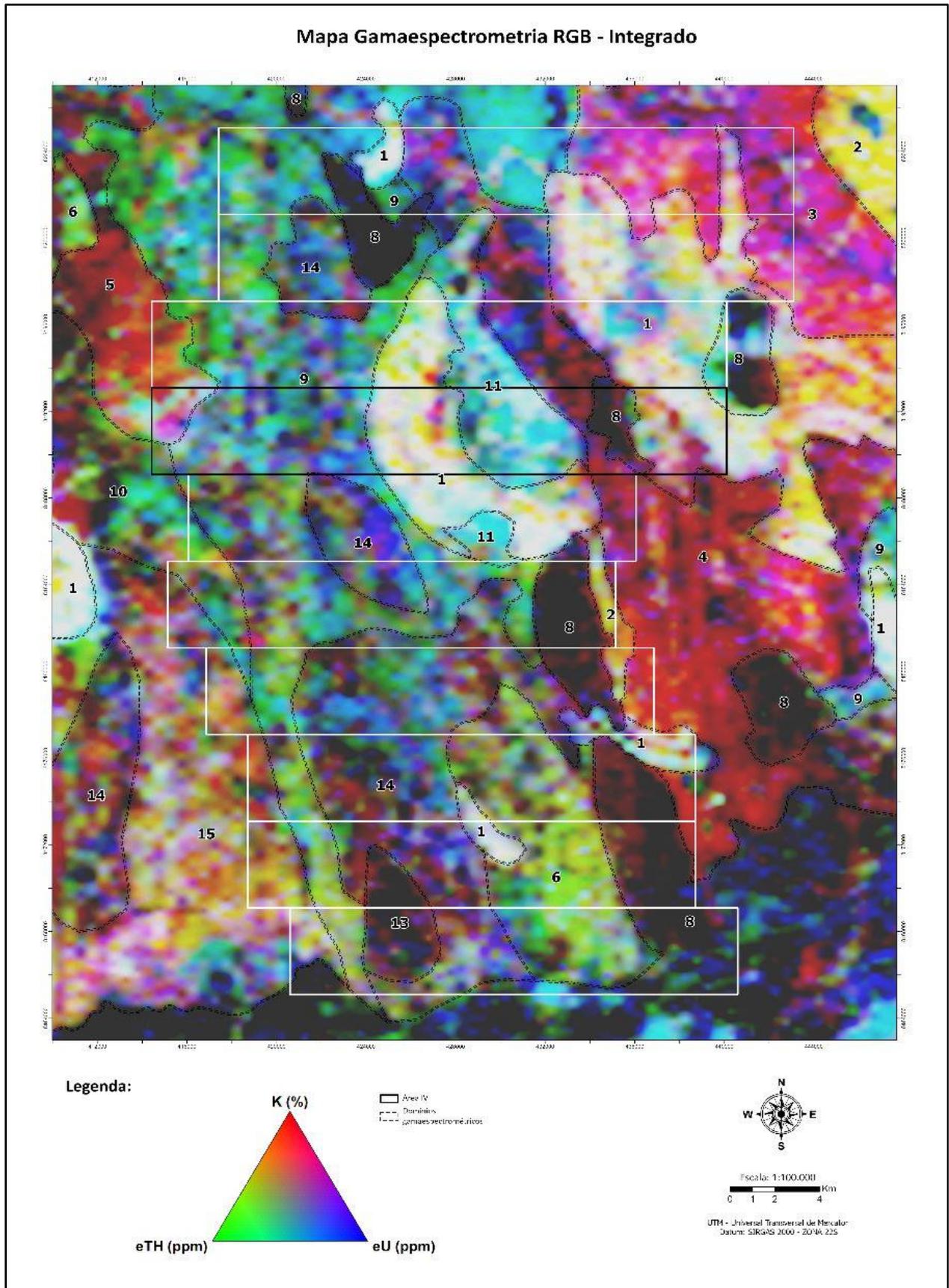
No caso da Sequência Metavulcanossedimentar de Arenópolis, é possível notar que as suas rochas apresentam teores intermediários de radioelementos (Fig. 3.18A) e que os padrões tonais no mapa ternário apontam variantes nos três extremos, verde, vermelho e azulado. Esta maior dispersão composicional, provavelmente se deve a ampla gama litológica que caracteriza a sequência, com a presença de metassedimentos, rochas metaultramáficas e metáficas, bem como aquelas de composição carbonática. Além disso, pequenas anomalias positivas de K (Fig. 3.19D) e subdomínios de tonalidade avermelhada, podem indicar processos de alteração hidrotermal, resultante de fluidos enriquecidos em tal elemento afetando as rochas desta unidade.

Por meio do mapa ternário, também é possível analisar a presença de uma significativa presença de regiões com tonalidades ciano, principalmente incidentes nas rochas da sequência metavulcanossedimentar, bem como no centro do granito Serra do Iran. Tal assinatura é aqui interpretada através da correspondência com coberturas detrito-lateríticas que precipitam elementos menos móveis, durante o intemperismo, como o Th e o U na forma de óxidos, hidróxidos e argilominerais.

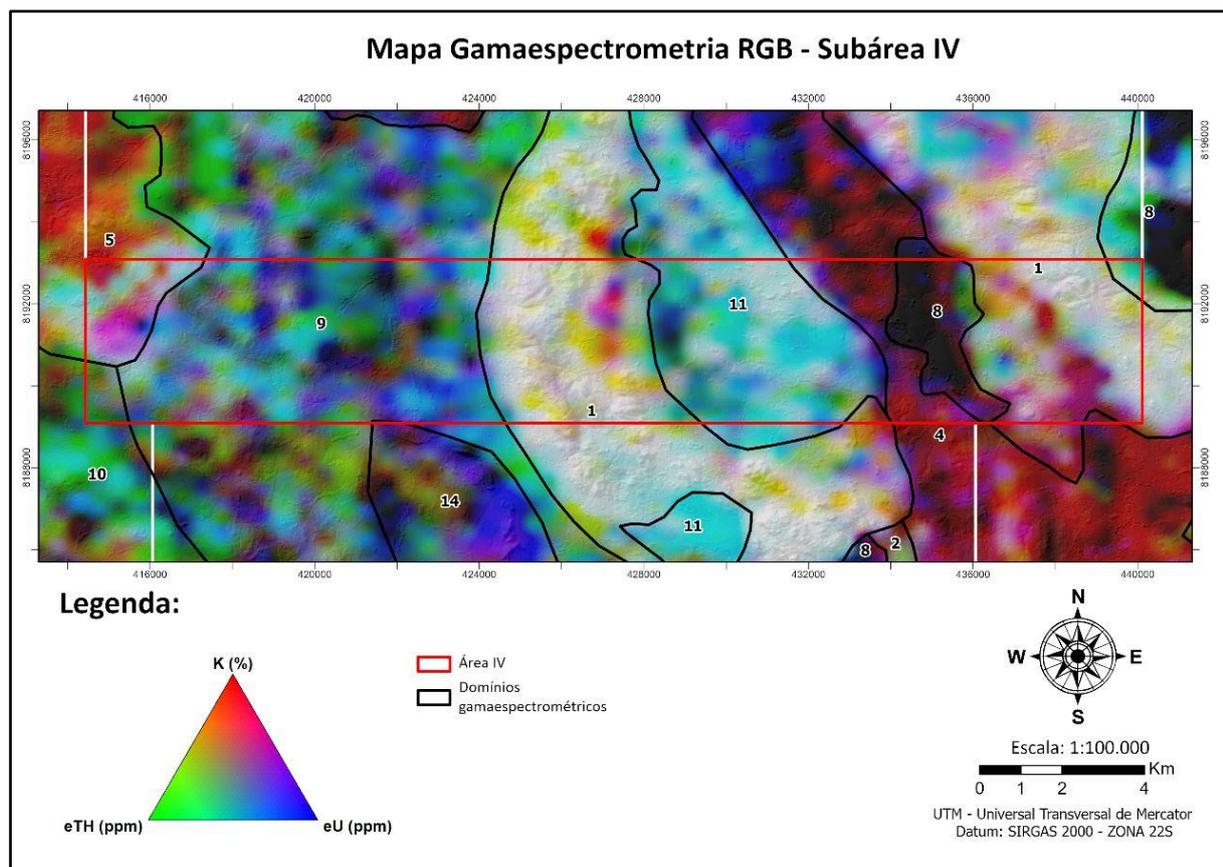
No que se refere à Área IV, foram analisados, em maior detalhe, 7 dos 15 domínios da análise integrada (Fig. 3.20). A Tabela 3.9 detalha as principais características dos domínios gamaespectrométricos delimitados na presente área, incluindo a proporção qualitativa dos radioelementos e sua descrição, com a colocação de parâmetros como tonalidade, geometria e homogeneidade dos domínios.

De forma sintetizada, o contexto da Área IV seria dominado por rochas metassedimentares e metamáficas, recobertas por mantos de intemperismos, referente ao domínio 9. Rochas graníticas com altos teores de radioelementos no domínio 1 e mais enriquecidas em K no domínio 5, bem como como uma faixa estreita com alto teor de K representando rochas gnáissicas de composição tonalítica no domínio 4.

Em conformidade com o que foi posto anteriormente, os dados magnetométricos foram aqui aplicados com o foco de inspecionar o arcabouço estrutural de forma a complementar os dados radiométricos. Para tal, a abordagem utilizada foi baseada em um progressivo avanço de escalas de observação, indo de uma escala regional a uma escala de campo, compondo uma espécie de funil de observações (Fig. 3.16). Deste modo, a partir de tal progressão, foi possível analisar diferentes perspectivas e detalhes ocultos em escalas inapropriadas, propiciando mudanças e refinamentos de interpretações.



**Figura 3.19** – Mapa de domínios gamaespectrométrico RGB das áreas integradas do Projeto Arenópolis.



**Figura 3.20** – Mapa de domínios gamaespectrométrico RGB da Área IV.

**Tabela 3.9** - Descrição dos domínios gamaespectrométricos da Área IV.

Domínio	K	eTh	eU	Tonalidade	Homogeneidade
1	Alto	Alto	Alto	Branco	Heterogêneo
4	Alto	Baixo	Moderado	Magenta	Heterogêneo
5	Alto	Moderado	Baixo	Vermelho	Heterogêneo
8	Baixo	Baixo	Baixo	Preto	Homogêneo
9	Baixo	Moderado	Alto	Ciano	Heterogêneo
11	Baixo	Moderado	Alto	Ciano	Homogêneo

Como apontado por Isles & Rankin (2013), as assinaturas magnéticas de estruturas de cisalhamento e falhas não apresentam, a depender dos casos, uma relação biunívoca devido as variáveis respostas magnéticas dependentes de fatores como a própria característica magnética intrínseca dos tipos litológicos, mergulhos, graus metamórficos, metassomatismo e intemperismo. Decorrente disso, as assinaturas das estruturas nem sempre apresentarão padrões

definidos de altos ou baixos magnéticos, mas podem ser inferidas por meio de seus efeitos de deslocamentos, terminações, quebras e descontinuidades.

Tendo esses fatores em mente, diferentes combinações de produtos foram utilizadas em cada etapa da camada de observações, com intuito de explorar as possíveis assinaturas magnéticas e seus padrões de interferência em múltiplos níveis de processamento. Deste modo, a escala regional (1:1.000.000) recobriu uma área de cerca de 10.800 km<sup>2</sup>, correspondendo a 10 vezes a área do Projeto Arenópolis, com o foco na identificação de lineamentos magnéticos de 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> ordens, por meio da utilização da sobreposição da primeira derivada vertical do campo anômalo (1DV) e do gradiente total horizontal (GHT). A escala de campo (1:50.000), corresponde à Área IV do Projeto Arenópolis (~104 km<sup>2</sup>), a qual os lineamentos e as unidades magnéticas foram refinados com o objetivo de criar um panorama estrutural para tal área do projeto. Para esta escala de maior detalhe, foi utilizada uma sobreposição da primeira derivada vertical (1DV) com a amplitude do sinal analítico (ASA).

Gradientes e derivadas são uma espécie de filtros de alta-frequência que buscam reter respostas de altas frequências em detrimento daquelas de baixas frequências. Deste modo, os componentes referentes as repostas mais rasas em subsuperfícies são ressaltadas, tornando este tipo de processamento útil em capturar um panorama da estrutura geológica superficial. Assim, de um modo sintetizado, a primeira derivada do campo magnético anômalo especifica anomalias mais estreitas que representam com maior fidelidade as espessuras dos corpos causando a assinatura magnética. De forma similar, o gradiente total horizontal do campo anômalo pode ser encarado como um detector de bordas e é eficaz em assinalar limites de estruturas, principalmente em casos que o mergulho destas são verticais a subverticais (Dendith & Mudge 2014).

Com base em tais premissas, a união da primeira derivada com o gradiente total foi utilizada como a ferramenta de análise do panorama regional, como pode ser visto pela Figura 3.22A. Neste caso, percebe-se como as bordas dos principais corpos alcalinos intrusivos da Suíte Alcalina de Iporá e suas ramificações são claramente contrastadas. Além disso, diversos lineamentos magnéticos correspondentes a possíveis estruturas de 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> são facilmente evidenciados e os seus padrões de correlação e ramificações podem ser assinalados (Fig. 3.21B).

As estruturas identificadas na como (1) na Figura 3.21B são expressões do Lineamento Transbrasiliano, um complexo sistemas de falhas transcorrentes de direção predominante N30E, resultante das etapas finais de convergência continental do Ciclo Brasileiro (Pimentel, 1999), representando assim, uma extensa zona de sutura. É possível perceber que existem

estruturas de primeira ordem ligadas a este expressivo lineamento que incidem diretamente na área do Projeto Arenópolis. No entanto, as estruturas predominantes na área, são ramificações com padrão entrelaçado, sigmoidais e curvilíneas de direção geral NNW aqui interpretados como zonas de cisalhamentos referentes a uma estruturação de 2ª ordem em relação ao Lineamento Transbrasiliano e, portanto, possivelmente correlacionáveis as etapas colisionais da evolução tectônica do final do Ciclo Brasileiro.

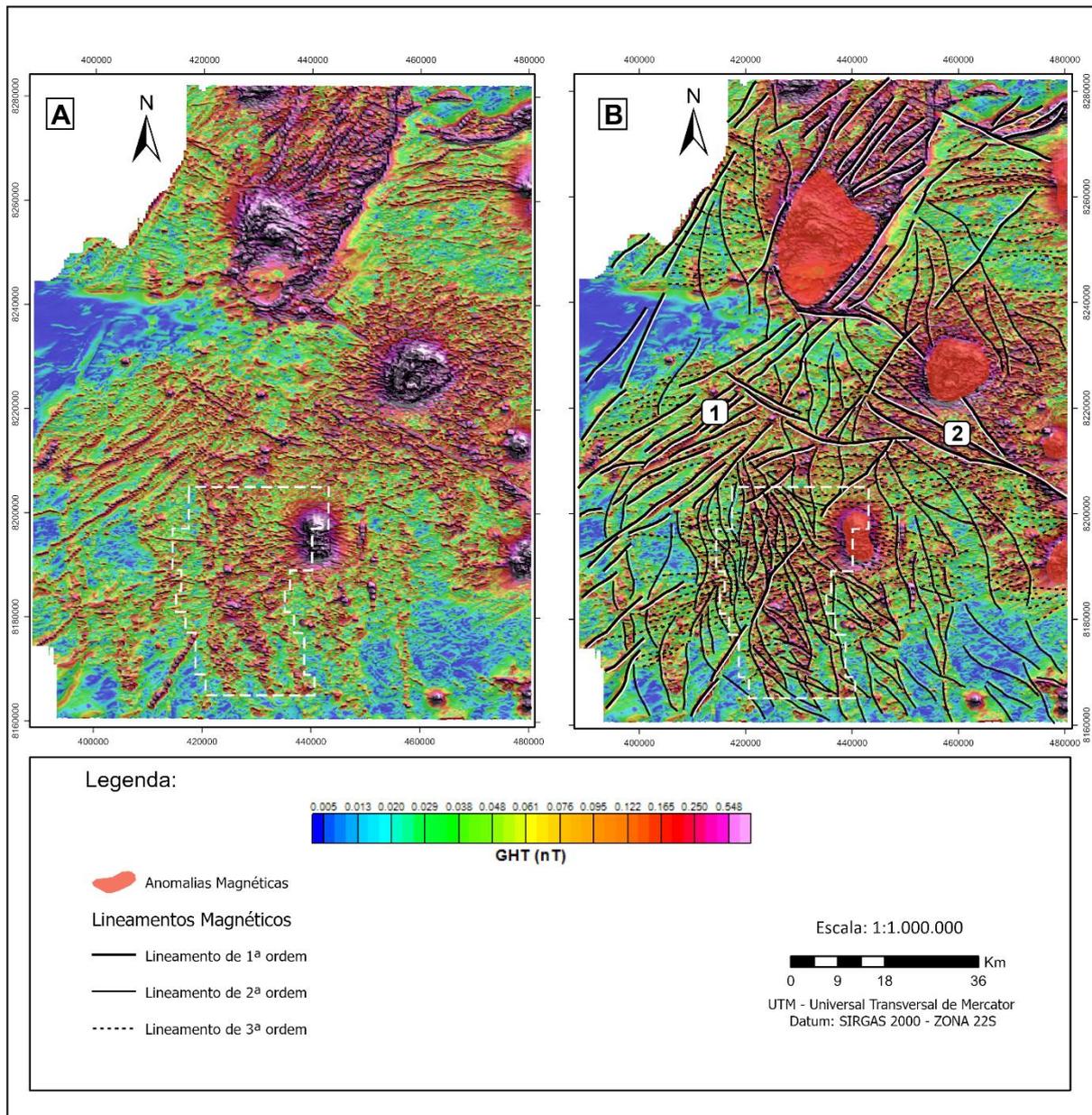
De modo similar, as estruturas identificadas como (2) na Figura 3.21B podem ser atribuídas também uma primeira ordem de magnitude devido a sua grande expressão magnética e sua extensão regional. Tal estruturação possui direção geral WNW e apresenta uma relação de incisão ao Lineamento Transbrasiliano. Essas observações permitem correlacionar estas estruturas ao Lineamento Azimute 125° (Lacerda Filho *et al.*, 2021), uma expressão rúptil tardia, possivelmente ligada a uma tectônica de escape lateral. Ademais, ramificações de 3ª ordem e de direção ENE a E-W, assinaladas pelas linhas pontilhadas na Figura 3.21B, aparentam interligar as estruturas de 1ª ordem, podendo representar diques e sistemas de fraturas de cisalhamento.

Por fim, os padrões revelados na escala de campo permitiram análises mais refinadas e, ao mesmo tempo, deixando em aberto os aspectos das escalas anteriores de observação. Com o intuito de atingir esta abordagem foram utilizados a amplitude do sinal analítico (ASA) e a primeira derivada vertical do campo magnético anômalo (1DV).

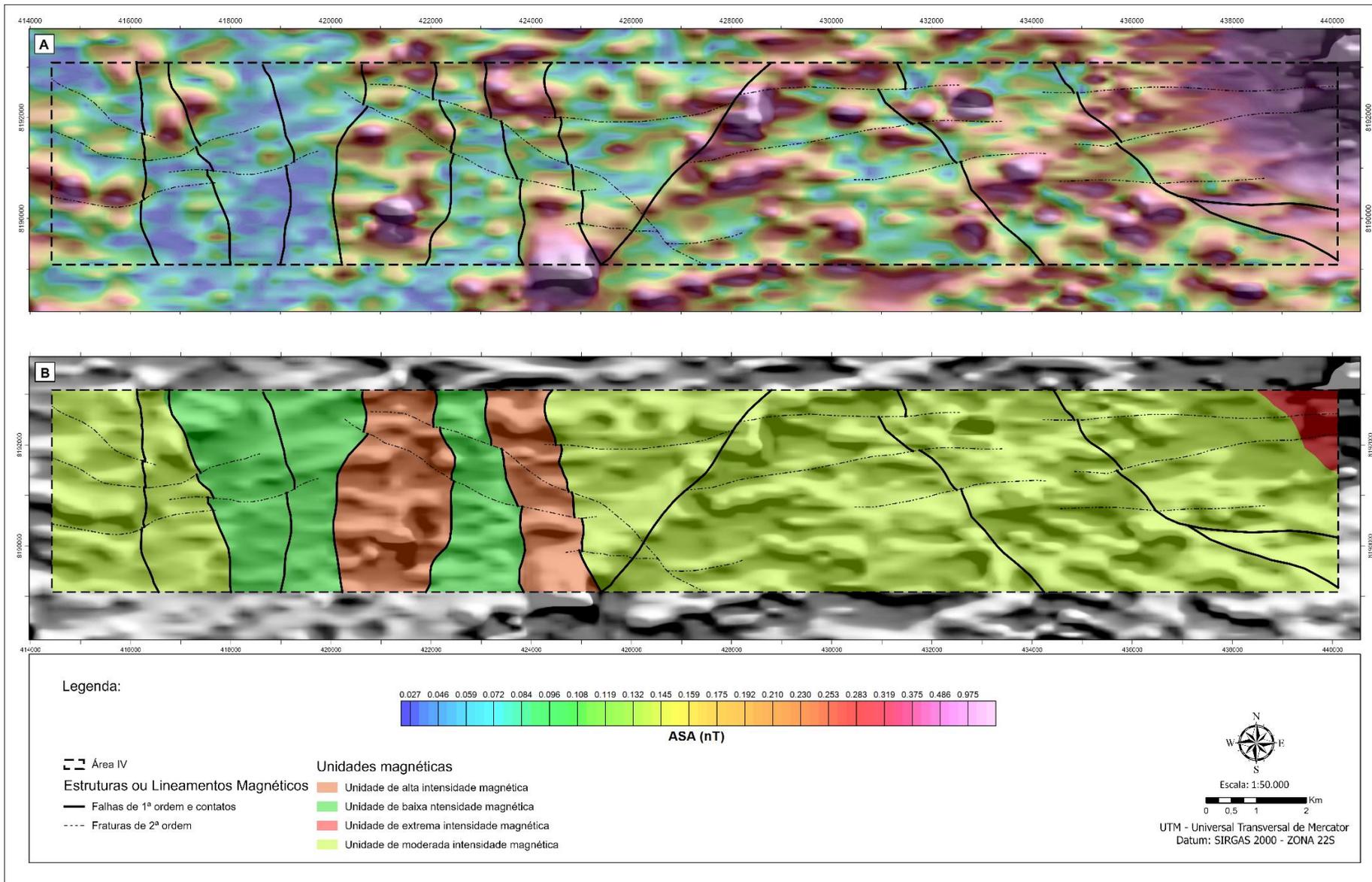
O sinal analítico é uma transformação alternativa a outras que simplificam as assinaturas das anomalias dipolares como a redução ao polo (RTP), principalmente em regiões de baixa inclinação magnética onde a robustez do RTP pode ser questionada. Além disso, o ASA rastreia, de forma mais concisa, o foco das bordas mais rasas independentemente da orientação da magnetização da fonte (Isles & Rankin, 2013). Desta forma, o sinal analítico constitui uma ferramenta para identificação de bordas dos corpos magnéticos mesmo na presença de magnetização remanescente, o que o torna eficaz para a comparação com as análises dos outros produtos que não permitem excluir a hipótese das respostas remanescentes.

A Figura 3.22A demonstra como o sinal analítico unido à primeira derivada vertical, revela aspectos mais bem resolvidos das anomalias sem a presença do forte caráter dipolar do campo anômalo. Além disso, inúmeros padrões de deslocamentos de direção E-W das anomalias são observados de forma mais clara, indicando a sobreposição de eventos rúpteis mais recentes. A delimitação das unidades magnéticas também se torna mais confiável, inclusive, revelando um bom contraste nas bordas, permitindo estimar com maior clareza as

presenças das estruturas de maior ordem que, neste caso, apresentam direções N-S, NNW e NE.



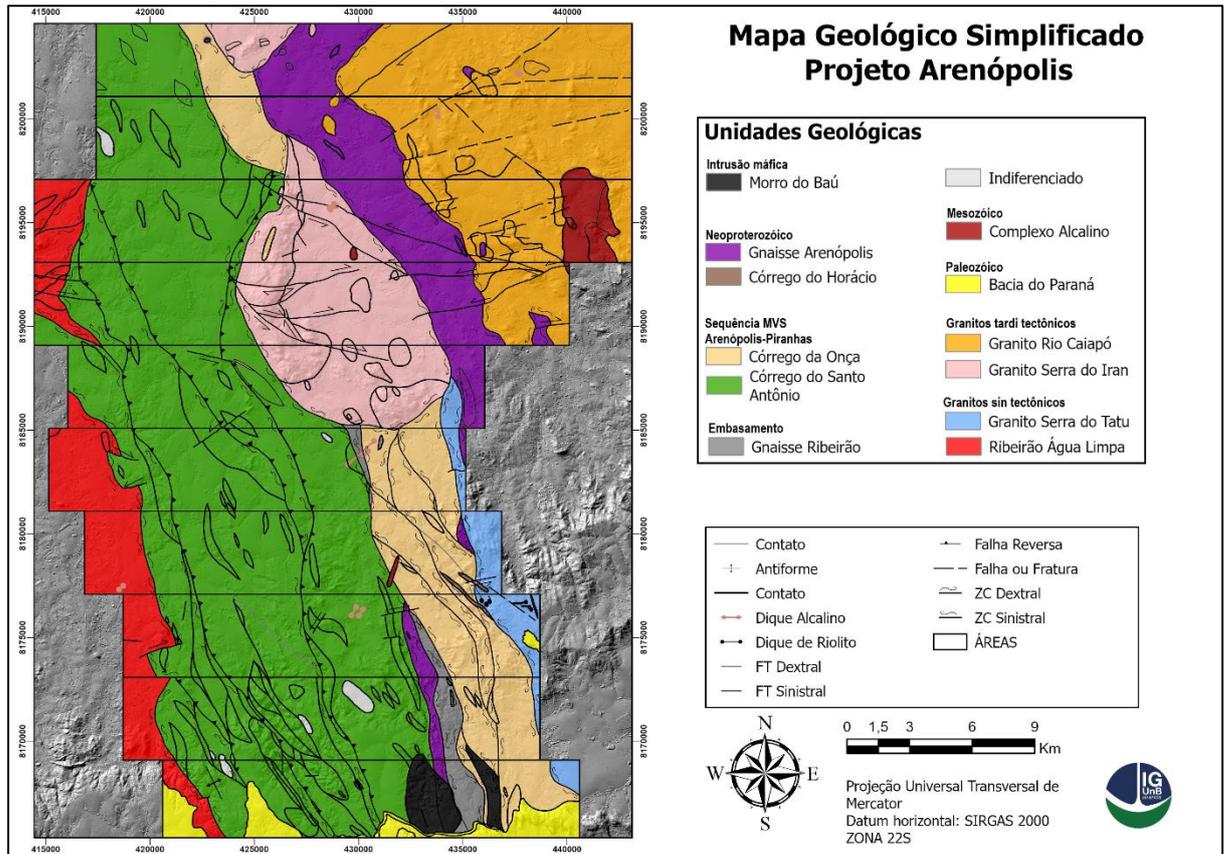
**Figura 3.21** – (A) Mapa de panorama regional com as áreas do Projeto Arenópolis de anomalias magnéticas. (B) Mapa de panorama regional com as áreas do Projeto Arenópolis de anomalias magnéticas com lineamentos de primeira, segunda e terceira ordem.



**Figura 3.22** – (A) Mapa do sinal analítico unido à primeira derivada vertical da Área IV. (B) Mapa das principais unidades magnéticas referente a Área IV.

## 4. Geologia do Projeto Arenópolis

Neste capítulo será abordado as unidades mapeadas no Projeto Arenópolis (Fig. 4.1), onde se encontra, de forma resumida, os detalhes observados em campo pelas dez áreas presentes nesse projeto de mapeamento em uma área aproximada de 914 km<sup>2</sup> em escala 1:25.000. A geologia local referente a Área IV será abordado no próximo capítulo de forma detalhada em conjunto com a petrografia.



**Figura 4.1** - Mapa Geológico Integrado do Projeto Arenópolis com as grandes unidades (versão simplificada).

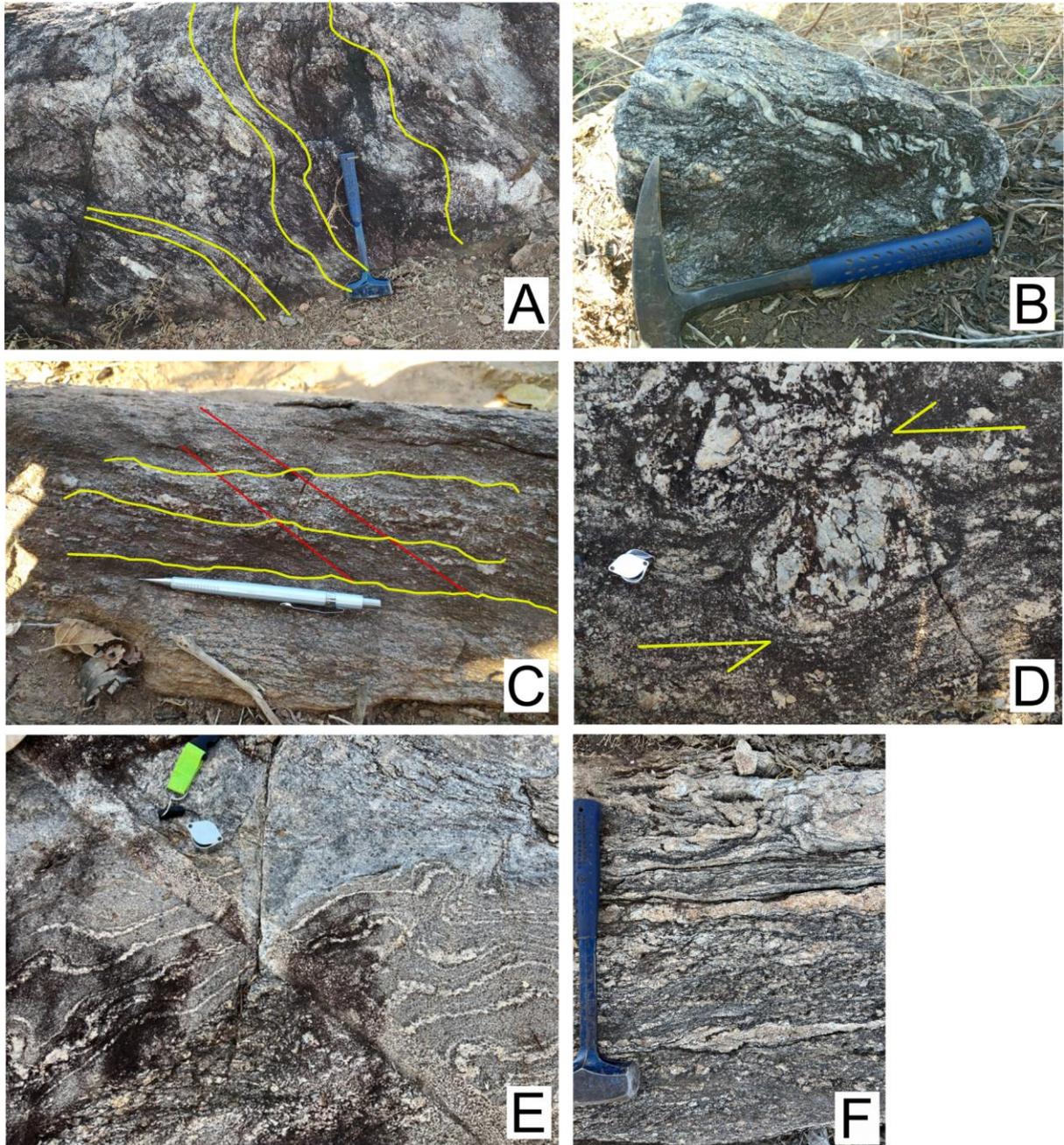
O Projeto Arenópolis, através do mapeamento, permitiu a identificação de unidades cuja formação, deformação e metamorfismo são atrelados à evolução da Orogênese Brasileira durante o Neoproterozóico (Pimentel, 2016). Foram identificadas principalmente rochas neoproterozóicas do Arco Magmático de Goiás, mas também rochas paleoproterozóicas, representadas pelo Gnaisse Ribeirão, além de rochas sedimentares paleozóicas, da Bacia do Paraná, e rochas plutônicas e subvulcânicas mesozóicas, pertencentes à Província Alcalina de Goiás (PAGO). A estruturação é caracterizada por foliações normalmente subverticais, com uma direção preferencial NNW-SSE a N-S. Foram também compartimentadas, de oeste para

leste, 3 sistemas de zonas de cisalhamento transcorrentes, de cinemática sinistral - sendo elas denominadas, respectivamente: Zona de Cisalhamento Piranhas, Zona de Cisalhamento Ribeirão e Zona de Cisalhamento Córrego da Areia.

#### **4.1. Embasamento**

A unidade representativa do embasamento é denominada de Gnaiss Ribeirão (Pimentel, 1992). Idades isócronas Rb-Sr e Pb-Pb indicaram uma idade aproximada de 1,8 Ga (Pimentel, 1990). Não obstante, métodos mais precisos e acurados devem ser aplicados para determinar com precisão a verdadeira idade desta unidade. O Gnaiss Ribeirão apresenta-se em contato com as unidades Córrego da Onça, da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas, à leste, e com o Gnaiss Arenópolis à oeste, ambos através de zonas de cisalhamento com cinemática sinistral relacionados com a Zona de Cisalhamento Ribeirão. O Gnaiss Ribeirão aflora em porções restritas nas Áreas VI, e aparece de forma contínua nas Áreas VIII, IX e X. As melhores exposições encontram-se na Área VIII.

Litologicamente, é composto por biotita-tonalitos, intensamente deformados e foliados, com presença local de migmatitos o qual evidencia a existência de processos de fusão parcial. Em termos mineralógicos, apresenta quartzo, plagioclásio e como mineral máfico, biotita. A feição que mais destaca é o bandamento gnáissico de granulação grossa, e de granulação fina - marcados por concentrações modais variáveis de biotita. Ademais, foi possível identificar feições deformacionais, como foliação anastomosada, foliação S-C, leucossomas rompidos e porfiroblastos de quartzo em concordância com a cinemática sinistral regional, conforme pode ser observado na figura abaixo (Fig. 4.2).



**Figura 4.2** - Feições de deformação no gnaiss Ribeiro, observadas no afloramento-tipo, inserido na Área VIII (434053/8173182). (A) Foliação anastomosada, truncada por fraturas. (B) Leucossomas rompidos. (C) Foliação S-C, onde as linhas amarelas representam o plano S, ao passo que as linhas em vermelho representam o plano C. (D) Megaporfiroblasto de quartzo rotacionado, evidenciando cinemática sinistral. (E) Migmatito com leucossomas concordantes à foliação, recortados por dique leucocrático de quartzo e feldspato. (F) Leucossomas em migmatito exibindo na parte de baixo.

## **4.2. Arco Magmático Goiás**

O Arco Magmático Goiás-Segmento Arenópolis corresponde a cerca de 97 % de toda a área do Projeto Arenópolis mapeada. É representado pela associação de rochas graníticas com composição que varia entre dioritos e tonalitos com metamorfismo em fácies xisto-verde a anfíbolito correspondentes ao estágio de Arco de Ilha; rochas metavulcânicas e metassedimentares das bacias de trincheiras e forearc; e intrusões graníticas de caráter cálcio-alcalino dos estágios vulcânico e colisional. Estudos geocronológicos mostram uma variação nas idades entre cerca de 900 Ma (Sequência MVS Arenópolis-Piranhas) e 587 Ma (Granito Rio Caiapó). As unidades pertencentes ao Arco são estruturadas conforme uma orientação principal NW-SE em um sistema predominantemente transcorrente, sobre o qual foram gerados sistemas de zonas de cisalhamento, com cinemática sinistral.

### **4.2.1 Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas**

Entre as sequências metavulcanossedimentares dos segmentos Arenópolis e Anicuns-Itaberaí, a Sequência Metavulcanossedimentar de Arenópolis-Piranhas representa as exposições de rochas supracrustais mais antigas (Carneiro, 2019). Na área do Projeto Arenópolis, esta sequência tem contato tectônico, através da Zona de Cisalhamento Piranhas, com a unidade do Granito Ribeirão Água Limpa a oeste e através da Zona de Cisalhamento Ribeirão com o Gnaisse Arenópolis (Áreas I e II) e Granito Serra do Tatu (Áreas V até X) a leste. Esta sequência é intrudida pelo Granito da Serra do Iran, de aproximadamente 588 Ma (Pimentel *et al.*, 1996) e por rochas dioríticas a graníticas indiferenciadas (e.g. Área IX). Para o sul (Área X), se encontra encoberto em discordância angular pelos arenitos da Formação Furnas (Devoniano) da Bacia do Paraná. A seguir, serão descritas as duas unidades que compõem a sequência.

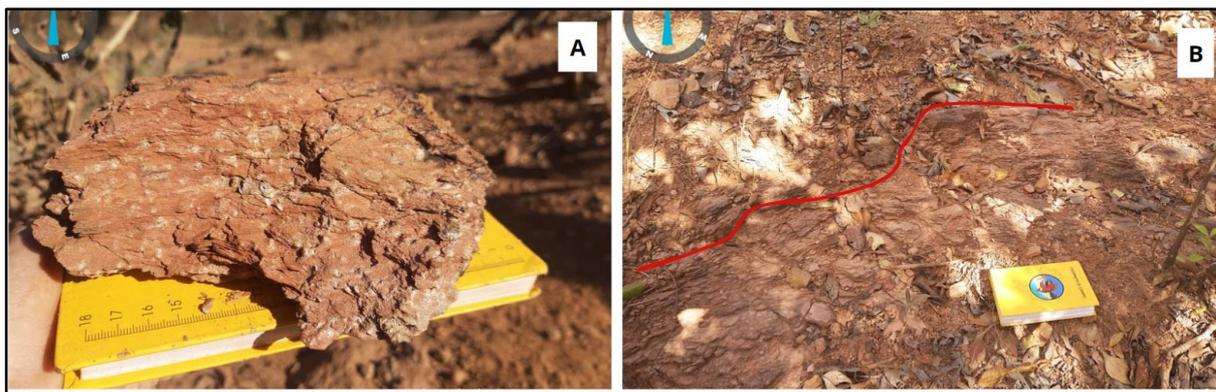
#### ***Unidade Córrego do Santo Antônio***

A Unidade Córrego do Santo Antônio compreende uma intercalação de rochas metassedimentares, silicicláticas e químicas. Seu limite oeste e leste se dão por zonas de cisalhamento transcorrentes sinistrais, sendo elas, respectivamente, a Zona de Cisalhamento Piranhas e a Zona de Cisalhamento Ribeirão.

As rochas são estruturadas com direção preferencial NNW-SSE e mergulho subvertical. Mostrando o mesmo comportamento, são observadas zonas de cisalhamento transcorrentes e empurrões que cortam as rochas dentro de seu domínio.

A fácies metassedimentar são representadas principalmente por xistos metapelíticos, metamorfizados em fácies anfíbolito e com retrometamorfismo em fácies xisto verde. São observados também ocasionalmente lentes de *metachert*, mármore, quartzito e gondito. Os xistos são representados por micaxistos, com ocasionais porfiroblastos de granada e estauroлита. Os porfiroblastos de estauroлита e granada estão rotacionados e evidenciam uma cinemática sinistral. Intercalados aos xistos ocorrem anfíbolitos e rochas metaultramáficas, os quais formam faixas e lentes de dimensões variáveis. No extremo leste da unidade, ocorre uma espessa faixa contínua de direção NNW-SSE composta por anfíbolitos, os quais apresentam paragênese de hornblenda verde, plagioclásio, epidoto e ocasionalmente titanita, o que indica metamorfismo de fácies anfíbolito. A fácies metaultramáfica é composta por talco-clorita-tremolita serpentinitos.

Além disso, é interessante comentar que as rochas metaultramáficas afloram preferencialmente associadas à porção metapelítica, a oeste (Figura 4.3); ao passo que os anfíbolitos afloram predominantemente na porção leste da unidade.



**Figura 4.3** – Aspectos em campo dos metassedimentos. (A) Rocha alterada de coloração vermelha-amarelada e granulação média a grossa, textura lepidoblástica, foliação do tipo xistosidade do ponto TF23-X-106. Composta por quartzo, muscovita, granada e pseudomorfos de estauroлита de hábito prismático que deforma a xistosidade. (430682/8166457). (B) Afloramento in situ evidenciando foliação. Ponto TF23-X-181 (428702/81680537).

### ***Unidade Córrego da Onça***

A Unidade Córrego da Onça ocorre entre as Áreas I a II e as Áreas V a X, sendo caracterizada por rochas metassedimentares, anfíbolitos, rochas ultramáficas e gnaisses calcissilicáticos. A unidade é limitada a oeste pela Zona de Cisalhamento Ribeirão e a leste pela Zona de Cisalhamento Córrego da Areia. As rochas apresentam estruturação N-S a NNW-SSE

com mergulhos subverticais. Também foi possível identificar fitas de quartzo estirado, foliação S-C, milonitos e estruturas do tipo dominó com cinemática sinistral, concordantes com a cinemática regional.

As rochas metassedimentares são representadas por quartzitos micáceos e muscovita xistos, por vezes, contendo grafita. Os anfibolitos (Fig.4.4) possuem textura nematoblástica, sendo constituídos por plagioclásio, hornblenda e quartzo, sendo ocasionalmente observado clinopiroxênio em equilíbrio. De maneira subordinada, principalmente nas proximidades com zonas de cisalhamento, são observados anfibolitos hidrotermalizados, com presença de epidoto, biotita, clorita e actinolita.



**Figura 4.4** - Afloramento tipo de anfibolito do Córrego da Onça exibindo foliação subvertical de direção N-S. Área VI, ponto 187 (4347223/8181581).

São observadas também rochas calcissilicáticas de trama bastante dúctil, localizadas a sul do Granito Serra do Iran, na Área VI. Estas foram classificadas como gnaisses calcissilicáticos, uma vez que exibem bandamento gnáissico e uma mineralogia indicativa de que a rocha sofreu alteração hidrotermal calcissilicática, marcada por uma assembleia rica em Si, Ca e Mg, com anfibólio, quartzo, epidoto, clorita, biotita, calcita e titanita. Esse domínio, o

qual foi associado à unidade Córrego da Onça, faz contato a oeste com o Gnaiss Ribeirão e a leste com anfibolitos da unidade da sequência MVS. Os contatos se dão por zona de cisalhamento transcorrente (Zona de Cisalhamento Ribeirão), com alguns indicadores de cinemática sinistral, sendo observados mergulhos subverticais e dobras fechadas a isoclinais de eixos e planos axiais subverticais (Figura 4.5).



**Figura 4.5** - Área VI, ponto 120 (431498/8182539). Afloramento em lajedo mostrando gnaisses calcissilicáticos afetados pela Zona de Cisalhamento Ribeirão.

#### **4.2.3 Gabro Morro do Baú**

A Unidade Morro do Baú corresponde a gabros intrudidos na Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas, principalmente na Área X e parte da Área IX. Se apresenta em dois domínios, um corpo oval e de maior tamanho para oeste e um corpo alongado na direção NNW-SSE para leste. Apresenta foliação predominante no sentido NNW-SSE e NNE-SSW, com mergulhos moderados a altos para oeste e leste, resultado de deformação dúctil. O corpo oeste é cortado por uma zona de cisalhamento na direção NNW-SSE.

Esta unidade, composta por gabros (Fig. 4.6), preserva parcialmente sua mineralogia e textura originais, com textura cumulática. A mineralogia principal inclui plagioclásio e hornblenda, e minerais opacos como acessórios. Evidências de alteração, como cloritização nos cristais de hornblenda, saussuritização nas bordas dos cristais de plagioclásio e sericitização na matriz, são observadas.



**Figura 4.6** – Aspectos em campo do gabro da unidade Morro do Baú. (A) Ponto TF23-X-101 (436275/8167338S) hornblenda-gabro com fácies grossa e porção fina com foliação bem-marcada (B) Hornblenda gabro com enclave de textura fina. Ponto TF23-X-144 (436168/8167981S). (C) Bloco de hornblenda gabro com variação textural. Ponto TF23-X-144 (432984/8166649).

#### 4.2.4. Gnaiss Arenópolis

Na região do Projeto Arenópolis, o Gnaiss Arenópolis encontra-se entre o Granito Serra do Iran a oeste e a Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas a leste, nas Áreas I até IV. No sul, nas Áreas VIII até a X, ele se encontra em contato com os anfibolitos da Unidade Córrego do Santo Antônio para oeste e com Gnaiss Riberião para leste.

Trata-se de gnaisses tonalíticos a graníticos com fácies anfibolíticas subordinadas que ocorrem como blocos e lajedos métricos (Fig. 4.7A). Composto majoritariamente por hornblenda, plagioclásio, quartzo e biotita. Apresenta bandamento gnáissico com direção NW-

SE representa a foliação predominante. Mergulhos subverticais, e uma lineação de estiramento mineral paralela ao bandamento, com baixo caimento na direção NW. A foliação milonítica (4.7B), caracterizada por porfiroclastos de plagioclásio envoltos por lamelas de biotita, é encontrada principalmente perto do contato entre o Gnaiss Arenópolis e o Granito Rio Caiapó (Áreas III e IV). Ao longo das áreas do projeto, percebe-se uma variação composicional em membros tonalíticos predominando nas áreas mais a norte, e membros mais félsicos mais a sul. Na Área V, lentes ultramáficas associadas ao Gnaiss Arenópolis ocorrem em pequenos morrotes que se sobressaem na topografia, compondo afloramentos de blocos métricos *in situ*. São encontrados serpentinitos, clorititos e xistos ultramáficos.



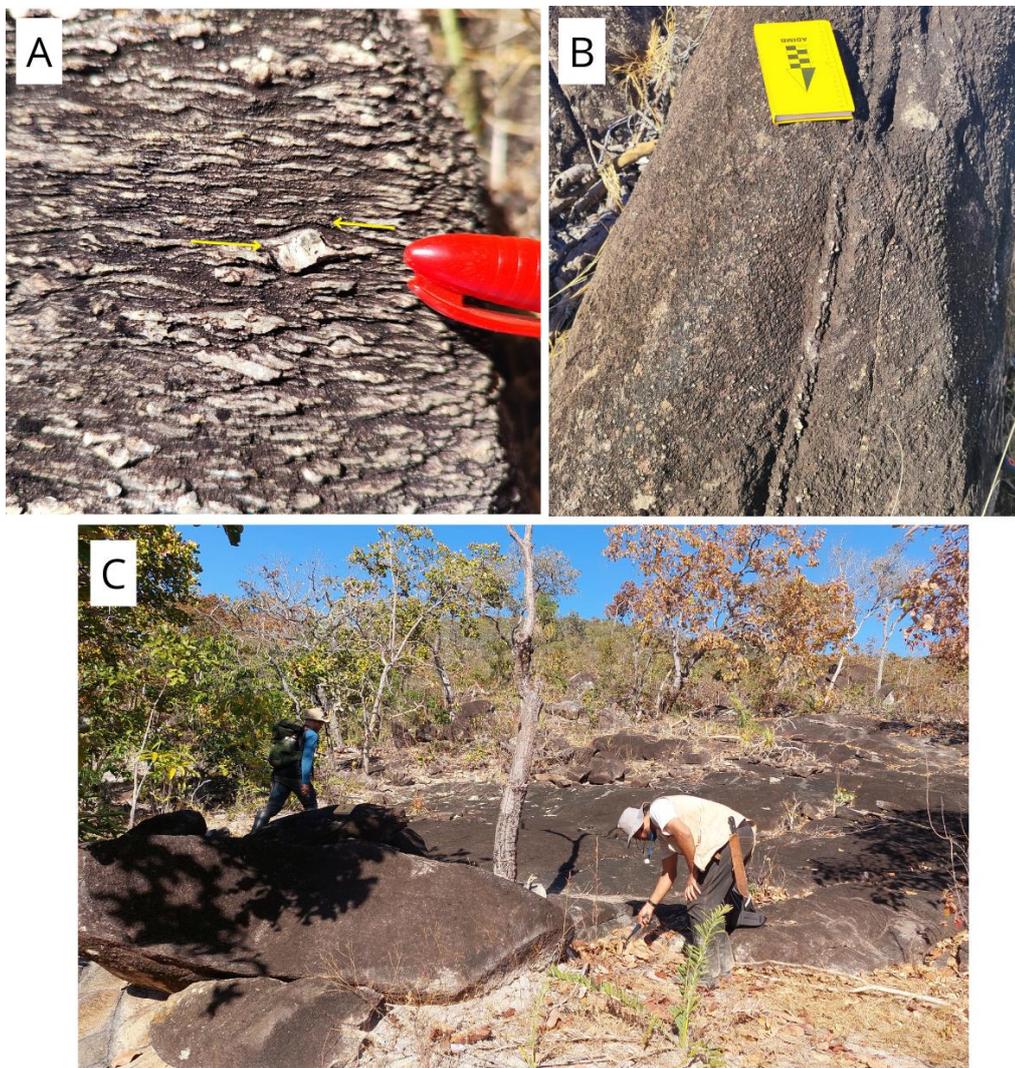
**Figura 4.7** – Aspectos em campo da unidade Gnaiss Arenópolis do ponto TF23-AIII-P106 (434953/8193673). (A) - Afloramento em lajedo no leito do Córrego da Areia composto por gnaiss tonalítico milonitizado. (B) Detalhe da foliação milonítica apresentada pela unidade.

#### 4.2.5. Intrusões sin-tectônicas

Na área do Projeto Arenópolis, ocorrem duas unidades inseridas no contexto de intrusões sin-tectônicas: Granito Serra do Tatu e Granito Ribeirão Água Limpa. Essa classificação se deu através de observações de campo, em macroescala e em microescala através de identificação de microestruturas. Ambas as unidades se apresentam deformadas, com foliação bem pronunciada nas bordas e no centro dos corpos, além ocorrer uma série de zonas de cisalhamentos associadas a um sistema anastomosado de direção preferencialmente NE-SW e NW-SE no Granito Serra do Tatu e Granito Ribeirão Água Limpa, respectivamente. Em termos de microestruturas, foram identificados mecanismos de recristalização dinâmica de baixa a média temperatura, além de estruturas como *ribbons*, fraturas e rotação de porfiroclastos.

### ***Granito Serra do Tatu***

A unidade Granito Serra do Tatu ocorre na porção leste da área do projeto, estendido em direção NNW-SSE nas Áreas V até X. Sua ocorrência está relacionada à Serra do Tatu, que deu nome a unidade. Limita a leste e oeste com as unidades Gnaiss Arenópolis e Córrego da Onça respectivamente, sendo o contato em ambos os casos por zona de cisalhamento transcorrente sinistral. São observados afloramentos em lajedo (Fig. 4.8B) e em blocos soltos.



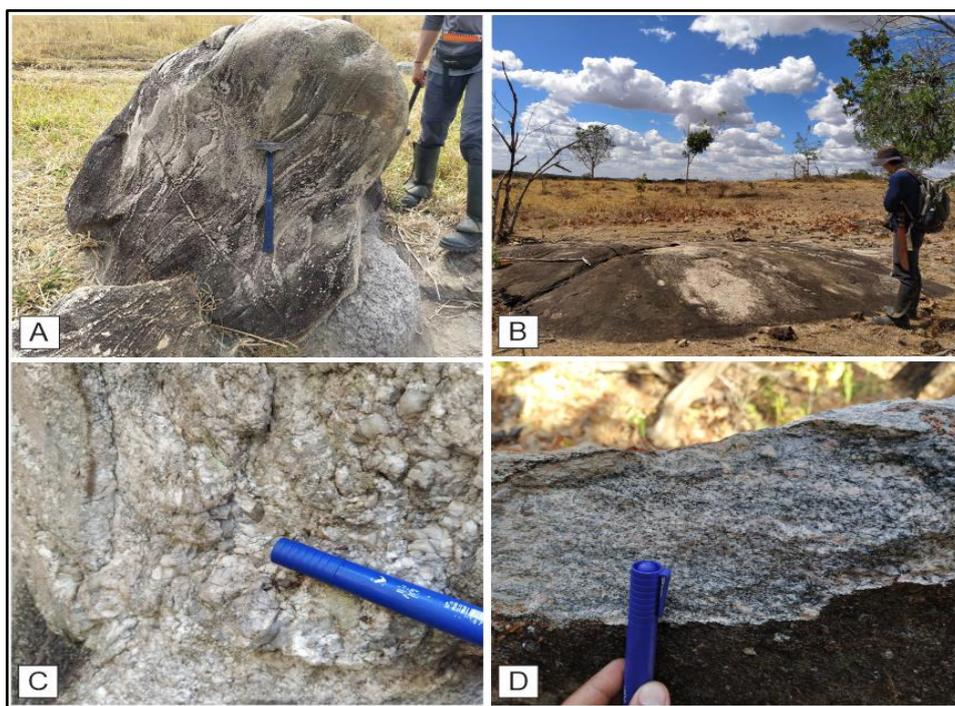
**Figura 4.8-** Características em campo da unidade Granito Serra do Tatu. (A) Porfiroclasto sigmoidal de feldspato alcalino, exibindo rotação sinistral (destacada por setas amarelas) em meio a textura milonítica do biotita granito milonítico. Área VI, ponto 102 (434548/8184140). (B) Afloramento em lajedo de biotita granito milonítico do Granito Serra do Tatu. Área VI, ponto 102 (434548/8184140). (C) Ponto TF23-VII-79 (437028/8179502). Afloramento em blocos rolados e em lajedo de biotita granito.

As rochas desta unidade são leucocráticas compostas por quartzo, feldspato alcalino, plagioclásio e biotita, além de minerais opacos, titanita, epidoto e apatita como minerais acessórios. A textura observada é marcadamente milonítica, exibindo porfiroclastos de

feldspato alcalino envolvidos por biotita. A foliação milonítica é em geral subvertical, enquanto os porfiroclastos mostram-se estirados de maneira sub-horizontal e direção NNW-SSE, com cinemática sinistral (Fig. 4.8A). O quartzo mostra-se recristalizado em regime de rotação de subgrãos.

### ***Granito Ribeirão Água Limpa***

O Granito Ribeirão Água Limpa aflora no extremo oeste das áreas II a X do Projeto Arenópolis. Foram descritas rochas leucocráticas, de coloração róseo-esverdeadas, e composições granodioríticas e graníticas, granulação variável de fina a grossa e texturas primárias porfiríticas e equigranulares, as quais se mostram frequentemente milonitizadas. Composta, majotariamente, por quartzo, plagioclásio, feldspato potássico, biotita e anfibólio, variando em proporções conforme suas fácies. Em geral, é observada biotita subordinada e, em menor abundância, há presença de muscovita. Mais raramente, ainda foram descritas rochas com hornblenda e rochas com granada. A deformação milonítica é mais intensa conforme maior a proximidade em relação à Zona de Cisalhamento Piranhas, que marca o contato leste da unidade com a Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas. Ocasionalmente é observado bandamento gnáissico. Ocasionalmente, na Área III, foram observadas estruturas indicativas de fusão parcial, classificadas como migmatitos (Figura 4.9). Essa grande heterogeneidade composicional e textural das rochas abarcadas pela unidade indica a possível existência de variadas fontes magmáticas durante o período colisional.



**Figura 4.9** - Afloramentos do Granito Ribeirão Água Limpa presente na Área IX. (A) Matacão de rocha com bandamento gnáissico e composição granítica com evidências de fusão parcial - migmatitos. (B) Afloramento em

lajedos, muito comum nos afloramentos da Área III. (C) Fácies granítica isotrópica, com granulação grossa, classificado como pegmatítica. (D) Fácies de composição granodiorítica foliada e ocasionalmente bandada.

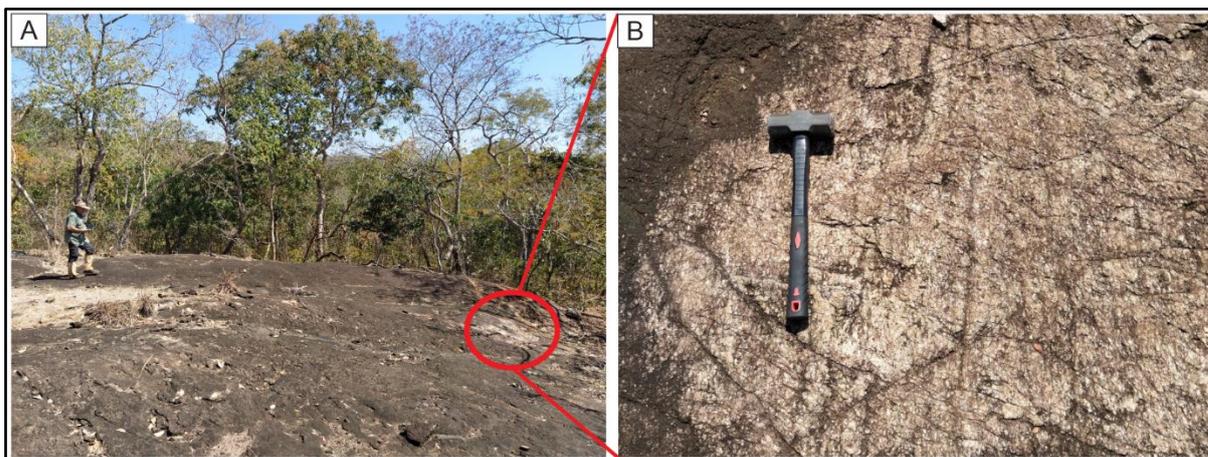
#### 4.2.6. Intrusões tardi tectônicas

As unidades que representam intrusões tardi tectônicas incluem os Granitos Serra do Iran e Rio Caiapó de aproximadamente 588 Ma (Pimentel e Fuck, 1994). São corpos limitados por zonas de cisalhamentos, com foliação milonítica subordinada nas bordas e núcleos com feições ígneas bem preservadas no centro.

##### *Granito Rio Caiapó*

O Granito Rio Caiapó ocorre na porção nordeste do Projeto Arenópolis, e limita-se a oeste com o Gnaisse Arenópolis e a leste, com o Corpo Arenópolis da Província Alcalina de Goiás. É dividido em dois domínios geomorfológicos com base, principalmente, na granulação das rochas, além de incluir uma fácies granodiorítica. Os afloramentos são caracterizados predominantemente por grandes blocos isolados e lajedos associados à Serra do Retiro Velho (Fig. 4.10A). O outro domínio, compreendido pela fácies granítica fina apresenta um relevo aplainado e afloramentos mais restritos.

A unidade compreende uma variedade composicional de rochas graníticas, incluindo sienogranitos, em maior parte, e granodioritos com algumas variações texturais e de granulação. A principal textura identificada na unidade é a inequigranular porfirítica, marcada por megacristais de feldspato potássico que, ocasionalmente, apresentam texturas peritíticas e rapakivi (Fig.4.10B). Por vezes, as rochas da unidade apresentam foliação bem definida pela orientação dos cristais lamelares de biotita e estiramento de feldspatos, indicando uma deformação influenciada por zonas de cisalhamentos.



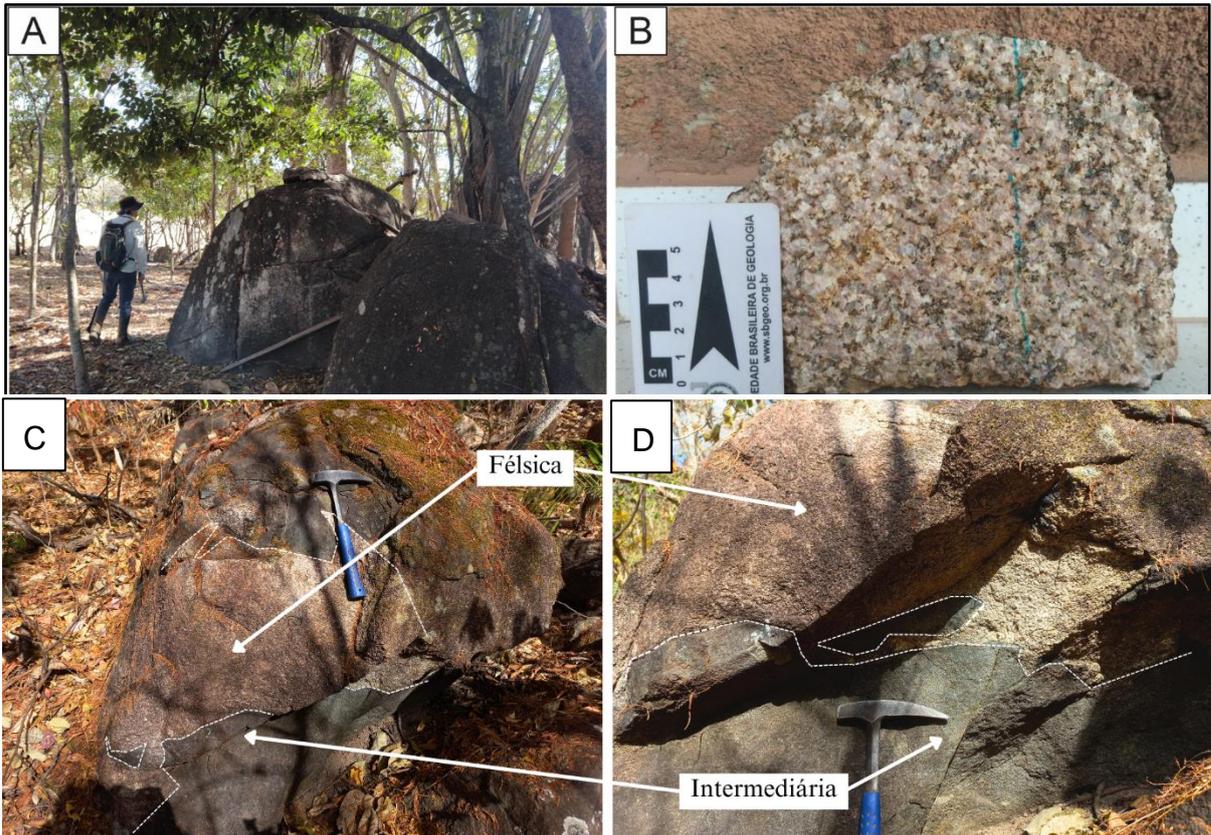
**Figura 4.10** – Aspectos em campo do Granito Rio Caiapó, ponto TF23-AIII-P15 (439660/8195281). (A) Lajedo

de dimensão métrica do Granito Rio Caiapó. (B) Detalhe para a fácies inequigranular seriada, classificada como granito porfirítico, e fraturas de direção NW-SE.

### ***Granito Serra do Iran***

O Granito Serra do Iran ocorre como um corpo intrusivo *tardi*-tectônico situado na porção central da área do projeto, de aproximadamente 15 km de extensão e 7.5 km de largura, com exposições nas Áreas I até VI. Intrude as rochas da Unidade Córrego do Santo Antônio (a oeste) e Unidade Córrego da Onça, Granito Serra do Tatu e Gnaiss Arenópolis (para leste). Este granito sobressai na topografia, resultando em relevos variando de fortemente a levemente ondulados, formando as serras da Margarida e da Cruz, notáveis por sua cobertura densa de vegetação arbórea. Os afloramentos do Granito Serra do Iran assumem formas como lajedos (Fig. 4.11A), blocos *in situ*, em leitos de drenagem e matacões. Enquanto as bordas do corpo exibem leve deformação e fraturamento, o centro permanece preservado e isotrópico.

Diferentes fácies foram definidas dentro da Unidade Granito Serra do Iran, entre elas: 1) fácies félsicas: sienogranitos de granulação grossa (Fig. 4.11B) e fina, monzogranitos; 2) fácies intermediárias: tonalitos, quartzo-dioritos e dioritos; 3) fácies máficas: gabros. 4) fácies subvulcânicas. A partir desta variação composicional, foram observadas também evidências de mistura magmática, principalmente *mingling* (Fig. 4.11C e 4.11D).

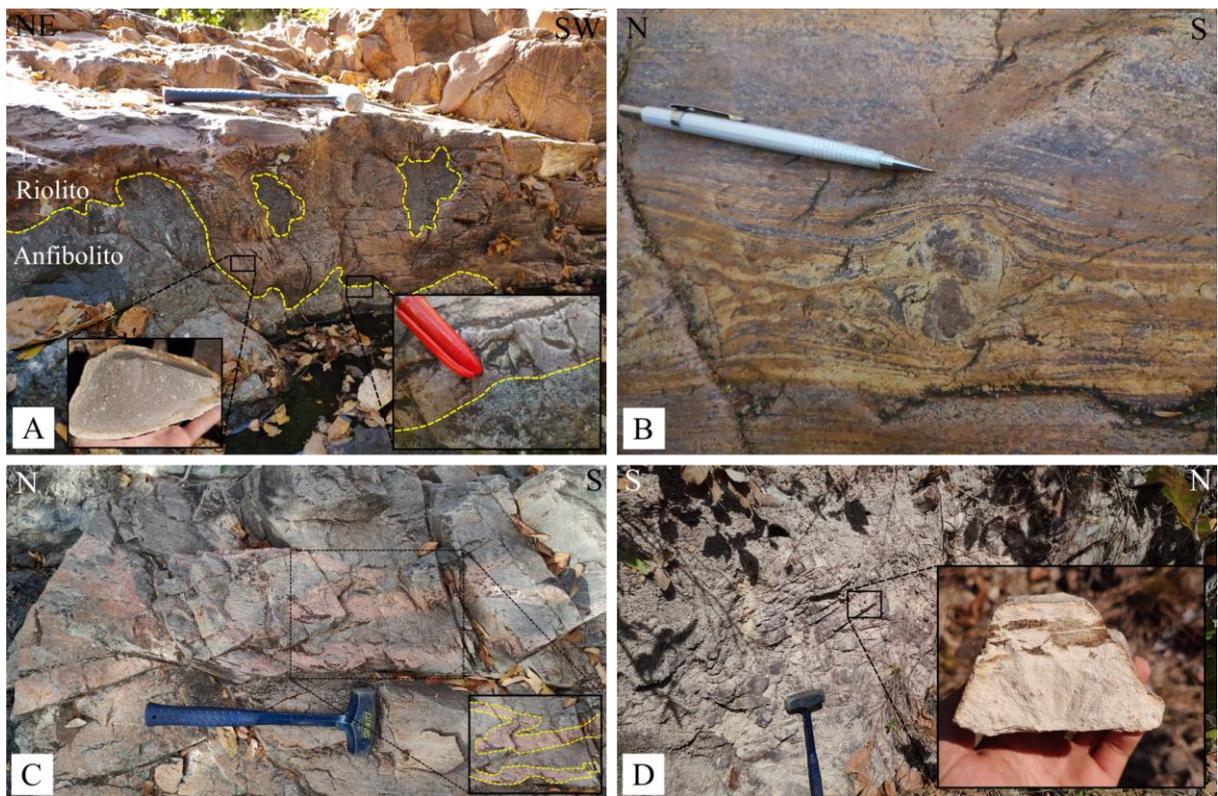


**Figura 4.11** – Aspectos em campo do Granito Serra do Iran. (A) Afloramento em bloco do Granito Serra do Iran, os blocos podem alcançar 2 metros de altura como na figura, muito comum nas proximidades da Serra da Margarida. (B) Amostra de mão representativa da fácies do Granito Serra do Iran de granulação grossa e arranjo equigranular. (C) e (D) Feições de mixing-mingling em afloramento em blocos métricos da Unidade Granito Serra do Iran no ponto TF23-AV-P141 (431309/8187001S).

### ***Vulcânicas Córrego do Horácio***

Ao longo do extremo sudeste da Área VII e nordeste da Área VIII, ocorrem uma série de diques riolíticos alongados segundo trend NW-SE. Esses diques intrudem e cortam os anfibolitos da unidade Córrego da Onça e o Granito Serra do Tatu. Apresentam foliação subvertical, dobras e fraturas de cisalhamento. Sua distribuição, de modo geral, está associada à zona de cisalhamento ao longo do Granito Serra do Tatu, possivelmente havendo correlação entre o alojamento do plúton com os derrames ácidos.

São rochas de composição riolítica, de coloração avermelhada (Fig. 4.12A) a bege claro apresentam bandamento de fluxo e evidências de devitrificação de alta temperatura, como esferulitos. Apresentam textura afanítica a porfírica/glomeroporfírica, composta por quartzo e feldspato potássico.



**Figura 4.12** – Aspectos em campo da unidade Vulcânicas Córrego do Horácio. (A) Derrame riolítico avermelhado, sob anfibolito fino com enclaves do mesmo. Além disso, é possível observar no detalhe, amostra de riolito de coloração bege (434487/8177659). (B) Clasto rotacionado ao ser incorporado no fluxo riolítico, com esferulitos

visíveis na porção superior da imagem (434487/8177659). (C) Diques decimétricos de riolito cortando tonalito milonitizado do Granito Serra do Tatu (435676/8177906). (D) Afloramento de riolito alterado para caulinita, com texturas primárias de fluxo fracamente preservadas (437572/8176637).

### 4.3. Bacia do Paraná

A Bacia do Paraná abrange a totalidade da porção sul da Área X (Figura 4.13A) e se manifesta de forma pontual na Área VIII. O grupo geológico predominante nessa região é o Grupo Paraná, que é representado pelas formações Furnas e Ponta Grossa.

A Formação Furnas prevalece na área do Projeto Arenópolis e cobre integralmente a extremidade sul da subárea X, abrangendo parte das unidades mencionadas anteriormente. Essa formação exibe um relevo de escarpa com uma orientação aproximada E-W e altitude variando entre 620 metros e 740 metros. Ela é composta principalmente por arenitos de tonalidade esbranquiçada, intercalados com arenitos conglomeráticos e siltito micáceo (Fig. 4.13B). Caracteriza-se por apresentar estruturas de estratificação cruzada e plano-paralela.

Quanto à Formação Ponta Grossa, ela está restrita à porção centro-sul da área, especificamente no Morro da Mesa. Essa formação é composta por arenitos de coloração esbranquiçada e ferruginosa, alternando-se com camadas argilosas. Ela exibe laminações plano-paralelas e uma estrutura tipo *flaser*.



**Figura 4.13** – Aspectos em campo das formações da Bacia do Paraná. (A) Vista panorâmica da Bacia do Paraná e da Sequência Metavulcanossedimentar Córrego Santo Antônio na área X. (B) Arenito conglomerático com

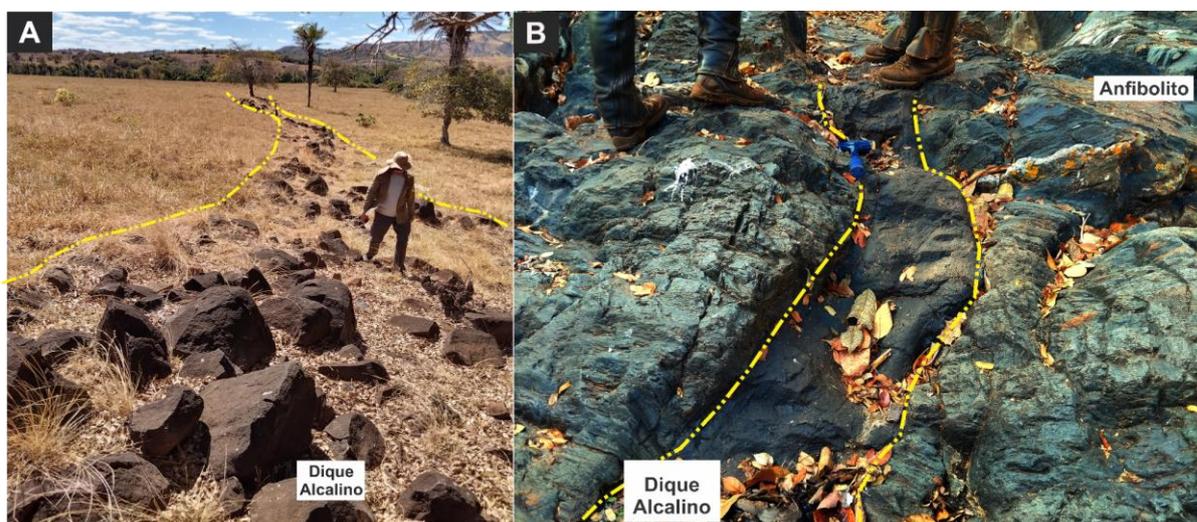
estratificação cruzada, Ponto TF23-X-67 (437339/8166225). (C) Arenito fino com estrutura do tipo flaser, ponto TF23-X-79 (431804/8164059).

#### 4.4. Província Alcalina de Goiás

As rochas da Província Alcalina de Goiás (PAGO), identificadas na área do Projeto Arenópolis, correspondem a: 1) conjunto de diques de basanita e basanita fonolítico sem uma direção preferencial intrudidos nas diferentes unidades e 2) um corpo plutônico denominado de Complexo Alcalino Plutônico de Arenópolis intrudido no Granito Rio Caiapó.

##### *Rochas subvulcânicas*

De modo geral, são encontrados na forma de blocos escuros alinhados (Fig.4.14) ou ao longo do leito de drenagens). São rochas de elevada resposta magnética, em função da presença abundante de magnetita na matriz. Podem apresentar textura afanítica ou porfirítica, sendo possível identificar fenocristais de olivina, ortopiroxênio, clinopiroxênio e, ocasionalmente, flogopita, nefelina ou leucita.

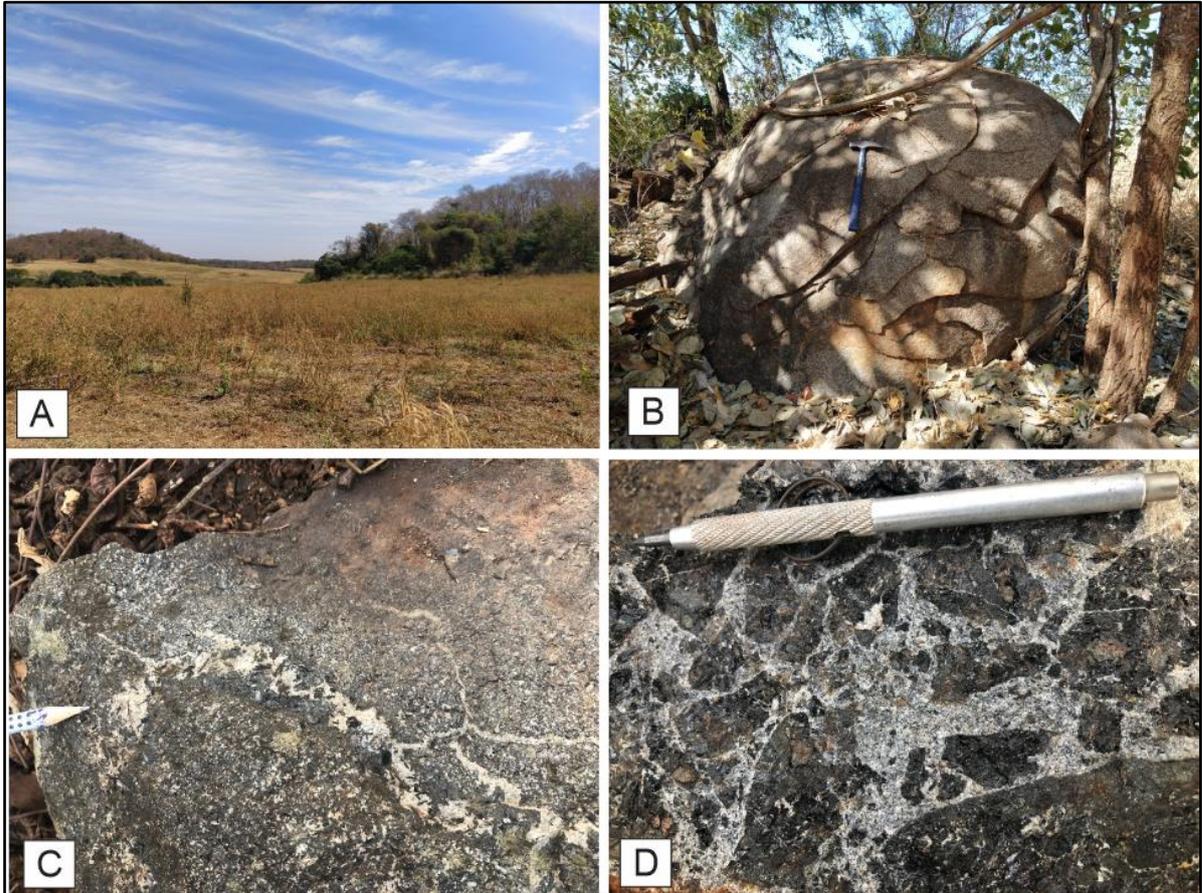


**Figura 4.14** – Aspectos em campo dos diques alcalinos. (A) Blocos submétricos a métricos alinhados de basanita em pasto na Área VII (431410/8177514). (B) Dique alcalino cortando anfibolitos máficos da Unidade Córrego da Onça (434922/8177863).

##### *Complexo Alcalino Plutônico de Arenópolis*

As rochas intrusivas do Complexo Arenópolis, ocorrem no extremo leste da Área III, onde encontram-se intrudidas no Granito Rio Caiapó e compreendem uma associação de rochas ultramáficas (clinopiroxenitos), gabros, e sienitos nefelínicos e nefelinitos. A nefelina representa o feldspatóide comum em todas as rochas do complexo, juntamente com a flogopita, indicando se tratar de uma associação com afinidade sódica, caracterizada pela série ijolítica.

Além disso, foram encontrados veios carbonatíticos (Fig. 4.15C) e brechas magmáticas (Fig. 4.15D).



**Figura 4.15** - Aspectos em campo dos corpos plutônico alcalino. (A) Foto panorâmica destacando o relevo encontrado no Complexo Arenópolis. Os melhores afloramentos encontram-se nos morros, enquanto a porção arrasada é dominada por pasto e plantações com perfis de solo avermelhado. (B) Afloramento com esfoliação esferoidal em nefelinito, ponto TF23-AIII-P8 (440273/8194759). (C) Veio carbonatítico alojado em Melteijito. (D) Feições de brechas com clastos de clinopiroxenitos em meio a cimentação de matriz fina de composição félsica rica em feldspatóides.

## 5. Litoestratigrafia e Petrografia da Área IV

As informações a respeito das unidades litoestratigráficas presentes na Área IV do Projeto Arenópolis serão sistematizadas no presente capítulo. Com base nos dados coletados na etapa de campo, assim como os dados petrográficos na etapa pós-campo aliados aos aspectos geofísicos e de sensoriamento remoto, este capítulo apresenta as principais características das unidades litológicas evidenciadas na presente área do projeto.

Deste modo, serão apresentadas informações referentes às seguintes unidades geológicas, Sequência Metavulcanosedimentar de Arenópolis, Gnaisse Arenópolis, Granitos Criogenianos Sin-tectônicos como o Granito Serra do Tatu e o Granito Ribeirão Água Limpa, Granitos Ediacaranos tardi a pós-tectônicos como o Granito Rio Caiapó e o Granito Serra do Iran e as rochas da suíte Alcalina de Iporá.

O Projeto Arenópolis contou com um total de 114 seções delgadas destinadas a análises petrográficas de todas as unidades e litotipos abarcados pelo projeto, muitos dos quais não se encontram inseridos no âmbito da Área IV. As análises petrográficas aqui expostas, foram realizadas nas unidades sob regionalização da presente área, ou seja, unidades que ocorrem sob sua delimitação. Assim, foram descritas e pormenorizadas 21 seções delgadas. Ademais, é válido ressaltar que as seções delgadas analisadas não são referentes a amostras restritas as dependências de tal área, visto a questões ligadas a disponibilidade de recursos, bem como fatores relacionados ao estado de preservação das amostras, o que, em muitos casos, impõe limitações para a confecção de amostragens de qualidade.

Como alternativa, buscou-se suplementar a análise pela adesão de amostragens de áreas vizinhas que integrassem o contexto das unidades inseridas na Área IV do projeto. Nestes casos, sempre que possível, buscou-se acrescentar análises de seções delgadas que fizessem parte das mesmas unidades e que possuíssem características litológicas o mais semelhantes possível, a fim de garantir um enquadramento fidedigno com a realidade geológica da presente área do projeto.

As fichas descritivas das amostras da Área IV se encontram do Anexo I, enquanto o mapa geológico pode ser visto na Figura 5.1. Além disso, a Figura 5.2 ilustra a distribuição das 21 seções delgadas analisadas, dentre as quais apenas 6 estão inseridas do âmbito da Área IV do Projeto Arenópolis,

### Mapa Geológico - Projeto Arenópolis - Área IV

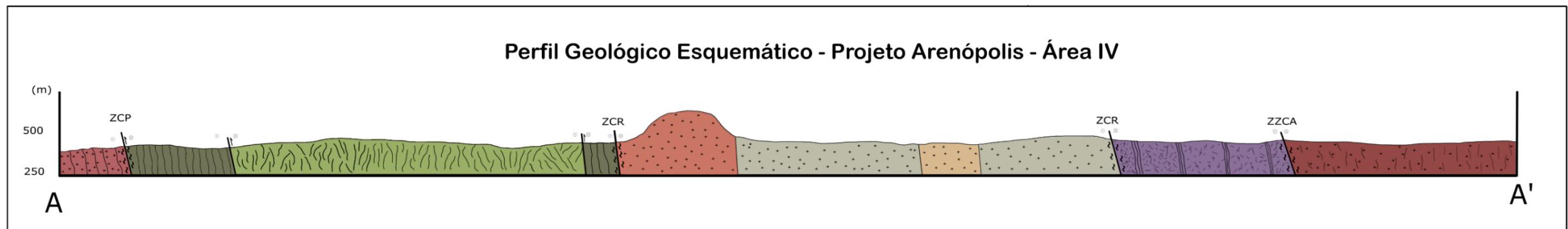
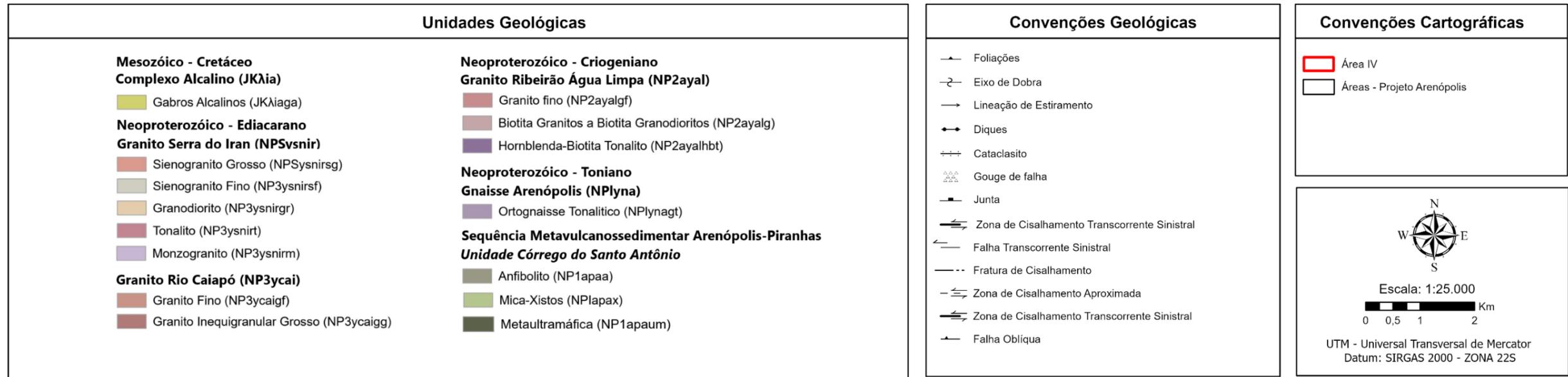
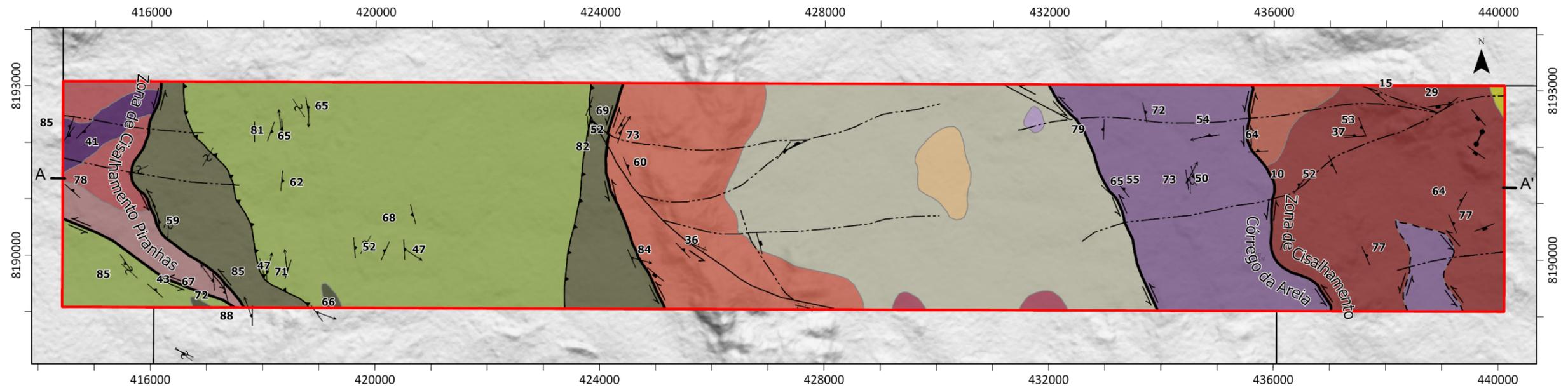
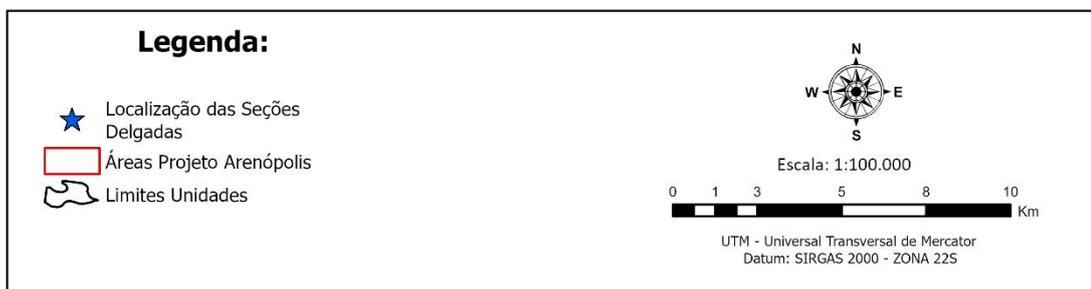
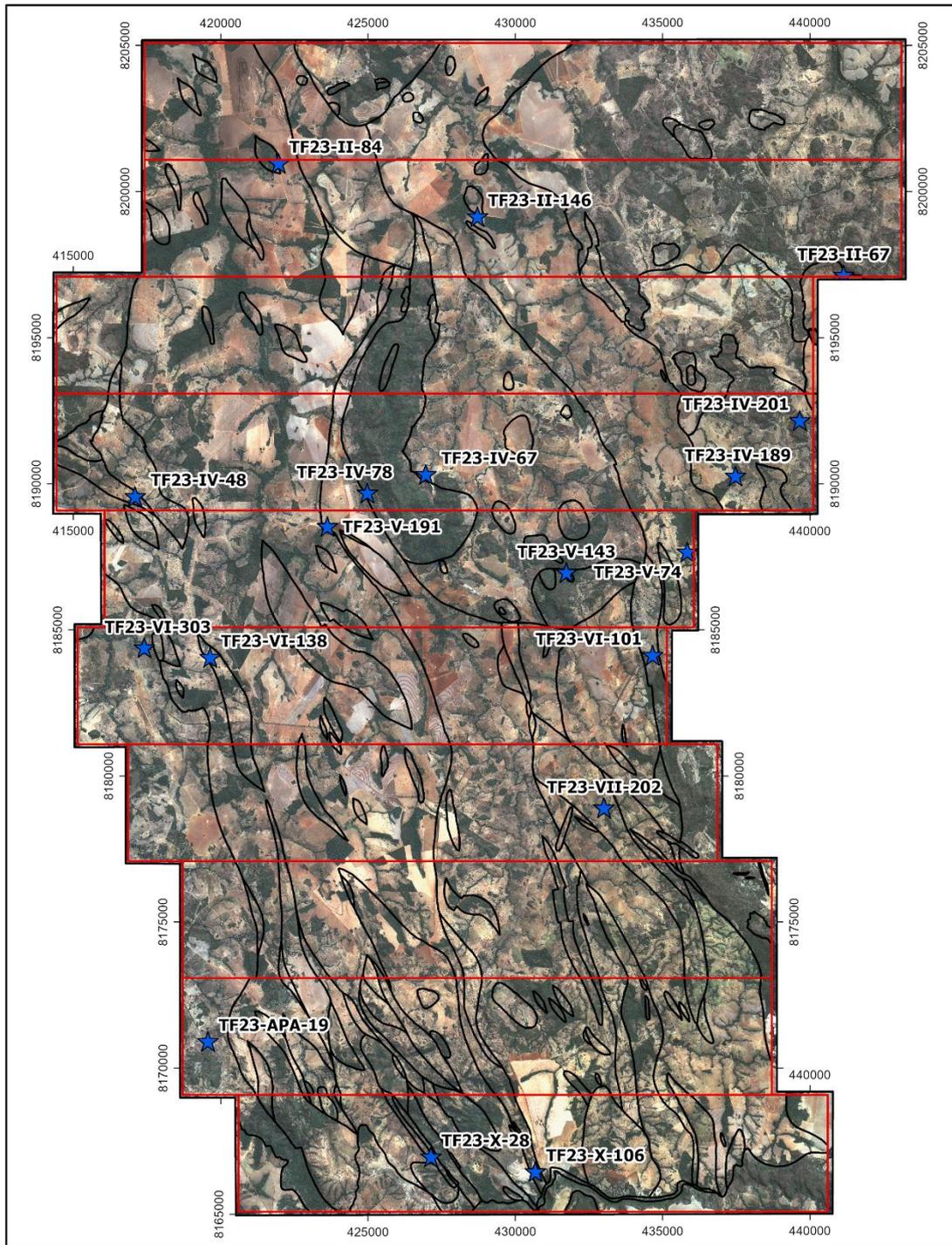


Figura 5.1 - Mapa Geológico da Área IV do Projeto Arenópolis com perfil esquemático. (ZCP: Zona de Cisalhamento Piranhas, ZCR: Zona de Cisalhamento, ZZCA: Zona de Cisalhamento Córrego da Areia)



**Figura 5.2 -** Mapa de localização das 21 lâminas delgadas analisadas pela Área IV.

## **5.1. Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas - NP1api**

As rochas componentes da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas afloram ao longo de uma faixa de direção NNW, presentes entre as cidades de Piranhas e Arenópolis. Na Área IV do projeto, é dominante na porção oeste, local de predominância de uma fisiografia aplainada, onde ocorrem áreas extensivamente destinadas à agropecuária.

O contato desta sequência com outras unidades muitas vezes é obscurecido por falta de exposições adequadas e pela intensa deformação. No entanto, a julgar pela tendência geral da foliação principal, com mergulhos altos e pela incidência de milonitização em alguns afloramentos, acredita-se que esses contatos ocorram por falhas inversas de alto ângulo e por zonas de cisalhamento transcorrentes e transpressivas.

Os limites ocorrem a leste com as rochas graníticas milonitizadas da Unidade Serra do Tatu e com as rochas do Gnaiss Arenópolis, bem como a oeste fazendo contato com as rochas graníticas da Unidade Ribeirão Água Limpa. Além disso, as rochas desta sequência são afetadas por um magmatismo bimodal que resultou na intrusão das rochas graníticas da Serra do Iran na sua parte central, o que dificulta a interpretação das relações de contato entre as suas subunidades. A intrusão ocasionou na incidência de um metamorfismo de contato, com a produção de fluidos metassomáticos ricos em cálcio, evidenciado pela intensa epidotização nas porções de borda da intrusão.

A Sequência é composta por duas unidades com fases deformacionais similares, a Unidade Córrego da Onça e a Unidade Córrego do Santo Antônio. Essas unidades são separadas na porção sul da área do Projeto Arenópolis por uma faixa de rochas gnáissicas conhecidas como Gnaiss Ribeirão. No âmbito da Área IV, essa relação é de difícil caracterização em função da intrusão granítica presente na porção central. A oeste dessa intrusão, ocorre a Unidade Córrego do Santo Antônio representada por micaxistos, anfíbolitos e corpos de rochas ultramáficas, enquanto a leste desta, se faz presente a Unidade Córrego da Onça com a uma fácies ou subunidade (Pimentel, 1985) máfica e uma fácies metassedimentar.

### **5.1.1. Unidade Córrego do Santo Antônio - NP1apa**

As rochas desta unidade determinam a fração ocidental da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas e afloram a oeste da faixa de rochas da Unidade Gnaiss Ribeirão e da intrusão granítica da Unidade Serra do Iran. A sua área de ocorrência é caracterizada por um relevo arrasado, recoberta por um espesso manto de intemperismo, o que

implica em um estado de escassez de afloramentos e logo o difícil estabelecimento de relações estratigráficas.

A unidade é constituída por pacotes dobrados de rochas metassedimentares, representadas por conjuntos de xistos e quartzitos intercalados com pacotes de rochas metamáficas e metaultramáficas como anfibolitos, metagabros e metaperidotitos alongados segundo a direção principal da foliação e balizadas por um conjunto de falhas de alto ângulo e zonas de cisalhamento. São, no geral, corpos intensamente dobrados, contendo dobras abertas a isoclinais, crenuladas e apresentam texturas granoblásticas e lepidoblásticas.

Levando em conta as associações litológicas e visando uma subdivisão faciológica, a Unidade Córrego do Santo Antônio é aqui hierarquizada em uma Fácies Metamáfica-Metaultramáfica e uma Fácies Metassedimentar.

#### ***Fácies Máficas e Ultramáficas (NP1apaa e NP1apaum)***

Em campo, esta fácies é caracterizada por associações de anfibolitos finos a médios (NP1apaa) e rochas ultramáficas (NP1apaum), contendo uma provável relação de intercalação mascarada pelo alto estado de alteração das exposições. Sob as áreas de ocorrência desta unidade há latossolos vermelhos espessos que se localizam na parte centro-oeste da Área IV, nas proximidades do Granito Serra do Iran e a leste e o Granito Ribeirão Água Limpa.

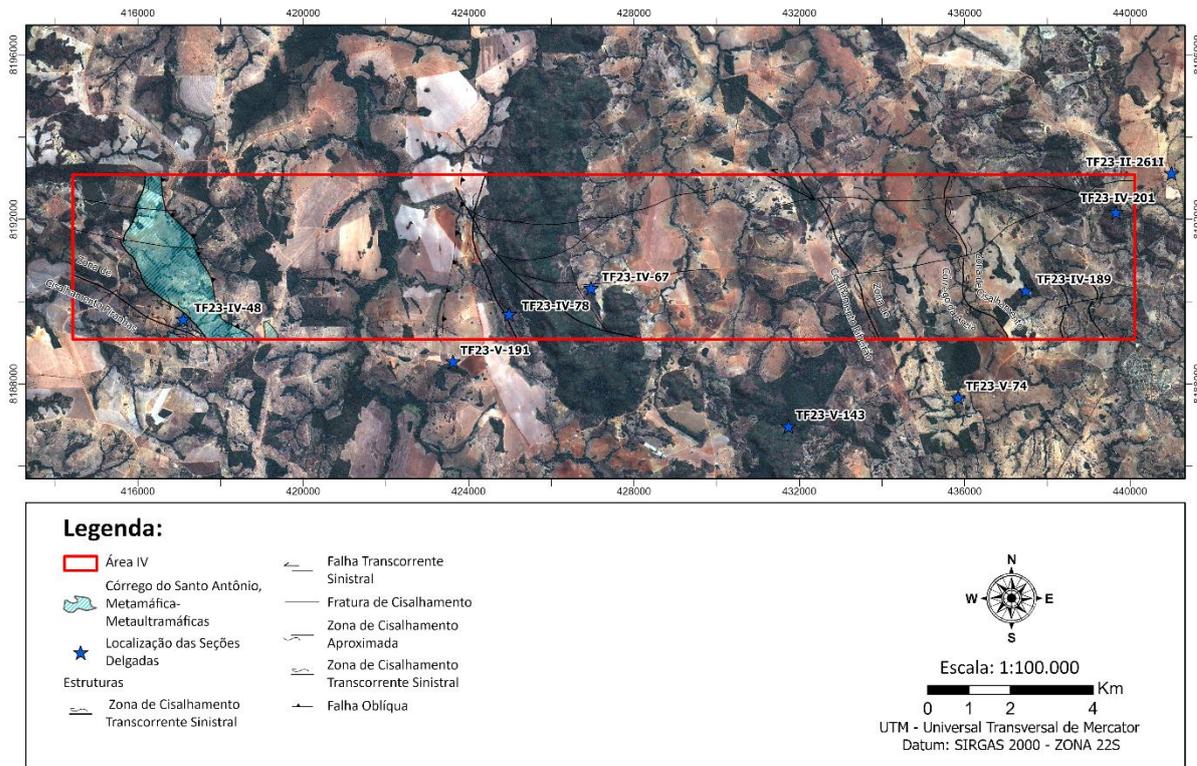


**Figura 5.3** – Anfibolitos da porção oeste da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas. (A) Afloramento *in-situ* de anfibolito foliado com mergulho subvertical (415726/8191449). (B) Afloramento *in-situ* de anfibolito foliado (415713/8191479). (C) Amostra de mão de anfibolito de granulação média.

A maior parte das rochas metamáficas desta unidade são encontrados na porção extremo oeste da Área IV, sendo também evidenciadas na porção central, próximo ao contato com a unidade Serra do Iran. Correspondem a corpos mais ou menos contínuos e alongados segundo a foliação principal e afloram na forma de blocos rolados e lajedos intemperizados. Trata-se de anfibolitos (Fig. 5.3A-B) foliados, por vezes bandados, compostos por um arcabouço rico em

plagioclásio e anfibólio de granulação média a fina (Fig. 5.3C). Os anfibolitos contêm textura variando de nematoblástica a granoblástica cuja assembleia mineral é predominantemente composta por plagioclásio e hornblenda, com quartzo e piroxênio subordinados.

Os anfibolitos desta porção da área (Fig. 5.4) ocorrem espacialmente associados ou intercalados com rochas metaultramáficas (Fig. 5.9), indicando que pelo menos parte dos pacotes de rochas de composição ultramáficas possuem algum tipo de organização interna, o que poderia corresponder a uma sequência ofiolítica, assim como postulado por Carneiro (2019) e Lacerda Filho *et al.* (2021).

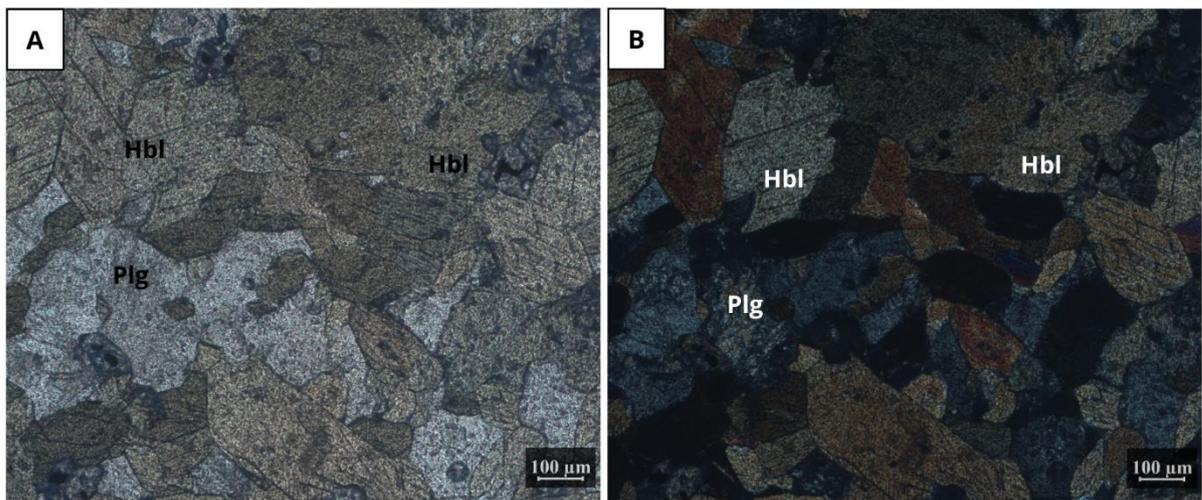


**Figura 5.4** – Mapa de localização da unidade metamáfica-metalultramáfica na porção ocidental do Córrego do Santo Antônio na Área IV.

Em análise petrográfica, estes anfibolitos apresentam granulometria média a grossa e textura granoblástica (Fig. 5.5, TF23-VI-138), composta por hornblenda, plagioclásio e quartzo em menores proporções. O alinhamento moderado dos anfibólios determina a foliação da rocha, enquanto a fração quartzo-feldspática formam fitas (*ribbons*) preenchendo os espaços entre estes, o que confere um aspecto homogêneo a trama metamórfica. Os contatos entre os cristais são, no geral, poligonais, alguns mostrando junções tríplices, indicando recristalização e um estado de reequilíbrio entre a paragênese metamórfica. Ademais, a rocha se encontra levemente fraturada no sentido da foliação. Estas fraturas, são, por vezes, preenchidas por quartzo e mais raramente epidoto, formando venulações destes minerais.

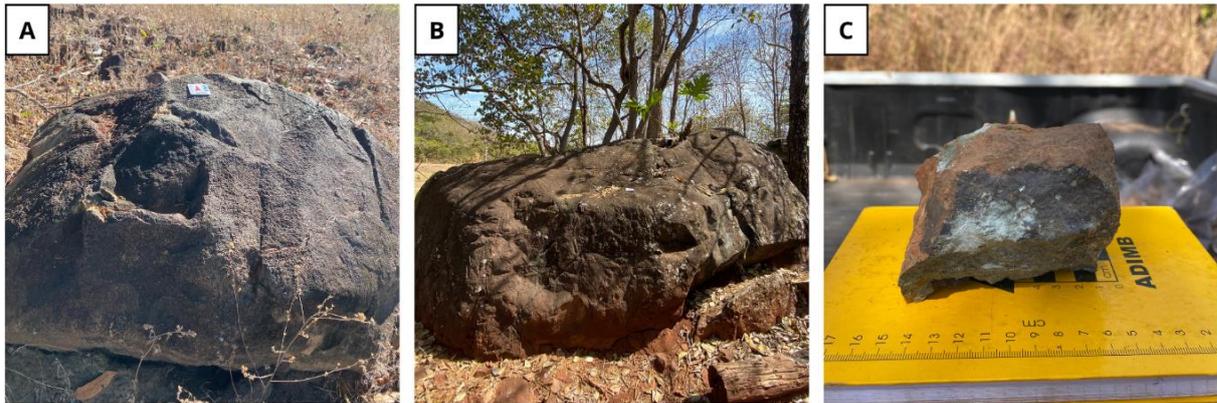
Os cristais de hornblendas (50 %) são prismáticos, equigranulares moderadamente alinhados no sentido da foliação. Apresentam pleocroísmo verde, verde-pálido e marrom, cores de interferência máxima no intermédio de segunda ordem. Alguns cristais são milimétricos a centimétricos se encontram envolvidos na foliação da rocha, portanto, trata-se de porfiroblastos. O plagioclásio (30 %) preenche os espaços entre os arranjos de cristais de anfibólio. São cristais xenomórficos, com feições de migração de borda de grão, a hipidiomórficos, estes últimos com contatos poligonais e até mesmo junções tríplices, indicando processos de recristalização do arcabouço da rocha. O quartzo (10 %), também compõe o arranjo granular intersticial entre os cristais de anfibólio. São cristais xenomórficos a hipidiomórficos e ocorrem de forma subordinada. Os minerais acessórios são a titanita (5 %) e opacos (5 %).

A definição de uma fácies metamórfica pode ser feita pela associação de hornblenda + plagioclásio que sugere um metamorfismo de média P/T em fácies anfibolito. Além disso, feições como venulações e possíveis cristais pseudomorfos de hornblenda, sugerem alterações hidrotermais ou reações de metamorfismo retrógrado promovida pelo aumento de fluido no sistema.

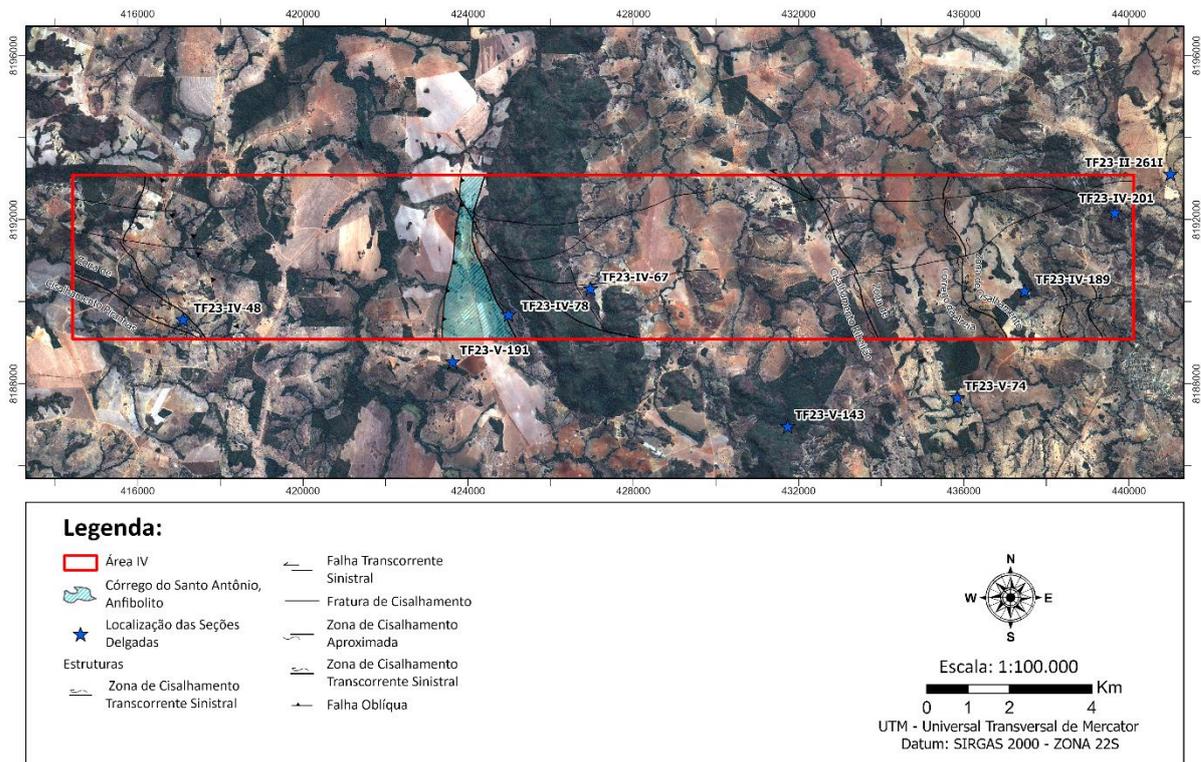


**Figura 5.5** – Aspectos em lâmina do anfibolito de granulação média da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis. (A) Fotomicrografia (10x) a nicóis paralelos do anfibolito composto majoritariamente por hornblenda. (B) Fotomicrografia (10x) a nicóis cruzados mostrando a presença de plagioclásio saussuritizados.

Já os anfibolitos da porção leste da Unidade Córrego do Santo Antônio, na região central da Área IV (Fig. 5.6A e B), são cinza-esverdeados, contém granulometria fina a média, textura granoblástica e apresentam uma foliação menos marcada, se comparada aos anfibolitos da porção oeste.



**Figura 5.6** – Aspectos em campo do anfibolito fino da porção leste do Córrego do Santo Antônio. (A) Bloco de anfibolito fino da unidade Córrego do Santo Antônio próximo a Serra do Iran (424795/8189768). (B) Afloramento métrico de bloco de anfibolito (423633/8188529). (C) Amostra de mão de anfibolito de granulometria fina.



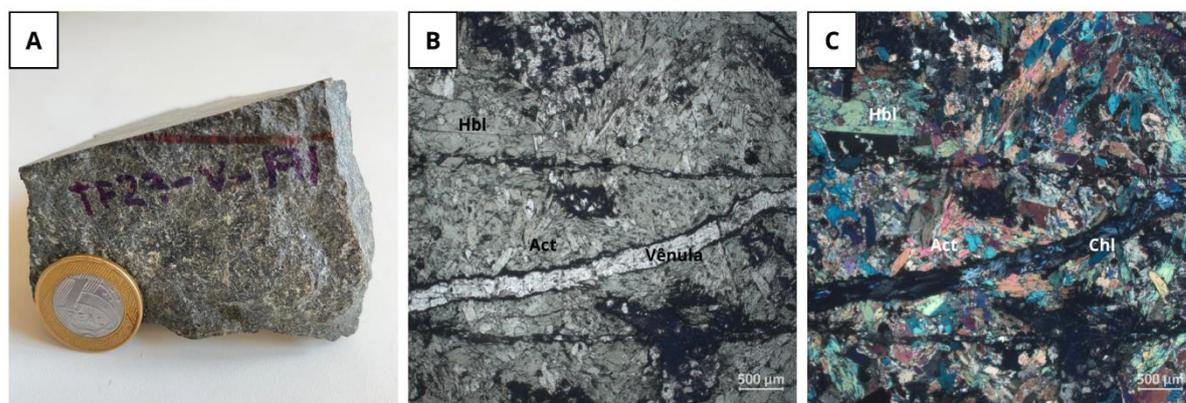
**Figura 5.7** – Localização em destaque dos anfíbólios a oeste da unidade do Córrego Santo Antônio na Área IV.

Neste caso, os anfíbólios (Fig. 5.8 TF23-V-191) apresentam granulometria média, cujo arcabouço é formado por um mosaico de anfibólio prismático, fibroso e acicular que sobrepõe ou sobrecrecem domínios de formatos irregulares. Estes domínios são compostos de uma massa fina e alterada, provavelmente composta de uma associação de plagioclásio e clorita, cercados por agregados de cristais xenomórficos de quartzo. Tal padrão de arranjo entre os cristais alterados de plagioclásio e a matriz intersticial, poderia indicar uma textura subofítica pouco preservada, sendo que essa massa poderia ter sido anteriormente formada por minerais

como piroxênio, hoje extintos pelas reações metamórficas. No entanto, da mesma forma, é possível que estas sejam regiões onde houve a destruição do plagioclásio e anfibólio de forma mais localizada não tendo, portanto, nenhuma relação com texturas primárias. A rocha também é cortada por venulações discretas compostas por minerais secundários como epidoto e clorita (Fig. 5.8B-C).

Os cristais de hornblendas (40 %) representam a fase principal do anfibólio que compõe o mosaico da rocha. São cristais prismáticos, placosos, por vezes aciculares, com intenso pleocroísmo em tons de verde, verde-ciano, verde-pálido e marrom. Cristais de actinolita (15 %) também pode fazer parte desse mosaico. Estas são diferenciadas das hornblendas por seu hábito acicular, por serem incolores a levemente esverdeados e possuem menores ângulos de extinção. Os cristais de plagioclásio (25 %) são xenomórficos e compõem as partes interiores dos domínios reliquias, se apresentando saussuritizados e transformados para uma massa fina. Os cristais de quartzo (12 %) ocorrem localmente como agregados recristalizados nas bordas dos domínios intersticiais. Minerais secundários como o epidoto (5 %) e clorita (3 %), ocorrem de modo intersticial e como venulações discordantes.

Ademais, a associação paragenética definida pela presença de hornblenda + actinolita + plagioclásio + clorita permite estabelecer e caracterizar um metamorfismo de média P/T em fácies xisto verde, mais especificamente na zona transicional, indicando, portanto, uma paragênese retrometamórfica.

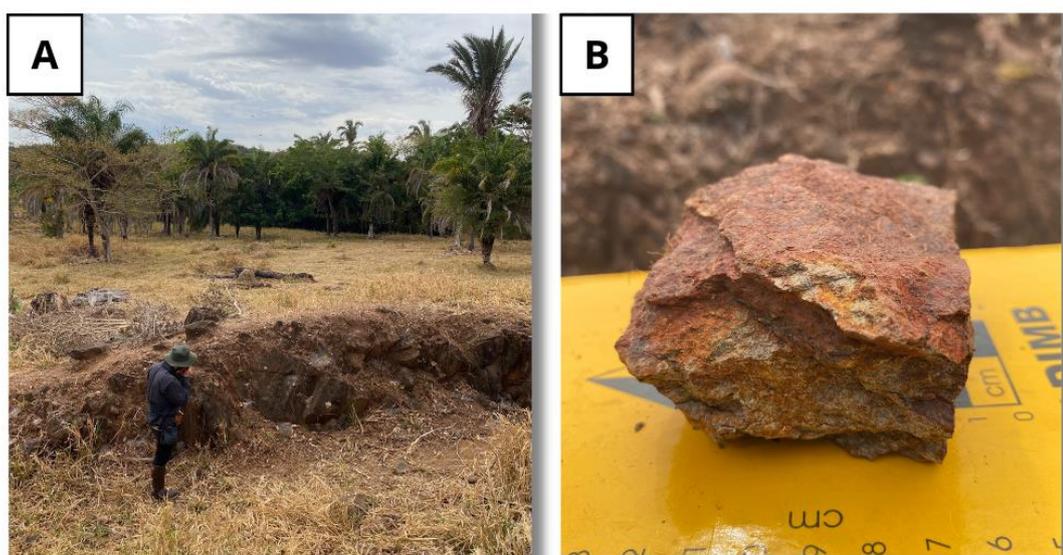


**Figura 5.8** - (A) Amostra de mão do anfibolito TF23-V-191. (B) Fotomicrografia (4x) a nicóis paralelos destacando a trama dos anfibólitos e a presença da vênula. (C) Fotomicrografia a nicóis cruzados (4x) destacando a textura nematoblástica rica em anfibólio a nicóis cruzados e a presença de clorita na vênula.

As rochas de composição metaultramáfica se apresentam de forma mais restrita na Área IV e se encontram em associação com os anfibolitos da porção oeste da Unidade Córrego do Santo Antônio (Fig. 5.4 e 5.9). Ocorrem como pequenas lentes descontínuas em meio ao

regolito. A transição entre os pacotes máficos e ultramáficos é bastante sutil e muitas vezes pode ocorrer de forma imperceptível.

O afloramento mais notável, foi observado ocorrendo em meio a pastagem e exposto no manto de intemperismo. Trata-se de uma rocha esverdeada e intensamente oxidada, com uma xistosidade e textura nematoblástica, composta por anfibólio imerso em uma matriz fina esverdeada, provavelmente composta por clorita. Devido ao alto grau de alteração e oxidação, não foi possível a identificação de uma maior quantidade de minerais de forma macroscópica. No entanto, pode-se inferir que se trate de um actinolita-clorita xisto (Fig. 5.9).



**Figura 5.9** - (A) Afloramento de actinolita-clorita xisto próximo a uma drenagem em destaque ao solo espesso local (417786/8188940). (B) Amostra de actinolita-clorita xisto bastante intemperizado retirada do afloramento da imagem A.

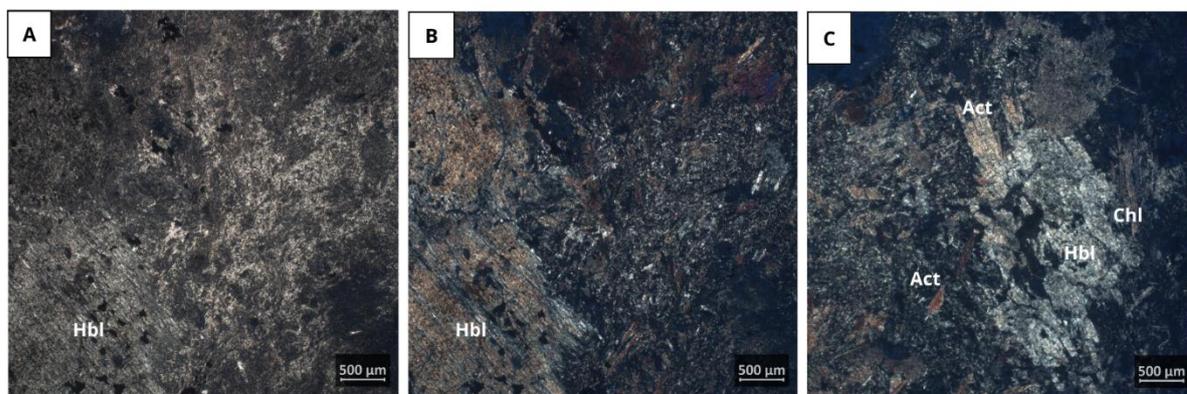
Como forma de agregar uma análise petrográfica, uma amostra similar ao que foi observado em campo na Área IV foi escolhida para descrição (Fig. 5.10, TF23-II-84). Tal amostra apresenta uma textura porfirítica, a qual agregados de porfiroblastos milimétricos de hornblenda ocorrem emersos em uma matriz de textura seriada, a qual cristais prismáticos de anfibólios, incluindo a própria hornblenda e actinolita-tremolita, ocorrem associados cristais de clorita. A aparente presença de texturas ígneas preservadas, associada com a composição dos minerais máficos, aponta para o caso de uma rocha ultramáfica inequigranular com possíveis feições cumuláticas.

A hornblenda (45 %) ocorre como porfiroblastos de até 5 mm de comprimento e como placas menores compondo a matriz da rocha. Os porfiroblastos possuem hábitos placosos, subédricos e se apresentam constantemente desfragmentados, corroídos, alguns com traços de

clivagens (~120°) reliquias preservadas e com sinais de alteração de bordas. Estas evidências sugerem que tais porfiroblastos representam substituições de fenocristais primários da rocha, provavelmente piroxênio. Alguns cristais se apresentam geminados.

A clorita (30%) está associada com os cristais prismáticos e placosos de anfibólio. Trata-se de cristais muito finos e fibrosos com cores de interferência cinza de primeira ordem. Actinolita (10%) é outro anfibólio que ocorre na matriz. Se distingue por possuir hábitos aciculares e fibrosos, com alto-relevo e levemente pleocróicos. Raramente se observa cristais xenomórficos de quartzo (5%) disseminados entre a massa de plagioclásio. Minerais opacos ocorrem em proporções próximas aos 5%.

A associação de hornblenda + actinolita + clorita apontam para um metamorfismo de média P/T em fácies xisto-verde, no estado transicional para anfibolito. Ademais, a presença dos fenocristais, interpretados como pseudomorfos de hornblenda, reforçam uma hipótese de reações metamórficas retrógradas.

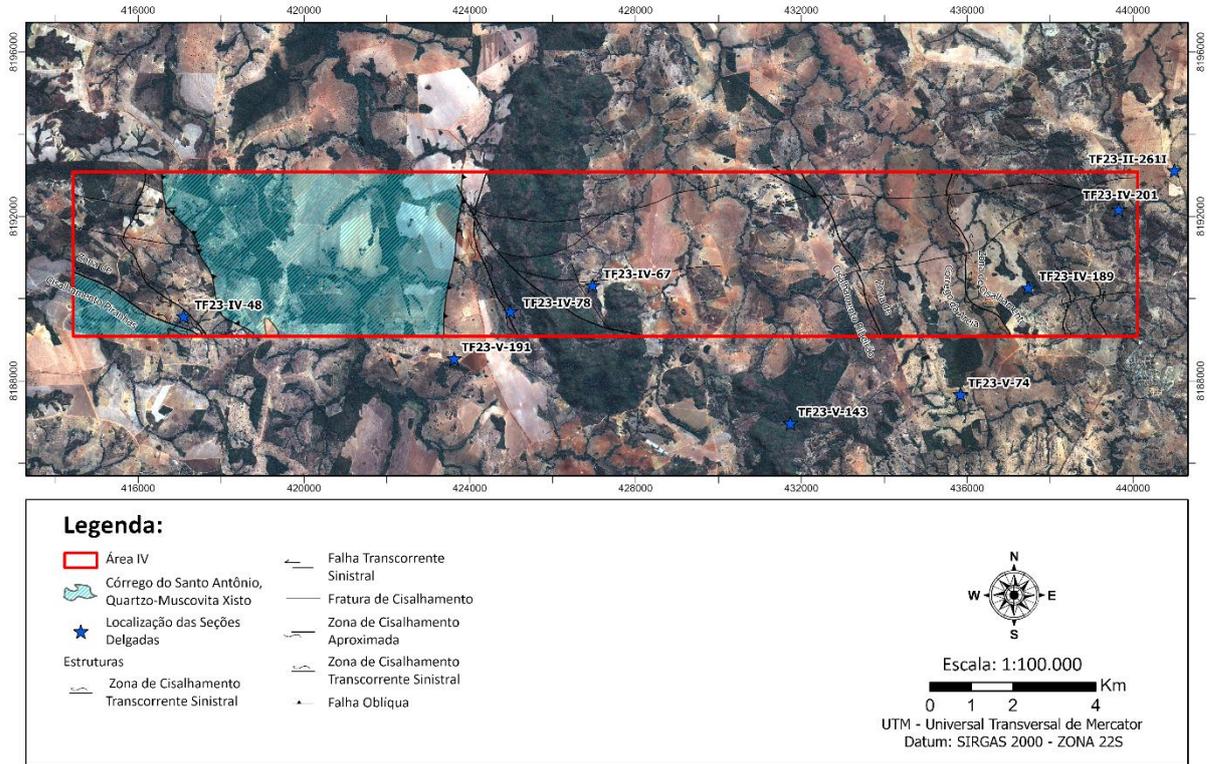


**Figura 5.10** – Aspectos em lâmina das fácies ultramáficas da Unidade Córrego do Santo Antônio. (A) Fotomicrografia (4x) a nicóis paralelos do anfibolito com textura porfiroblástica com bastante minerais alterados. (B) Fotomicrografia (4x) a nicóis cruzados mostrando os porfiroblastos de hornblenda em meio a matriz. (C) Fotomicrografia (4x) a nicóis paralelos com cristais agregados de hornblenda, clorita e actinolita com os cristais de plagioclásio.

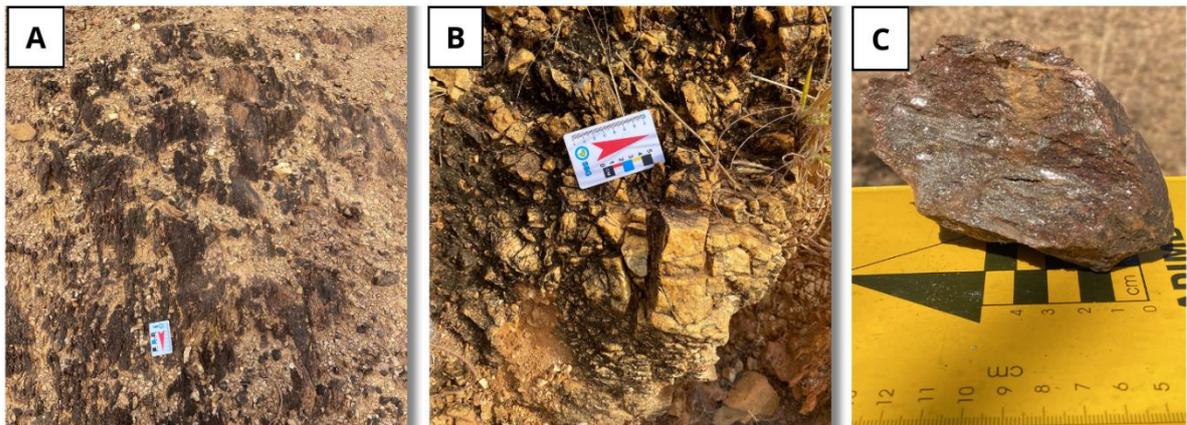
### ***Fácies Metassedimentares (NP1apax)***

Na porção de ocorrência destes litotipos, mais especificamente na parte central da Unidade Córrego do Santo Antônio (Fig. 5.11), há a predominância de latossolos vermelhos- amarelos, bastante desenvolvidos onde se concentram extensas áreas de pastagem e de plantio. As rochas presentes nessa região são representadas por quartzo-muscovita xisto de granulação fina e textura nematoblástica, bem como raras ocorrências de quartzitos micáceos. Estes litotipos afloram nos leitos das estradas não pavimentadas e em superfícies de erosão.

Os litotipos se apresentam bastante alterados, aflorando em meio ao saprólito. Os minerais primários se encontram em um baixo grau de preservação, razão pela qual não há muitos afloramentos representativos desta litologia (Fig. 5.12).



**Figura 5.11** – Mapa de localização do metassedimento da unidade Córrego do Santo Antônio na Área IV.

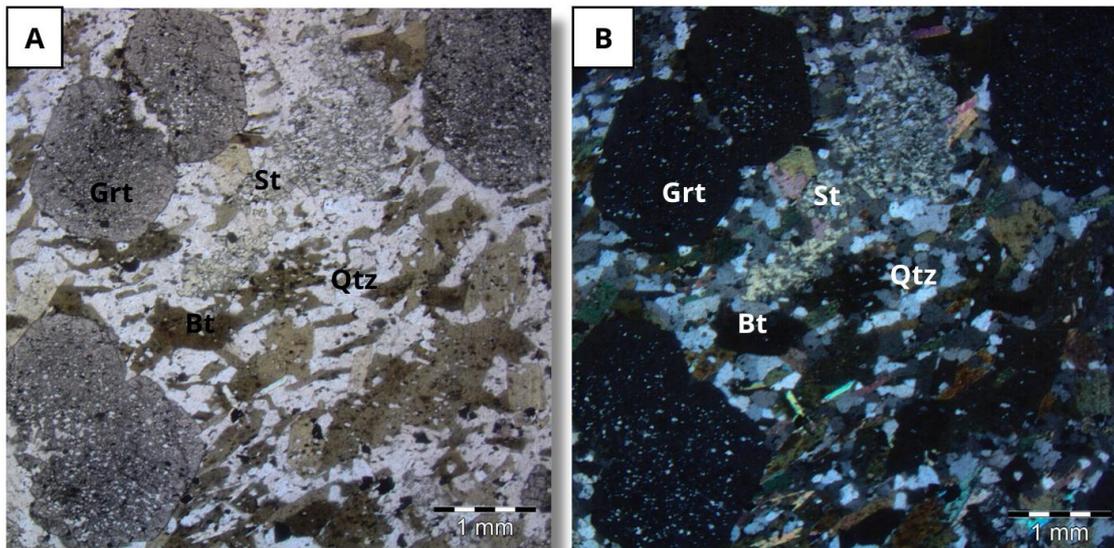


**Figura 5.12** – Aspectos da fácies metassedimentar da unidade Córrego do Santo Antônio. (A) Afloramento *in-situ* de quartzo-muscovita xisto presente no solo local (418070/8189683). (B) Afloramento *in-situ* mostrando o faturamento presente em quartzo-xisto locais (418422/8189770). (C) Amostra de quartzo-muscovita xisto oxidado (418970/8191842).

Os xistos metassedimentares (Fig. 5.12A e B) se expõe entre os corpos máfico-ultramáficos com porporções variadas de muscovita e quartzo, formando um extenso pacote

metassedimentar. O litotipo mais frequente são quartzo-muscovita xistos, nos quais a presença de aluminossilicatos como estauroлита é inferida pela observação de moldes reliquiais, indicando a possível presença de diminutos porfiroblastos. Os quartzitos (Fig. 5.12B) são granoblásticos e micáceos, constituídos por quartzo recristalizado e estirado, mica fina nos planos de foliação incipientes.

Uma amostra de estauroлита-granada-biotita xisto (Fig. 5.13, TF23-X-28) da porção meridional do projeto integrado, foi escolhida para agregar uma análise petrográfica. Tal rocha apresenta uma textura predominantemente granoblástica caracterizada pela presença de agregados (*ribbons*) de cristais de quartzo recristalizados. Entremeados a esses agregados, ocorrem placas de biotita e muscovita sem orientação preferencial, nem mesmo nas adjacências dos porfiroblastos da rocha. Os porfiroblastos são de granada e estauroлита, ambos apresentam uma textura pós-cinemática, indicada pelas suas relações indiferentes à foliação. Além disso, a rocha apresenta venulações discordantes da trama tectônica, sendo mais evidentes quando afetam os porfiroblastos. Estas venulações aparentam ser compostas por mica fina. Outra característica marcante é a abundância de minerais opacos, ocorrendo de forma disseminada no arcabouço, tanto como inclusões nos porfiroblastos.



**Figura 5.13** – Aspectos em lâmina das fácies metassedimentar do Córrego do Santo Antônio. (A) Fotomicrografia (2,5x) a nicóis paralelos do estauroлита-granada-biotita-xisto com textura nematoblástica. (B) Fotomicrografia (2,5x) a nicóis cruzados com destaque para a estauroлита no centro com inclusões de quartzo e minerais opacos a ponto de serem quase pseudomorfisados.

O quartzo (35 %) é o principal componente da trama granoblástica da rocha, ocorrendo como cristais hipidiomórficos, com contatos poligonais suturados, presença de feições de migração de bordas de grão e extinção ondulante.

As biotitas (20 %) possuem hábitos placosos com orientações aleatórias dentro dos domínios granoblásticos. Apresentam inclusões de cristais de quartzo e de minerais opacos. Os cristais mais preservados contêm bordas mais retilíneas e poligonais, enquanto os mais alterados apresentam bordas sinuosas e corroídas, com engolfamentos e contatos convexos. Ademais, os grãos mais preservados apresentam pleocroísmo característico das biotitas, com tons escuros e claros de marrom, cores de interferências altas que podem chegar até o início da quarta ordem, indicando um conteúdo rico em ferro, além de extinção picotada (*Birds-eye*). Já os grãos mais alterados, são cristais xenomórficos, com pleocroísmo menos pronunciado em tons de marrom esverdeado e cores de interferência mais baixas, no máximo até o início da segunda ordem. O seu aspecto turvo aponta para algum processo de alteração ou oxidação.

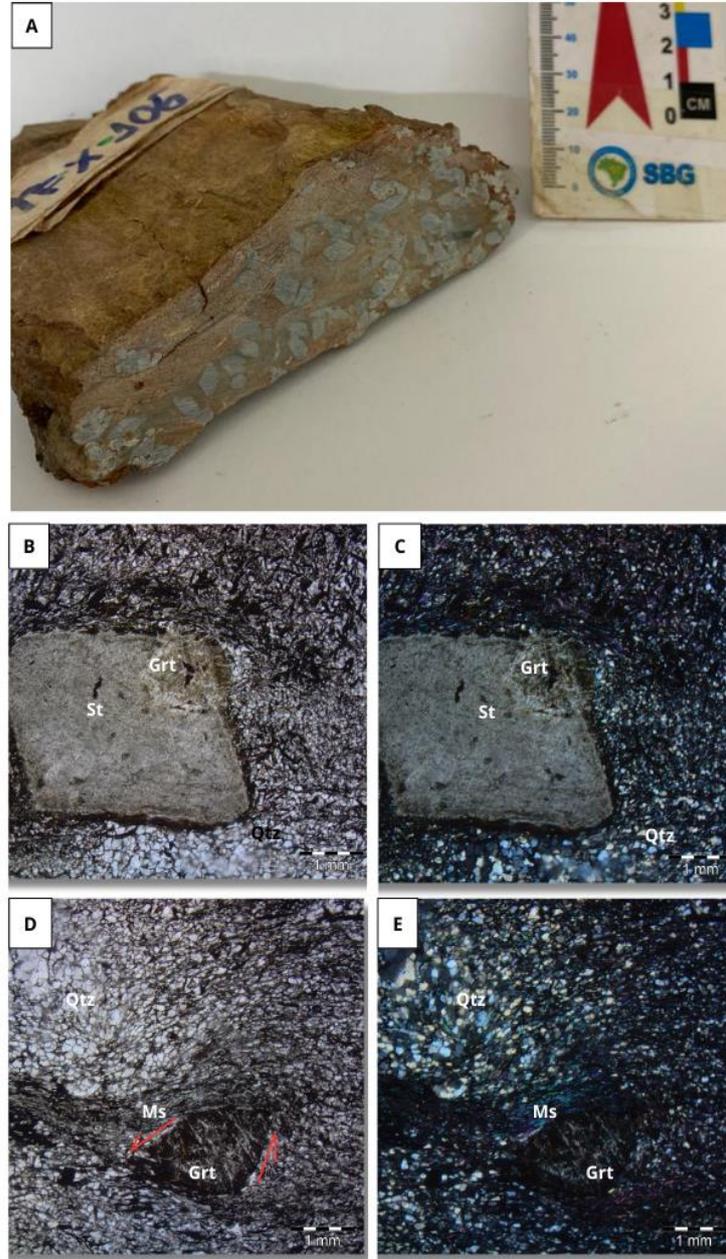
A muscovita (5 %) ocorre de forma subordinada, entremeada de aleatoriamente junto aos cristais de quartzo. São cristais hipidiomórficos, incolores, de baixo relevo e com cores de interferência que podem atingir o início da terceira ordem associada a uma extinção picotada.

A granada (15 %) constitui porfiroblastos subédricos e mais raramente anédricos, incolores e com alto-relevo. Possuem inúmeras inclusões de quartzo e minerais opacos. A estaurolita (15%) também compõe porfiroblastos na trama deformada da rocha. São cristais subédricos a anédricos, de alto-relevo, coloração creme com distinto pleocroísmo. Também contém várias inclusões de quartzo e minerais opacos a ponto de serem quase pseudomorfisadas por essas inclusões. Assim como as granadas, esses porfiroblastos cortam a foliação, indicando um caráter pós-cinemático.

A paragênese mineral, observada pela análise microscópica, ilustra um característico caso de um metamorfismo progressivo de médio P/T de sedimentos pelíticos. Deste modo, a associação de Quartzo + Biotita + Muscovita + Granada + Estaurolita, é compatível com um metamorfismo na fácies anfíbolito, zona da estaurolita.

Outra rocha metassedimentar foi analisada petrograficamente como forma de complementar a caracterização das observações de campo dos litotipos metassedimentares da Área IV. Neste caso, também foi selecionado uma amostra da parte meridional do projeto. A rocha em questão é um clorita-granada-estaurolita xisto (Fig. 5.14, TF23-AX-106) a qual apresenta uma textura granoblástica a lepidoblástica. A fração lepidoblástica é formada por filmes de muscovita e biotita subordinada, apresentando um padrão de crenulação a qual envolve e contorce os domínios granoblásticos. Este último é composto por agregados de cristais recristalizados de quartzo e raramente feldspatos. Este arcabouço determina a foliação da rocha e envolve porfiroblastos de granada e estaurolita. Ambos porfiroblastos se encontram

pseudomorfisados e preenchidos quase que inteiramente por mica fina. Os porfiroblastos de granada apresentam uma relação pré- a sin-cinemática, indicada pela incorporação retorcida da foliação. Já os porfiroblastos de estaurolita, apresentam uma relação pós-cinemática.



**Figura 5.14** – Características das fácies metassedimentares da unidade Córrego do Santo Antônio. (A) Amostra de mão de clorita-estaurolita-granada-xisto do TF-X-106. (B) Fotomicrografia (2,5x) a nicóis paralelos do clorita-granada-estaurolita xisto com textura granoblástica. (C) Fotomicrografia com estaurolita englobando parcialmente um porfiroblastos de granada a nicóis cruzados. (D) Fotomicrografia (2,5x) a nicóis paralelos com destaque a granada rotacionada em sentido sinistral. (E) Destaque a muscovita presente na foliação marcao pela cinemática a nicóis cruzados (2,5x).

A muscovita (25 %) apresenta o típico hábito placoso e fibroso, se concentrando preferencialmente em filmes de domínios anastomosados de alto *strain* (*P-domains*) que contornam e envolvem os porfiroblastos de rocha. Apresentam cores de interferência variadas,

podendo chegar até meados de segunda ordem e podem ocorrer como lamelas disseminadas entre os agregados quartzo-feldspático nos domínios granoblasticos. No caso das biotitas (10 %), estas ocorrem de forma mais subordinada em relação à muscovita e estão presentes, na maior parte, como lamelas isoladas em meio aos domínios granoblasticos. Apresentam seu característico pleocroísmo amarronado e se encontram, muitas vezes, alteradas e parcialmente oxidadas. É, também, observado, cristais de clorita (5%) restritos a zonas de sombra de pressão e nas bordas recristalizadas dos porfiroblastos, principalmente das estaurolitas. São produtos de alteração das biotitas, portanto, se apresentando sempre associadas a estas.

O quartzo (35 %) é o principal constituinte dos domínios granoblásticos, formando, agregados (*ribbons*) de grãos recristalizados, muitas vezes envolvidos no fluxo contorcido da crenulação da rocha e, outras vezes, se acumulando nas bordas dos porfiroblastos e nas sombras de pressão destes. Muitos cristais apresentam extinção ondulante, texturas de migração de borda de grãos e subgrãos, o que indica que processos de recristalização e *recovery* tiveram influência.

A granada (10 %) constitui porfiroblastos submilimétricos e são pseudomorfos, inteiramente substituídos por mica fina e inclusões de muscovitas provenientes da foliação. Estas inclusões indicam uma continuidade da foliação, se mostrando retilíneas com continuidade de uma borda a outra, assim como retorcidas pela rotação dos porfiroblastos. Tais evidências permitem a interpretação de que os porfiroblastos são pré- e sin-cinemáticos.

No caso da estaurolita (10 %), estas possuem dimensões milimétricas, hábitos losangulares e assim como as granadas, são pseudomorfos, sendo inteiramente substituídas por mica branca. No entanto, apresentam um aspecto mais homogêneo, sem inclusões de muscovita provenientes da foliação. Além disso, alguns porfiroblastos de estaurolita são observados englobando parcialmente porfiroblastos de granada, indicando que pelo menos em parte, os porfiroblastos de granada concluíram seu processo de crescimento antes dos de estaurolita. Os minerais acessórios da rocha são essencialmente opacos (5 %)

A paragênese mineral, neste caso, também ilustra um metamorfismo regional progressivo de médio P/T de sedimentos pelíticos. A associação de Quartzo + Biotita + Muscovita + Granada + Estaurolita + Clorita, é também condizente com um metamorfismo na fácies anfíbolito, na zona da estaurolita.

### **5.1.2 Unidade Córrego da Onça - NP1apo**

A Unidade Córrego da Onça representa a porção oriental da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas, ocorrendo a leste do Gnaisse Ribeirão e da

intrusão granítica da Serra do Iran. Compõe-se por faixas de rochas metavulcânicas e, subordinadamente, metassedimentares de direção NNW que podem ser divididas, assim como proposto por Pimentel (1985), em três sub-unidades: sub-unidade máfica, intermediária-félsica e metassedimentar.

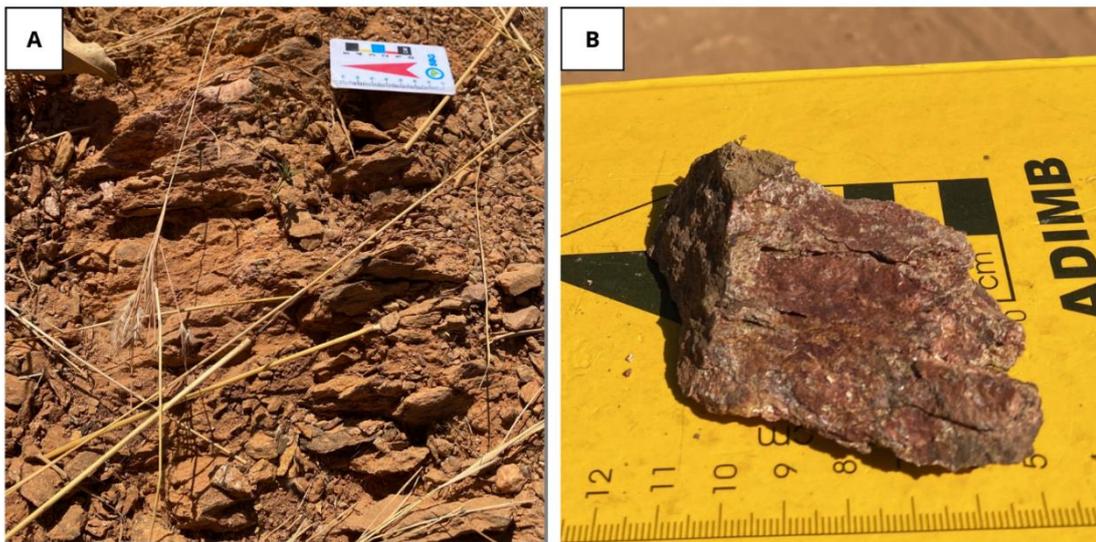
As rochas da unidade Córrego da Onça ocorrem de forma restrita na Área IV, sob um alto grau de alteração e em porções arrasadas associadas ao regolito. São encontradas em um baixo nível de exposição na forma de lentes de xistos metassedimentares e raramente xistos de composição mais máfica, geralmente, em associação de intercalação com as rochas do Gnaiss de Arenópolis, corroborando a hipótese de que esses pacotes supracrustais estiveram justapostos, em um mesmo ambiente tectônico, aos protólitos dos gnaisses e, envolvidos, posteriormente, nas mesmas fases de deformação.

Devido a pequena representatividade dos xistos de composição máfica, bem como a sua difícil caracterização devido ao avançado estado de alteração, serão abordados na presente seção apenas os litotipos referentes à sub-unidade metassedimentar, aqui tratada como Fácies Metassedimentar.

#### ***Fácies Metassedimentar (NP1apox)***

Esta fácies seria correspondente a subunidade metassedimentar de Pimentel (1985). Ocorre de forma restrita na Área IV, tendo ocorrência na região nordeste do Granito Serra do Iran. Devido a sua restrição não foi possível incluí-la na escala de mapeamento. Trata-se de muscovita xistos muito intemperizados, os quais observa-, na maioria das vezes, apenas um saprólito com pouca estruturação preservada, aflorando nos cortes das estradas não pavimentadas da área (Fig. 5.15).

Os muscovita xistos formam espécies de lentes descontínuas e são compostos predominantemente de quartzo e muscovita. Os minerais restantes se encontram bastante alterados, podendo ser reconhecidos argilominerais, como caulinita, óxidos, hidróxidos de ferro e clorita subordinada. Os xistos apresentam texturas predominantemente nematoblástica e localmente granoblástica, variação dada pelo maior ou menor conteúdo de quartzo e muscovita presente nas rochas.



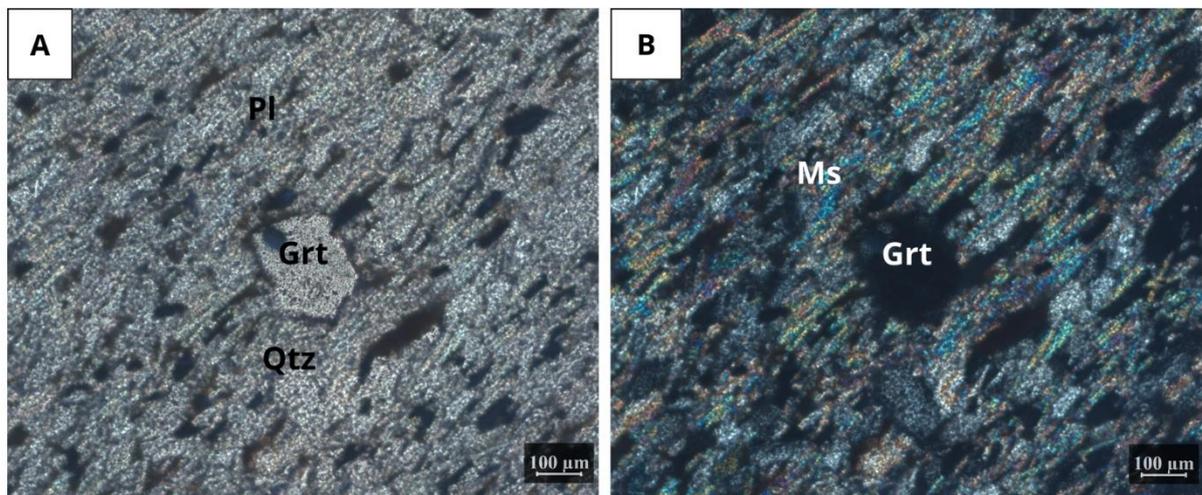
**Figura 5.15** – Aspectos da unidade metassedimentar da Unidade Córrego da Onça. (A) Afloramentos *in-situ* de metassedimento presentes no chão de terra local (434489/8191442). (B) Amostra bastante oxidada de muscovita-quartzo xisto (432951/8192295).

Estas rochas foram ilustradas em análise petrográfica por equivalentes na Área X do projeto, os quais revela tratar se de granada-muscovita-quartzo xisto (Fig. 5.16, TF23-VII-202). Possui granulometria fina, com textura granoblástica composta por quartzo, plagioclásio, muscovita e mais raramente granada. Esses minerais se apresentam bem distribuídos, compondo uma trama mais ou menos homogênea, exceto em alguns domínios onde agregados de cristais de quartzo se acumulam formando horizontes subparalelos a foliação. Em domínios onde as placas finas de muscovita se acumulam, é possível observar que a foliação apresenta suaves ondulações, mostrando que rocha se apresenta crenulada.

Os cristais de quartzo (45 %) da rocha são hipidiomórficos, apresentando contatos suturados, junções tríplexes, migração de borda de grãos e subgrãos, sugerindo a atuação de processos de recristalização e *recovery*. É comum observar os agregados recristalizados sendo envolvidos pela crenulação. A muscovita (30 %) se apresenta como placas finas e incolores. Se mostram dispersas no arcabouço quartzo-feldspático, as vezes sendo acumuladas em filmes delgados, onde é possível analisar a crenulação da rocha em melhor detalhe. Plagioclásio (15 %) também compõe a trama granoblástica, porém em menor proporção. São cristais finos, raramente apresentando algum tipo de geminação, sendo mais facilmente identificado pelo aspecto turvo resultando de saussuritização.

A presença de granada (2 %) é inferida pela ocorrência de moldes euédricos hexagonais observados cortando a foliação da rocha. Devido à dificuldade de preservação dessas rochas, é possível que tais porfiroblastos de granada tenham se perdido durante o processo de confecção

da seção delgada ou mesmo terem sido eliminados durante o intemperismo, deixando apenas espaços vazios. De qualquer forma, constituiriam porfiroblastos de caráter pós-cinemático. Os minerais opacos ocorrem de forma acessória e estão presentes em torno de 8 %, muito destes apresentam hábito placoso, podendo se tratar, portanto, de biotitas ou cloritas oxidadas. Levando isso em consideração, teríamos uma paragênese metamórfica composta de Muscovita + Quartzo + Granada + Biotita + Clorita. Desta forma, pode-se estimar que esta seja uma rocha pelítica em uma transição de fácies xisto-verde alta, mais especificamente na zona da granada, para fácies anfibolito, isto se a granada, a biotita e a clorita forem realmente minerais participativos.

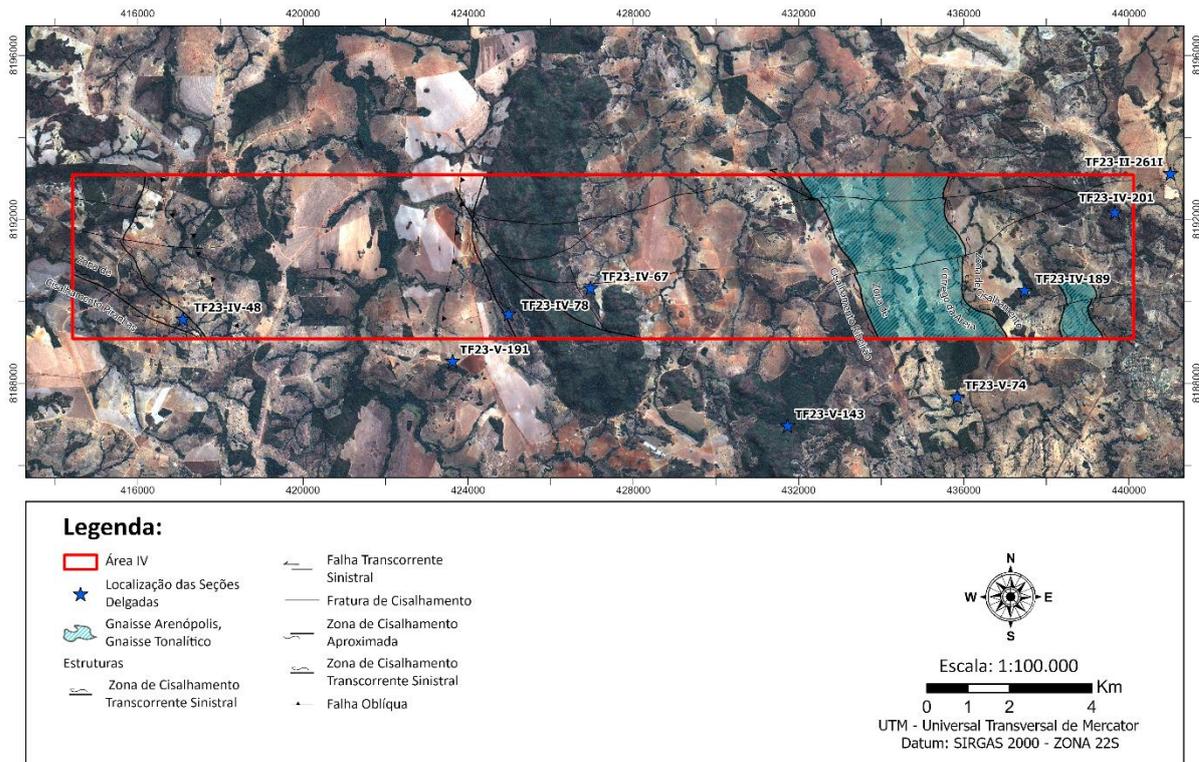


**Figura 5.16** – Aspectos do granada-muscovita-quartzo xisto da Unidade Córrego da Onça. (A) Fotomicrografia (10x) em nicóis paralelos da granada-muscovita-quartzo-xisto com textura granoblástica de granulometria fina com o porfiroblasto de granada pós-cinemático. (B) Fotomicrografia (10x) em nicóis cruzados destacando a muscovita com alta cor de interferência em meio a matriz quartzo-feldspática.

## 5.2 Granito-Gnaisses Tonianos

### 5.2.1 Gnaiss Arenópolis - NP1 $\gamma$ na

As rochas desta unidade estão dispostas regionalmente na direção NNW (Fig. 5.17), sendo que na Área IV, se apresentam como blocos isolados em meio ao relevo arrasado ou como lajedos alongados expostos ao longo das redes de drenagem. Além disso, são encontrados intercalados com lentes de rochas supracrustais da sequência metavulcanossedimentar e como enclaves dentro do corpo batolítico do Granito Rio Caiapó.

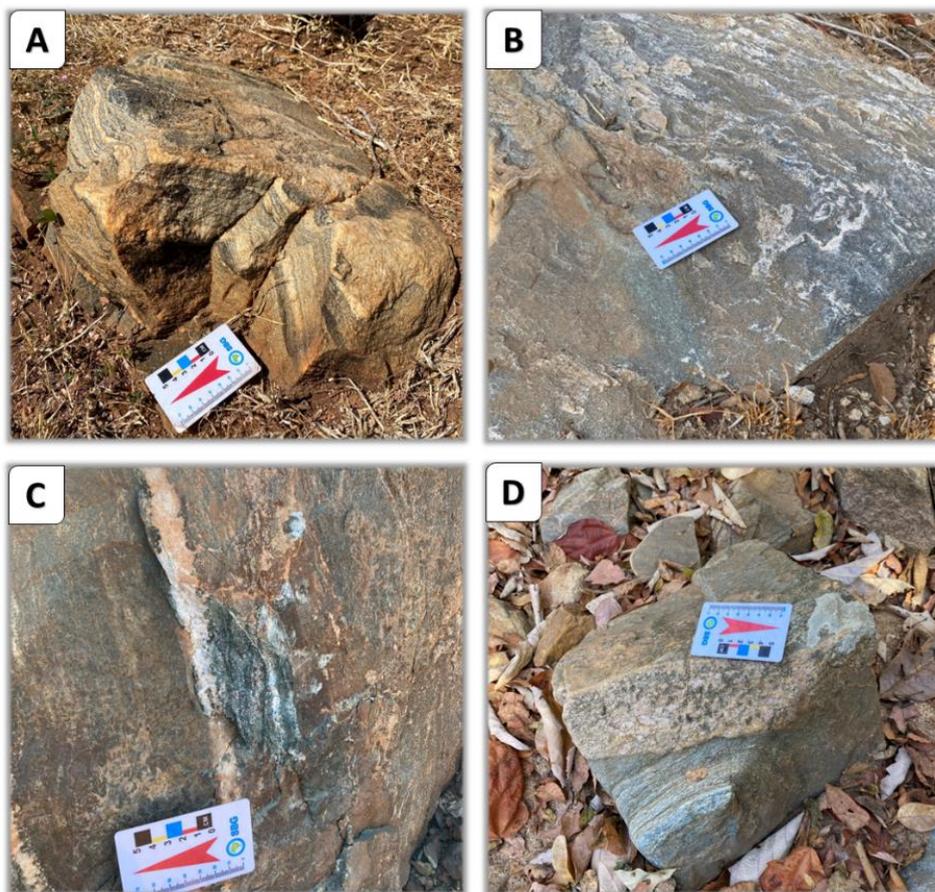


**Figura 5.17** – Localização da unidade Gnaiss Arenópolis presente na Área IV.

O contato da unidade gnáissica com o Granito Serra do Iran se dá por meio da Zona de Cisalhamento Ribeirão, caracterizada por intensa milonitização. Já o limite com Granito o Rio Caiapó não é observado diretamente, porém a foliação associada ao granito nas suas bordas indica que o contato com a Unidade Gnaiss Arenópolis também é por zona de cisalhamento, mais precisamente a Zona de Cisalhamento Córrego da Areia.

Os gnaisses apresentam bandamento gnáissico (Fig. 5.18A) e migmatização localizada (Fig. 5.18B). São rochas de afinidades tonalíticas e granodioríticas com fácies anfibolíticas localizadas e compostos majoritariamente por anfibólio, plagioclásio, quartzo e biotita. Deste modo, as rochas pertencentes a essa unidade podem ser classificadas como hornblenda gnaisses ou hornblenda-biotita gnaisses.

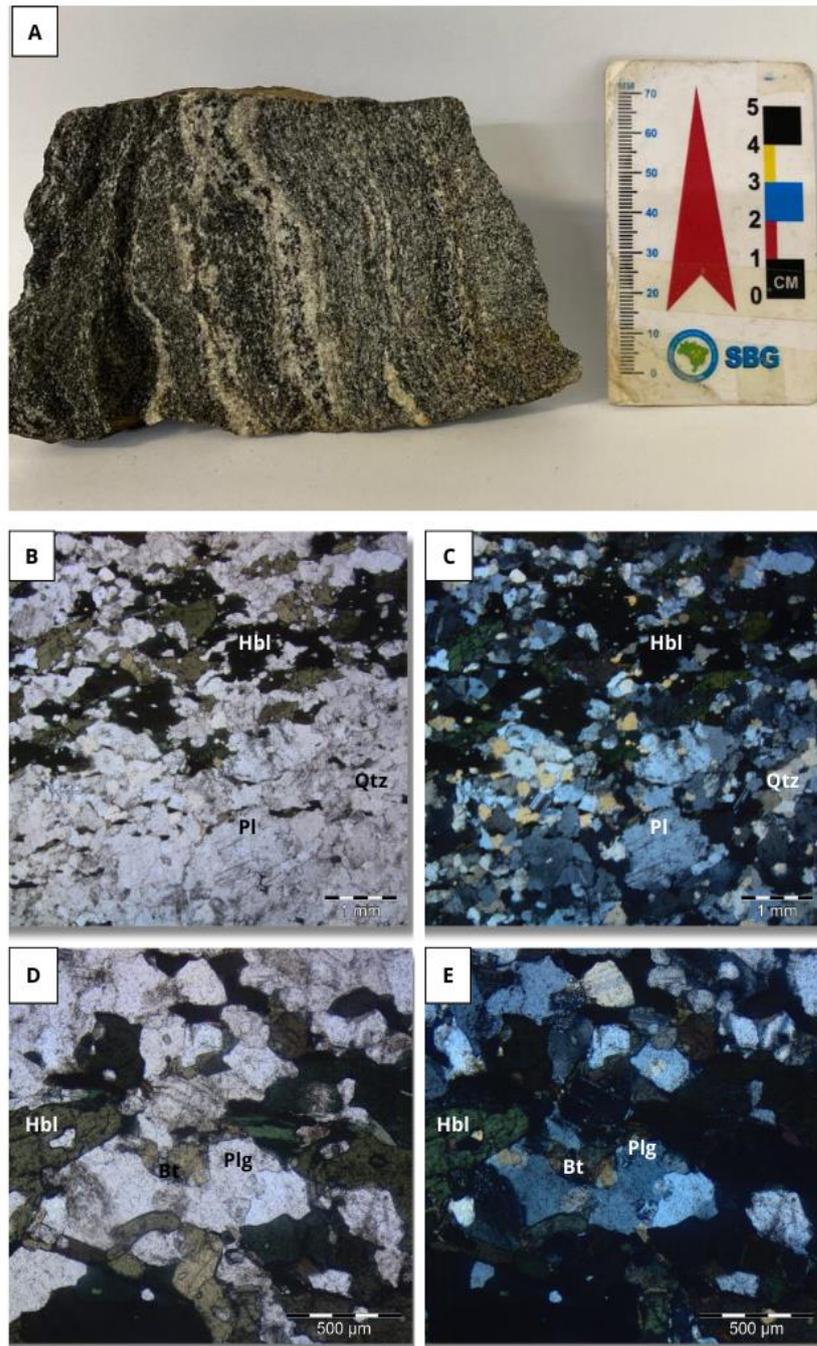
A unidade é marcada por uma mineralogia secundária que evidencia alterações como a cloritização e a epidotização pervasiva com incidência de clorita e epidoto (Fig. 5.18C), respectivamente. Próximo a região de contato com o Granito Serra do Iran, os gnaisses se encontram intrudidos por sienogranitos e evidenciam uma relação de truncamento discordantes ao seu bandamento (Fig. 5.18D)



**Figura 5.18** – Aspectos em campo do Gnaiss Arenópolis. (A) Afloramento *in-situ* do gnaiss tonalítico aflorando como lentes isoladas em meio as rochas do Granito Caiapó (438967/8190533). (B) Blocos *in-situ* de gnaiss aflorante como lente, também, em meio ao Granito Caiapó, com feições de migmatização mostrando leucossomas difusas (434489/8191442). (C) Bloco de clorita hornblenda gnaiss afetado por veios quartzo-feldspáticos. (D) Gnaiss tonalítico bandado cortado por intrusão granítica (433341/8191255).

Em análise petrográfica, as rochas de afinidade tonalíticas se tratam, geralmente, de hornblenda gnaiss (Fig. 5.19, TF23-I-15), a qual se observa domínios que segregam, por meio de bandas milimétricas, as porções máficas e porções félsicas. A rocha trata-se de um gnaiss estruturado em bandamentos, tendo a porção máfica composta por hornblenda e biotita intercalados por bandas milimétricas de quartzo e plagioclásio. A textura é nematoblástica com a biotita e hornblenda seguindo o plano de foliação. A porção félsica do gnaiss é composta, em grande maioria, por quartzo e plagioclásio com alguns cristais de biotita e hornblenda disseminados.

O plagioclásio (35 %) apresenta teores de anortita aproximadamente do oligoclásio (An40). O quartzo (20 %) são cristais xenomórficos e apresenta texturas de recristalização como migração de bordas e subgrãos. O anfibólio é a hornblenda (30 %). Possui um relevo alto, forte pleocroísmo com cores variando em tons de verde, verde pálido a marrom, cores de interferência de 2ª ordem e extinção inclinada.



**Figura 5.19** - (A) Aspecto da amostra de mão de um hornblenda gnaiss presente na Área I similar aos encontrados na Área IV. (B) Fotomicrografia (2,5x) a nicóis paralelos mostrando a textura nematoblástica. (C) Fotomicrografia (2,5x) a nicóis cruzados com quartzo microcristalino na trama. (D) Foto com destaque a relação de contato entre o plagioclásio, biotita e a hornblenda a nicóis paralelos (4x). (E) Fotomicrografia (4x) a nicóis cruzados hornblenda com inclusão submilimétrica de plagioclásio.

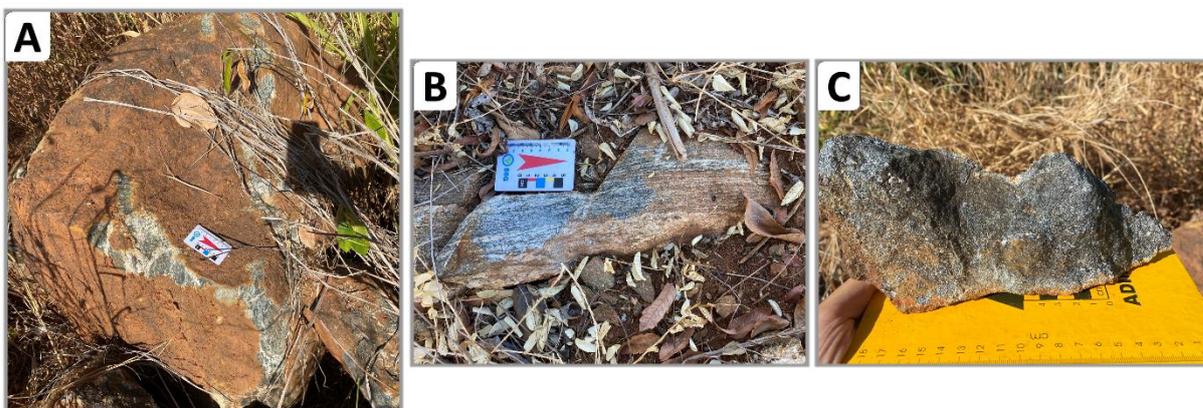
A hornblenda possui inclusões submilimétricas de plagioclásio com relevo baixo, incolor, formato prismático. No entanto, devido ao tamanho e grau de alteração, não foi possível se obter a composição destas inclusões. A biotita (10%) se encontra em menor proporção e muitas das vezes em contato com a hornblenda. Os opacos (5%) apresentam hábitos euédricos

a subédricos e, a julgar pelo leve magnetismo da rocha, pode-se inferir que alguns destes cristais se trate de magnetitas.

Estas observações permitem concluir que a paragênese metamórfica constituída por plagioclásio (oligoclásio) + hornblenda + biotita + quartzo, é condizente com um metamorfismo transicional entre xisto-verde e anfibolito.

A fácies anfibolítica do Gnaiss Arenópolis, é representada por pacotes de anfibolitos e anfibólio xistos que afloram como blocos e matacões rolados, bem como blocos *in-situ* orientados para NW. Estão localizados entre os Granitos Serra do Iran e Rio Caiapó e a norte do Gnaiss Arenópolis, região nordeste da área.

Os anfibolitos (Fig. 5.20A) são compostos por plagioclásio, anfibólio e algum quartzo, além de magnetita. Este litotipo contém textura nematoblástica e granulação média. Por vezes se apresentam foliados (Fig. 5.20B), hora são mais homogêneos (Fig. 5.20C).



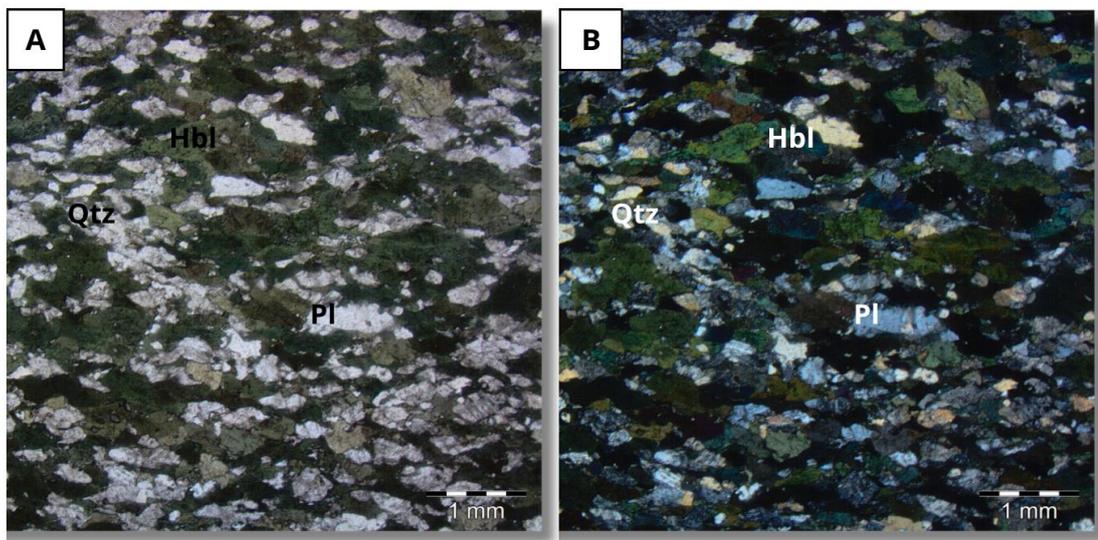
**Figura 5.20** – Aspectos em campo do anfibolito da unidade Gnaiss Arenópolis. (A) Blocos rolados de anfibolitos ocorrendo como blocos soltos em meio a pastagem (433719/8192603). (B) Pequeno bloco rolado de anfibolito foliado. (C) Amostra de anfibolito do Gnaiss Arenópolis com granulometria média.

A petrografia de um desses litotipos revela que são anfibolitos de granulometria média (Fig. 5.21, TF23-II-146). A rocha é marcada por cristais xenomórficos de hornblenda, plagioclásio e quartzo, homogeneamente distribuídos e estirados no sentido da foliação. Raros cristais de hornblenda apresentam uma granulometria maior, podendo representar porfiroblastos pseudomorfos. Podem atingir até 5 mm de comprimento e formam agregados com cristais recristalizados e, em alguns casos, apresentam formato sigmoidal. Além disso, estes cristais de maiores dimensões, frequentemente apresentam inclusões de quartzo e plagioclásio.

A hornblenda (40 %) é xenomórfica, estirada, com bordas sinuosas e com frequentes contatos convexos. Apresentam acentuado pleocroísmo em tons de verde-escuro, verde-pálido

e marrom, cores de interferência que podem atingir intermédios da segunda ordem. Os cristais são geralmente finos e se apresentam disseminados em meio ao arcabouço granoblástico. O plagioclásio (30%, An45-60, andesina) são cristais xenomórficos e estirados. Grande parte se apresenta sericitizados, mostrando diminutas inclusões de mica fina, o que lhes conferem uma característica similar a extinção picotada (*Birds-eye*). Além disso, quando os cristais se apresentam em elevado grau de desintegração, formam-se massas finas intersticiais. O quartzo (30%) contém um caráter mais hipidiomórfico, com feições de migração de borda de grão, apontando para uma origem ligada à recristalização. Os minerais opacos ocorrem em proporções próximas aos 5%.

A associação paragenética dada por plagioclásio (andesina) + hornblenda + quartzo, é compatível com um metamorfismo em fácies anfíbolito.



**Figura 5.21** – Características em lâmina das fácies anfíbolito na unidade Gnaiss Arenópolis. (A) Anfíbolito da amostra TF146-AII sobre fotomicrografia (2,5x) a nicóis paralelos com textura nematoblástica. (B) Fotomicrografia (2,5x) da amostra sobre nicóis cruzados com os plagioclásios saussuritizados.

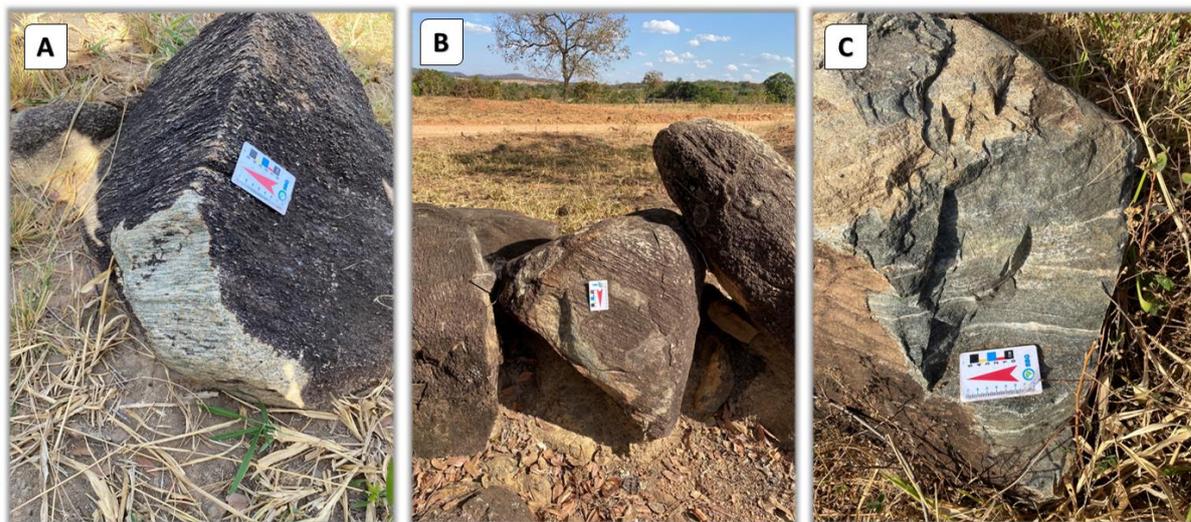
### 5.3 Granitos Sin a Tardi-tectônicos

#### 5.3.1 Granito Serra do Tatu - NP2yst

As rochas dessa unidade ocorrem como faixas estreitas de direção NNW sob um relevo relativamente acidentado e ondulado, sustentando a Serra do Tatu. O corpo granítico Serra do Tatu faz contato, na sua parte oeste, por falha com o Gnaiss Arenópolis e a Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas. Além disso, é intrudido pelo Granito Rio Caiapó e Granito Serra do Iran na sua porção norte.

Na Área IV, foi encontrado um ponto com afloramentos desta unidade, motivo pelo qual não foi inserida em escala e mapa. Estão localizados na porção meridional leste e possivelmente representam uma lente tectonicamente imbricada com rochas do Gnaiss Arenópolis, provavelmente se manifestando através da Zona de Cisalhamento Ribeirão.

Devido à intensa foliação milonítica e à proximidade com possíveis zonas de contato, alternativamente, é possível que estas rochas se trate de litotipos do Gnaiss Arenópolis milonitizados, sem bandamento gnáissico. Essa hipótese é levantada pela presença de blocos de hornblenda gnaisses na região do afloramento (Fig. 5.22C).

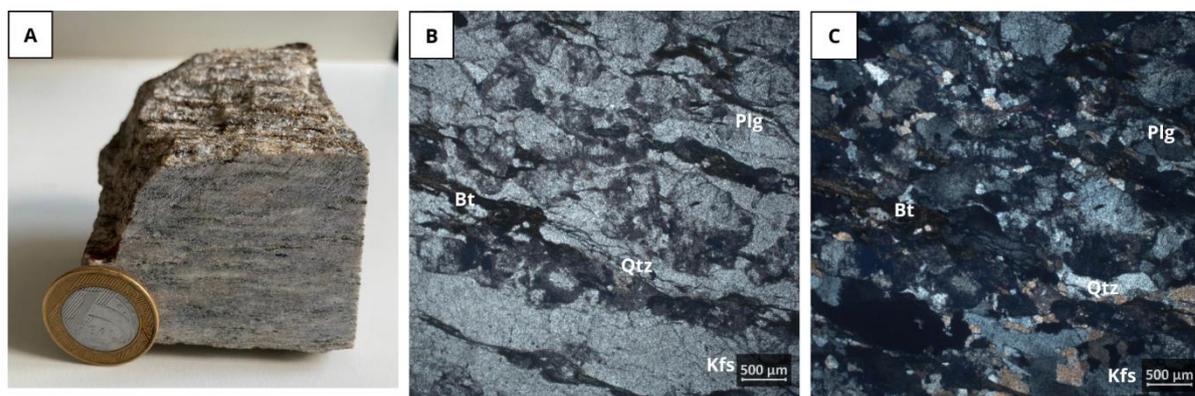


**Figura 5.22** – Aspecto em campo do Granito Serra do Tatu. (A) Bloco basculado do Granito Serra do Tatu com destaque a foliação milonítica (435729/8187823). (B) Blocos basculados do Granito Serra do Tatu (435729/8187823). (C) Blocos de hornblenda gnaiss com porfiroblastos de plagioclásio ocorrendo de forma alternada com os blocos de granito milonítico, indicando uma possível zona de contato entre unidades por meio de zona de cisalhamento.

Esta litologia ocorre na forma de matações rolados e dispersos ao redor de uma suave serra de direção NNW. Trata-se de um granito leucocrático milonitizado, de coloração esverdeada e rosada (Fig. 5.22A-B). A rocha é composta por quartzo, feldspato potássico, plagioclásio, clorita e muscovita. Estes minerais se encontram estirados na direção da foliação, incluído o feldspato e o quartzo nas partes mais milonitizadas. A textura varia de granoblástica a nematoblástica.

A partir da análise petrográfica, observa-se que essas rochas podem ser caracterizadas como um granito milonítico (Fig. 5.23, TF23-V-74) que apresenta, também, textura granoblástica com cristais de quartzo, plagioclásio e microclínio, ambos estirados no sentido da foliação. A foliação milonítica é determinada basicamente por filmes de biotitas, frequentemente transformadas para clorita. Essa foliação envolve e rotaciona porfiroclastos de plagioclásio e mais raramente de quartzo. Os domínios granoblásticos são horizontes quartzo-

feldspáticos recristalizados (*ribbons*) que se alternam com os domínios miloníticos formando porções de alto de baixo *strain*. Uma feição comum de se observar nas porções onde prevalecem o plagioclásio e o microclínio são intercrescimentos do tipo simplectítico, indicando a possível ação de fluidos transportando agentes químicos durante os esforços que geraram a zona de cisalhamento responsável pela foliação milonítica ou até mesmo um processo relacionado a reações de retrometamorfismo.

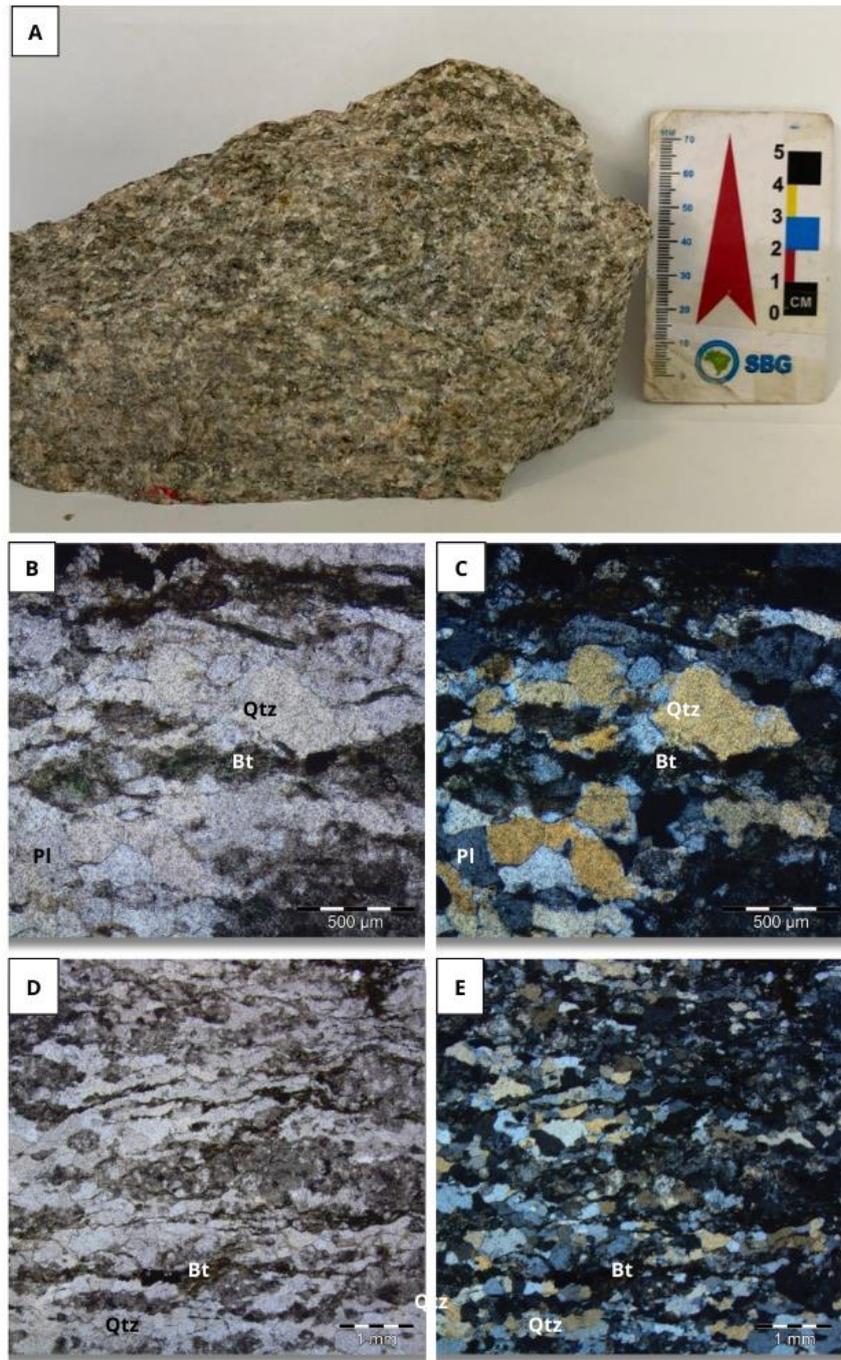


**Figura 5.23** – Características da unidade Serra do Tatu. (A) Amostra de mão da amostra do granito milonítico da Serra do Tatu presente na Área V. (B) Fotomicrografia (2,5x) com nicóis paralelos mostrando a matriz com quartzos recristalizados em meio biotita no plano da foliação. (C) Fotomicrografia (2,5x) da lâmina sobre nicóis cruzados.

O quartzo (35%) é um componente expressivo e faz parte dos domínios de baixo *strain* (*p-domains*). Mostra notáveis contatos poligonais e engolfamentos com feições de migração de bordas de grão, subgrãos e extinção ondulante, indicando processos de recristalização e *recovery*. O plagioclásio (15%, An40, andesina) também é um componente dos domínios granoblásticos. Trata-se de cristais xenomórficos a hipidiomórficos, mostram geminações polissintéticas e as vezes formam massas finas intersticiais decorrentes da saussuritização. O feldspato potássico observado é o microclínio (20 %) e ortoclásio (5 %) ambos diferenciados pela geminação em xadrez (*tartan*) e pela geminação simples do tipo *carlsbad*, respectivamente. No caso do microclínio, os cristais podem ser micropertíticos, cujas lamelas de exolução se apresentam contorcidas (*flames*) pela deformação da rocha. A biotita (20%) forma placas finas contorcidas pela foliação milonítica e possuem seu típico pleocroísmo amarronado. Além disso, é frequente observar cristais de biotita alteradas para clorita (10%), que por sua vez se associam a cristais granulares de epidoto (5%).

Comparativamente, foi realizada uma análise petrográfica em litotipos de ocorrência da área tipo dos granitos da Unidade Serra do Tatu. Neste caso, a rocha também é um granito milonítico (Fig. 5.24, TF23-VI-101) com domínios granoblásticos entre os planos da foliação

milonítica. Em relação ao milonito descrito na Figura 5.22, as únicas diferenças que se assinalam estão relacionadas a proporção modal dos relativos constituintes, bem como ao estado de alteração e deformação.



**Figura 5.24** – Características das rochas miloníticas do Granito Serra do Tatu. (A) Amostra de mão do granito milonítico onde se observa textura nematoblástica da Serra do Tatu presente na Área VI. (B) e (C) Fotomicrografias (4x) em nicóis paralelos e cruzados, respectivamente, mostrando os agregados de quartzo recristalizado entre as biotitas na foliação. (D) e (E) Fotomicrografias (2,5x) mostrando a textura nematoblástica com os cristais seguindo a foliação da litologia.

A foliação milonítica é, neste caso, bastante pronunciada. É conformada, também, por filmes de biotitas com alterações para clorita. A foliação envolve porfiroclastos de microclínio, plagioclásio e mais raramente de quartzo. Os domínios granoblásticos são predominantemente compostos por quartzo recristalizados e plagioclásio bastante alterado. Uma característica marcante é a presença de inclusões de porfiroblastos uns em relação aos outros, por exemplo, inclusões de porfiroblastos de microclínio em porfiroblastos de plagioclásios. Os porfiroblastos apresentam relação sin a pós-cinemática.

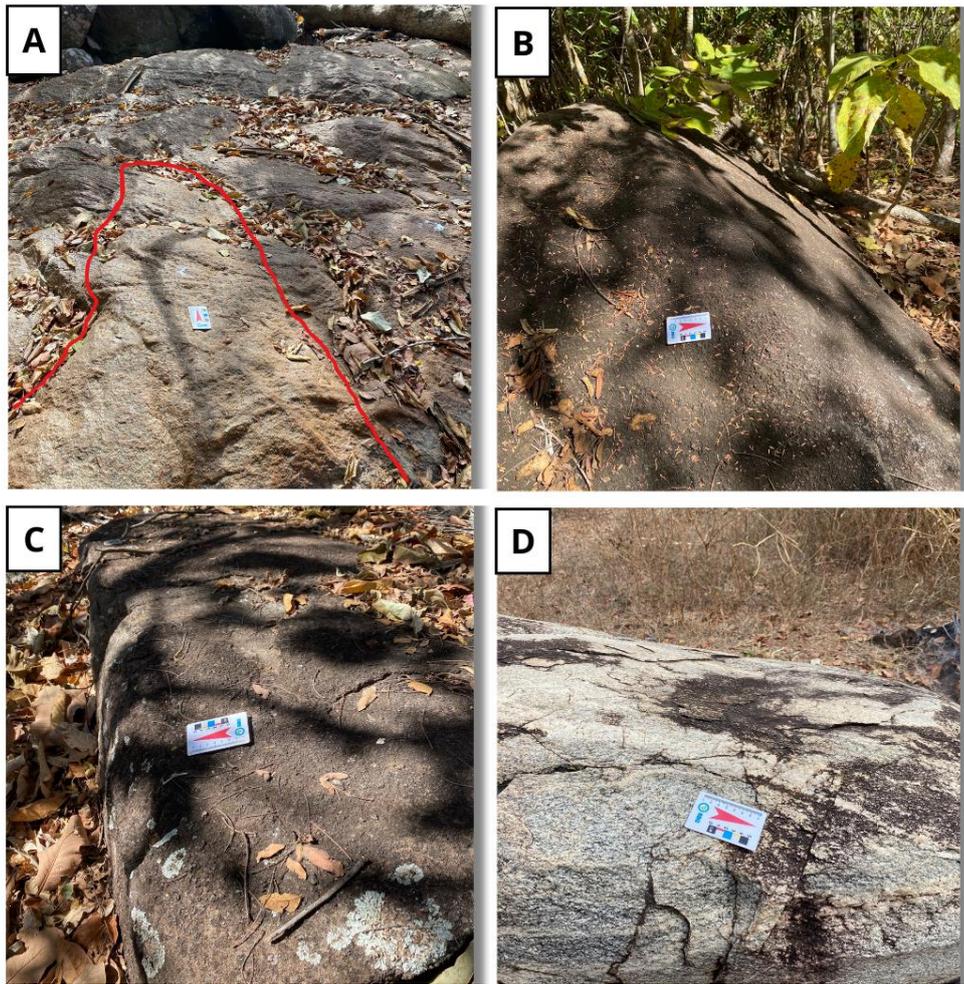
O quartzo (40 %) é o principal mineral da fração granoblástica. Mostra contatos poligonais, engolfamentos, migração de bordas de grão, subgrãos e extinção ondulante. O plagioclásio (15 %, An25-30, andesina) é mais evidente como porfiroblastos, se apresentando muitas vezes zonados e com núcleos saussuritizados, porém são também notáveis nos domínios granoblasticos, onde se mistura com o quartzo e se apresenta intensamente alterado. O feldspato potássico é o microclínio (25 %) e ocorre como porfiroblastos que mostram lamelas de exsolução/exsoluções deformadas (*flames*). A biotita (5 %) forma filmes delgados na foliação milonítica e se encontra, geralmente, alterada para clorita (10 %). Os minerais acessórios são titanita, zircão e opacos (5 %).

### **5.3.2 Granito Ribeirão Água Limpa - NP2 $\gamma$ 1**

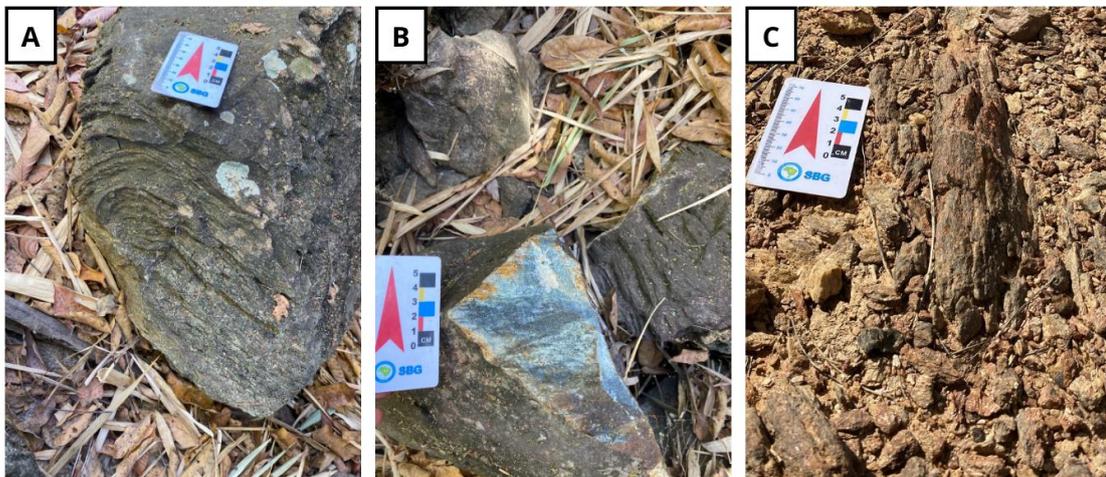
A oeste da Unidade Córrego Santo Antônio ocorre uma vasta área onde incide um corpo granítico bastante heterogêneo, em geral, porfirítico atribuídos à unidade Ribeirão Água Limpa. O contato com os xistos e anfibolitos da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas ocorre por meio de zonas de cisalhamento transcorrentes, a julgar pelo caráter da foliação milonítica encontrado em alguns litotipos e pela relação entre lineações de estiramento e foliação em anfibolitos presentes nas suas adjacências.

Na Área IV, esta unidade granítica apresenta uma ampla variedade de litotipos, desde monzogranitos (Fig. 5.25A e C), granodioritos (Fig. 5.25D) a tonalitos (Fig. 5.25B). Na escala do mapa geológico integrado não foi possível um maior detalhamento da distribuição das suas fácies. No entanto, a nível do mapeamento da presente área do projeto (Fig. 5.1) tais fácies foram discriminadas, se apresentando em consonância com as suas descrições nesta seção.

Em meio a este conjunto de rochas plutônicas ocorrem, também, rochas acinzentadas e esverdeadas, foliadas e dobradas, possivelmente anfibolitos da Unidade Córrego do Santo Antônio. Em alguns domínios dessas últimas, é possível observar bandamentos incipientes (Fig. 5.26A-B). Ocorrem também, lentes de muscovita xistos intensamente alterados em pequenas áreas. (Fig. 5.26C).



**Figura 5.25** – Aspectos de afloramentos da unidade Granito Ribeirão Água Limpa. (A) Afloramento de monzogranito em lajedo, situado em uma drenagem intermitente, mostrando intrusões pegmatíticas em destaque (414489/8191429). (B) Afloramento *in-situ* de tonalito (414983/8192037). (C) Afloramento *in-situ* de monzogranito (414612/8192445). (D) Lajedo de granodiorito foliado em meio a Unidade Córrego do Santo Antônio (417100/8189563).

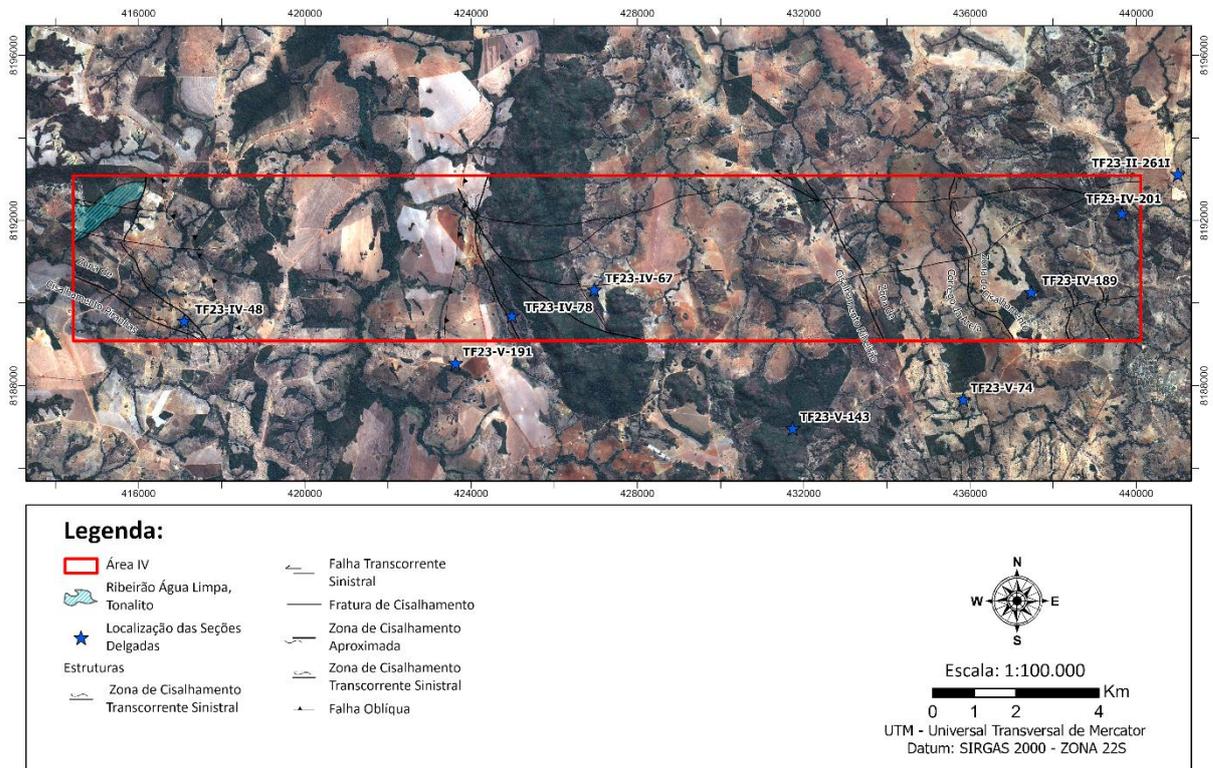


**Figura 5.26** – Aspectos em campo do anfibolito presente na Unidade Ribeirão Água Limpa. (A) Anfibolito dobrado no Ribeirão Água Limpa (415257/8191732). (B) Blocos rolados de anfibolito da sequência presente entre o Granito Água limpa (415257/8191732). (C) Afloramento presente em estrada local de mica-xisto entre os granitóides do Ribeirão Água Limpa (414546/8192121).

As rochas ocorrem como afloramentos em forma de lajedo e blocos rolados de extensão métrica, dômicos e coloração de cinza-esbranquiçados a tons rosados. Estes litotipos variam de tonalitos a granodioritos leucocráticos, por vezes foliados ressaltados pelas micas presentes. São compostos por quartzo, plagioclásio, feldspato alcalino, hornblenda, biotita, muscovita e magnetita, com proporções variadas a depender das fácies em questão. Todas as fácies apresentam magnetismo, mesmo que de forma leve, causado pela presença de magnetita. A textura nestas rochas varia de equigranular a inequigranular, quando da presença de porfiroblastos de feldspato potássico em meio a foliações de caráter milonítico.

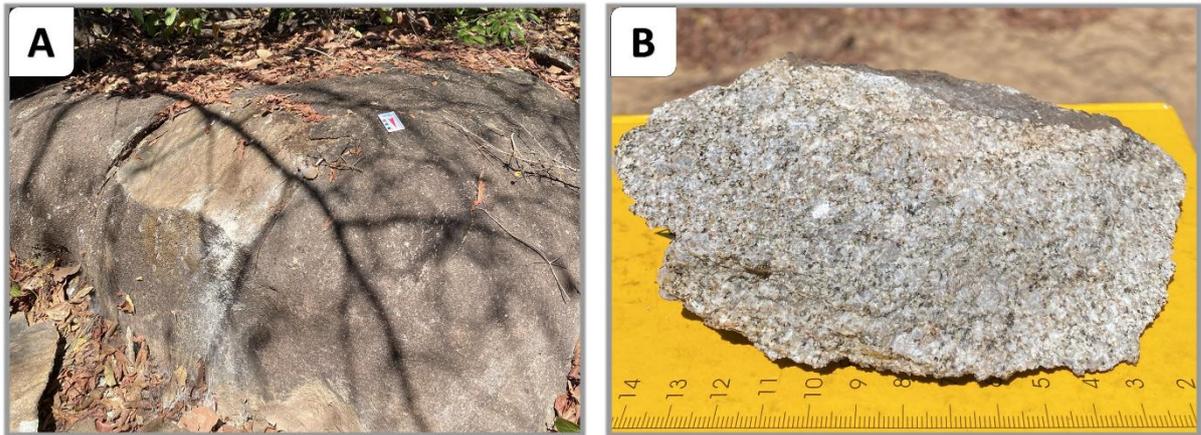
***Fácies Hornblenda-biotita Tonalito (NP2ayalhbt)***

Esta fácies ocorre de forma generalizada na Área IV (Fig. 5.27). Em escala de afloramento se caracteriza por apresentar coloração cinza a levemente rosada, tanto na capa intempérica quanto na rocha fresca.



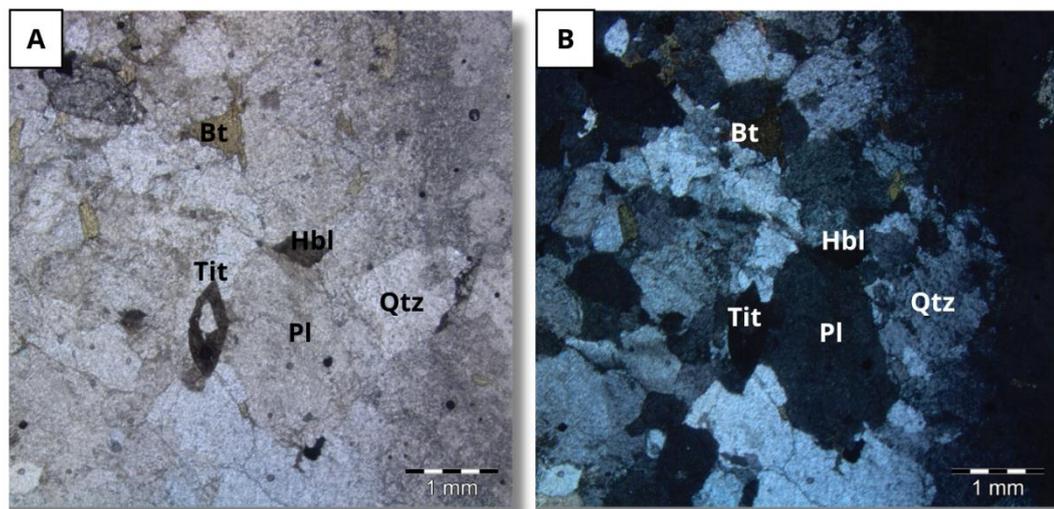
**Figura 5.27** – Localização das fácies tonalíticas do Granito Ribeirão Água Limpa na Área IV.

A textura é equigranular a inequigranular, de granulação média e compostas por quartzo, plagioclásio, feldspato potássico e, biotita e hornblenda subordinada. As rochas, no geral, tornam-se menos foliadas para a parte central do corpo (Fig. 5.28).



**Figura 5.28** – Aspectos em campo das fácies tonalítica da unidade Ribeirão Água Limpa. (A) Afloramento *in-situ* de tonalito pertencente à unidade Ribeirão Água Limpa (414491/8192306). (B) Amostras de mão do tonalito aflorante na imagem A (414491/8192306).

A petrografia foi suplementada pela análise de secções delgada de termos similares aos encontrados na Área IV (Fig. 5.29, TF23-VI-303). Essas rochas são leucocráticas, portanto classificadas como leucotonalitos. A amostra apresenta granulometria média, textura granoblástica com o contato lobado entre os cristais. A biotita e o anfibólio estão disseminados por toda a rocha e não apresentam uma orientação preferencial de foliação. Os cristais de quartzo e plagioclásio, por vezes, formam agregados de formato arredondado.



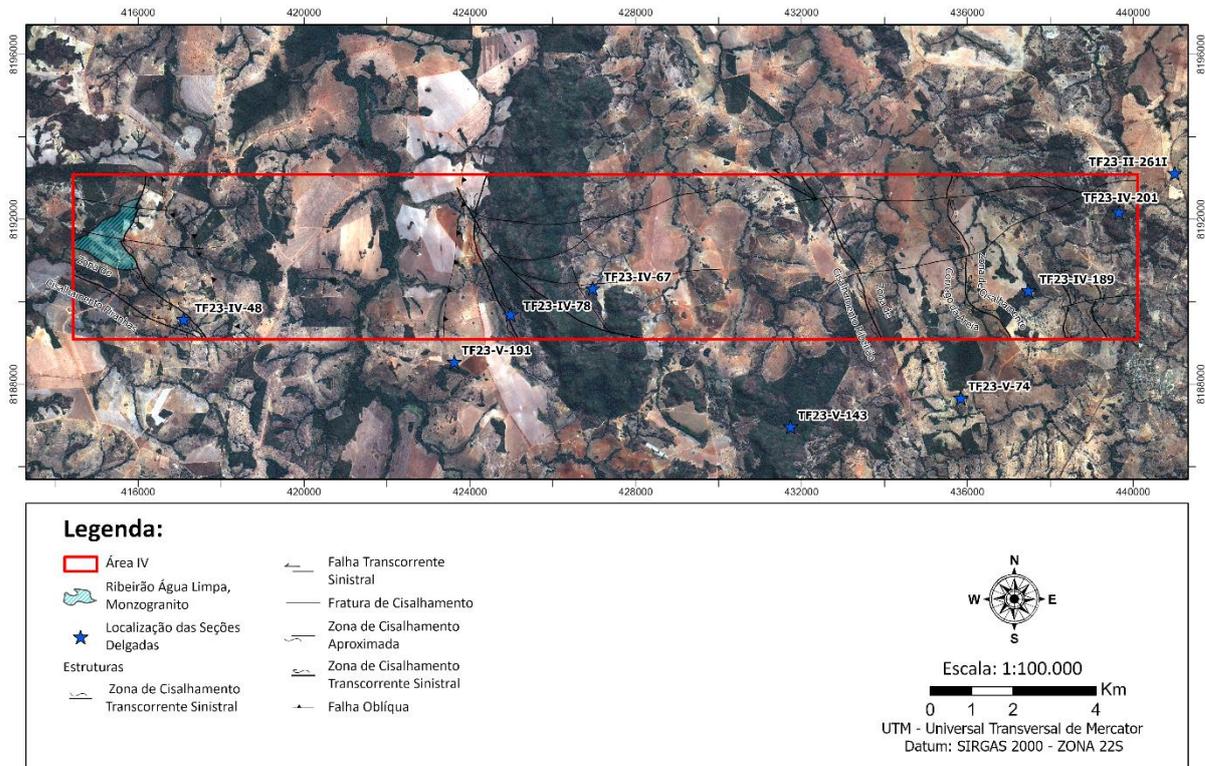
**Figura 5.29** – Características em lâminas do tonalito do Ribeirão Água Limpa (TF-VI-303). (A) Fotomicrografia (2,5x) do tonalito sobre nicóis paralelos com textura granular. (B) Fotomicrografia (2,5x) com nicóis cruzados com destaque para titanita presente a trama de quartzo, plagioclásio e biotita.

O quartzo (40 %) apresenta hábito anédrico. O plagioclásio (30 %) por vezes apresenta geminação polissintética, nestes casos exibem composições de andesina. A biotita (17 %) contém relevo moderado, coloração castanha e intenso pleocroísmo. A hornblenda (5 %) ocorre subordinadamente nos interstícios dos agregados quartzo-feldspáticos. A amostra possui

titanita (3%) como mineral acessório, identificada por meio do seu hábito losangular e relevo alto. A magnetita (5%) representar a grande parte dos opacos. É identificada pelo seu hábito euédrico e pelo fato de a amostra ser magnética.

### *Fácies Granito fino (NP2ayalgf)*

Na porção oeste da Área IV, ocorrem, de forma restrita (Fig. 5.30), alguns afloramentos de um granito rosado inequigranular, levemente foliado e intensamente alterado.



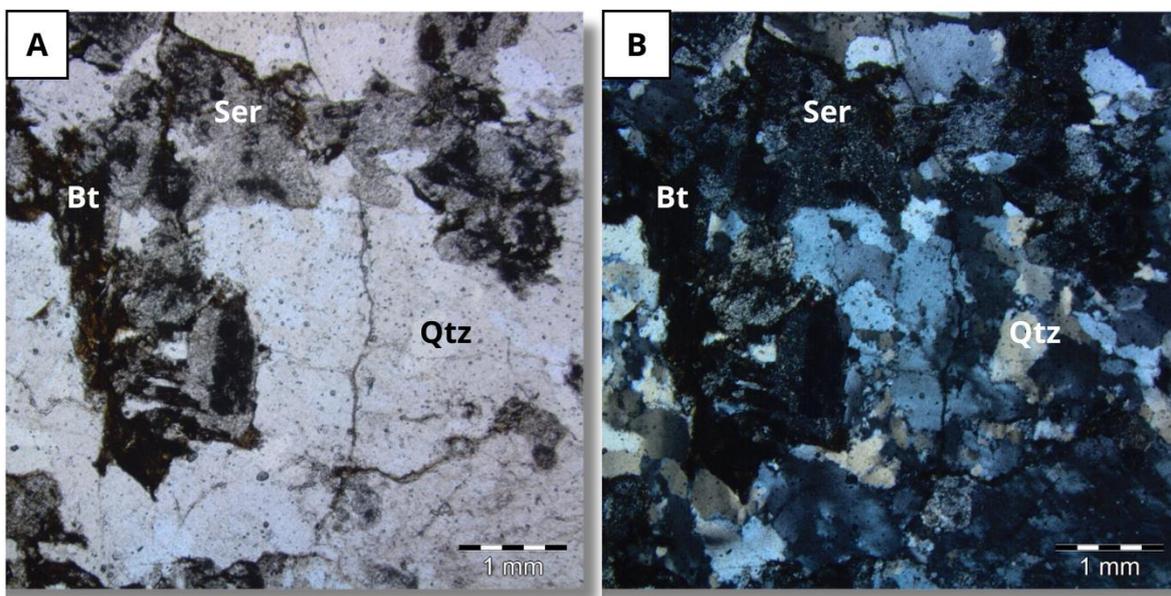
**Figura 5.30** – Mapa de localização das fácies Granito fino do Ribeirão Água Limpa na Área IV.



**Figura 5.31** – Características em campo do granito fino da unidade Ribeirão Água Limpa. (A) Afloramento em blocos intemperizados da fácies Granito fino (415140/8191580). (B) Amostra de mão do afloramento em A, mostrando sua coloração rosada e textura equigranular.

O granito (Fig. 5.31) está relacionado espacialmente com as rochas graníticas da Unidade Ribeirão Água Limpa, sendo, portanto, associado com tal unidade. O de feldspato potássico é o principal constituinte do arcabouço equigranular fino a médio, seguido de plagioclásio, quartzo e biotita subordinada (Fig. 5.10B). A coloração esbranquiçada conferida à rocha se deve a mica branca e argilominerais decorrentes da alteração dos feldspatos.

Seguindo a mesma abordagem, a análise petrográfica foi suplementada por uma seção delgada de uma rocha similar à encontrado na Área IV. A partir disso, caracteriza-se uma rocha plutônica classificada como granito fino ou monzogranito, (Fig. 5.32, TF23-APA19) de granulação média e textura inequigranular. Apresenta também domínios com textura granoblástica, estes em regiões que apresentam o quartzo recristalizado com aspecto microcristalino em conjunto com o plagioclásio. Uma textura especial é a textura mirmequítica. Trata-se do intercrescimento de feldspato alcalino e plagioclásio.



**Figura 5.32** – Aspectos em lâmina das fácies de monzogranito da Unidade Ribeirão Água Limpa. (A) Fotomicrografia (2,5x) do monzogranito a nicóis paralelos com textura granular. (B) Observa um arranjo de cristais de plagioclásio e ocasionalmente sericitizados em meio a matriz de quartzo e alguns cristais de biotita oxidadas.

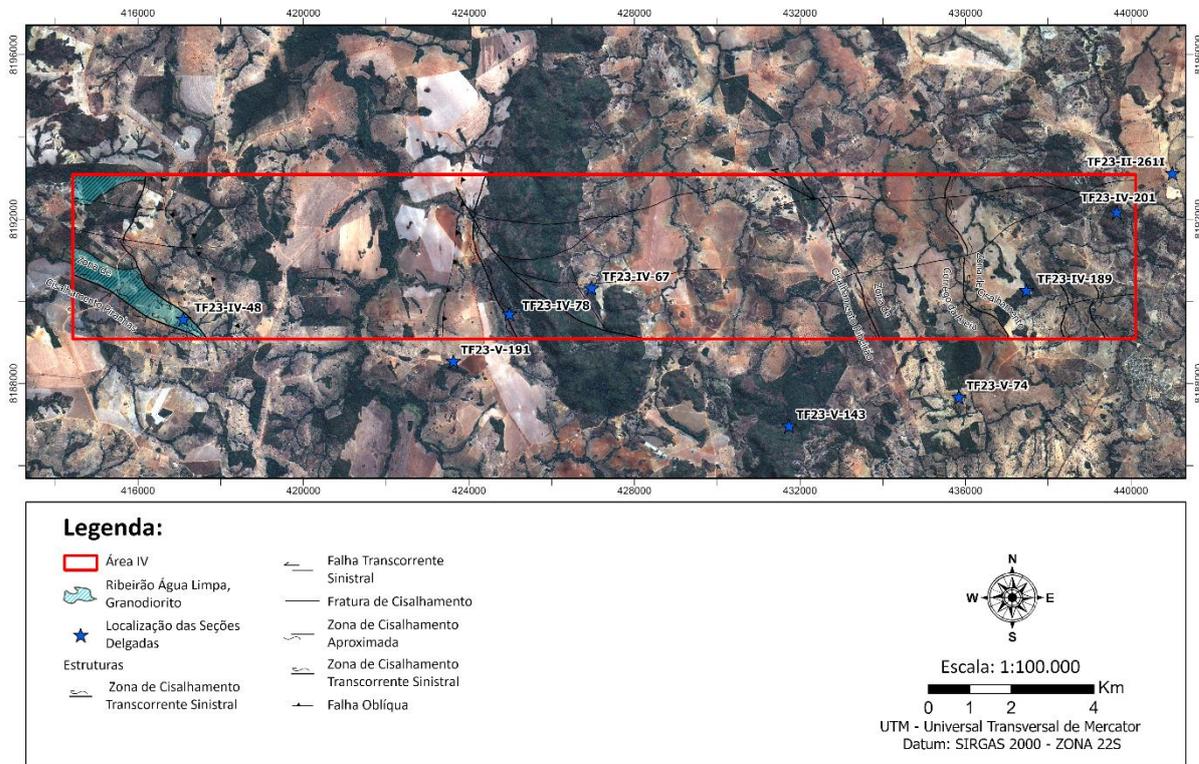
O mineral mais abundante é o quartzo (35 %). O plagioclásio de teor de albita (15 %) possui, em alguns casos, geminação polissintética, encontrando muitas vezes alterado não permitindo a estimativa de composição. Tal alteração se deve ao processo de sericitização, caracterizado pela presença de cristais milimétricos de sericita (20 %). %) com cores de interferências de 3ª ordem.

A biotita (13 %) contém coloração de tom castanho e relevo moderado além disso, há poucos cristais de ortoclásio (10 %) cuja identificação se dá pela sua geminação de *Carlsbad*, relevo baixo e pelo aspecto incolor.

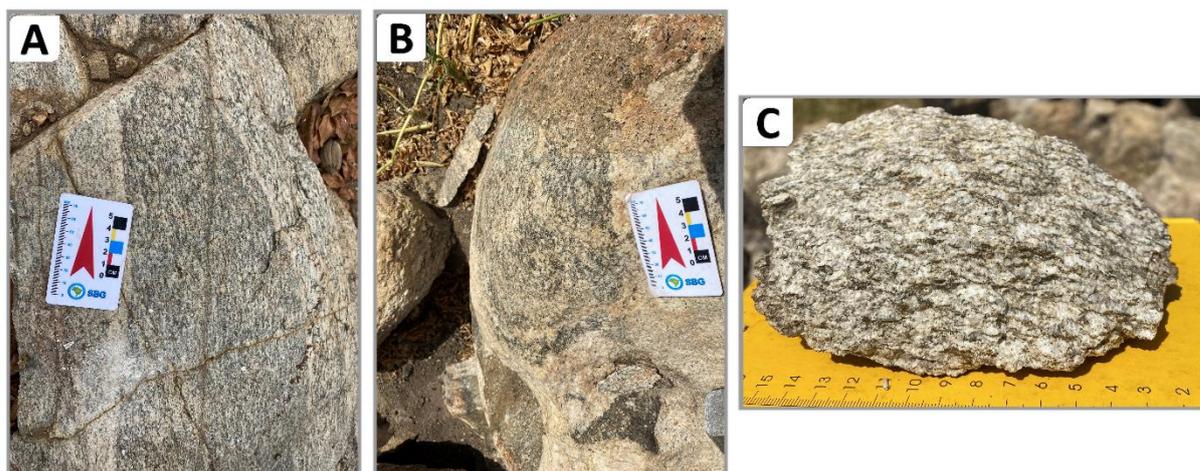
A hornblenda (5 %) é caracterizada pelo seu pleocroísmo de tons esverdeados, relevo moderado e clivagem em duas direções com ângulos próximos a 60° nas seções basais. A titanita (2%) compõe a fase acessória, apresenta relevo alto e hábito losangular característico.

### ***Fácies Biotita Granodiorito (NP2ayalg)***

A fácies granodiorítica compõe um outro termo encontrado na unidade Ribeirão Água Limpa. Presente no extremo nordeste da Área IV (Fig. 5.33), esta fácies ocorre como blocos rolados, bem como afloramentos *in-situ* em meio a pastagem (Fig. 5.34B-C). Em escala de afloramento, os litotipos são caracterizados por níveis de hornblenda condicionados por agregados de feldspato potássico, quartzo e plagioclásio (Fig. 34C). A textura é inequigranular, contendo uma granulação média a grossa com cristais centimétricos de quartzo e frequentemente enclaves máficos (Fig. 5.34B).



**Figura 5.33** – Mapa de localização das fácies de granodiorito do Granito Ribeirão Água Limpa.

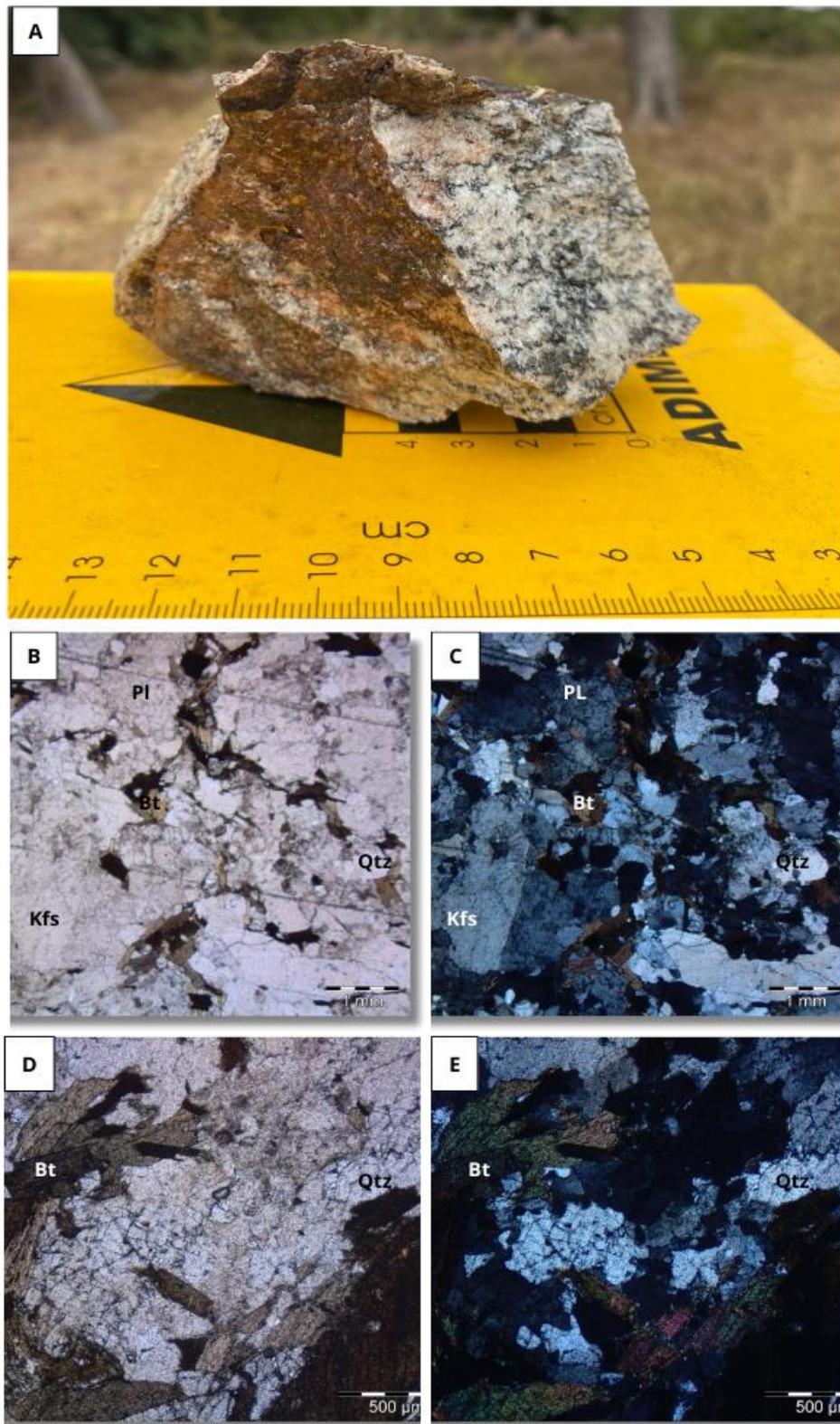


**Figura 5.34** – Aspectos das fácies de granodiorito do Granito Ribeirão Água Limpa. (A) Afloramento de bloco rolado do granodiorito com evidências de mistura de magmas (414615/8191155). (B) Bloco de granodiorito com enclave máfico (414647/8192142). (C) Amostra de granodiorito do Água Limpa bastante foliado.

Foram observados também termos de granulação média, textura equigranular à nematoblástica, contendo uma foliação milonítica, bem como termos mais isotrópicos nas porções mais centrais do corpo. Além disso, essas rochas foram observadas aflorando nas porções mais centrais onde são circundadas pelos metassedimentos da Unidade Córrego do Santo Antônio, onde se mostram também bastante foliadas e contendo enclaves de rochas máficas (Fig. 5.34A). Composicionalmente apresentam quartzo, plagioclásio, hornblenda e biotita, tendo o feldspato potássico de forma mais subordinada.

Por meio da petrografia, é possível perceber que as rochas que afloram em meio a Unidade Córrego do Santo Antônio (Fig. 5.34C-D) são granodioritos leucocráticos (Fig. 5.35 TF23-IV-48) de granulação média, textura granular a granoblástica caracterizada por agregados laminares (*ribbons*) quartzo-feldspáticos condicionados por filmes de biotitas e subordinadamente muscovita, que determinam a foliação da rocha.

Os contatos entre os grãos do arcabouço quartzo-feldspático são lobados e interdigitados, muitos com embainhamentos, indicando migração de borda de grãos e recristalização. Outra feição característica do arcabouço é o intercrescimento de feldspato alcalino e plagioclásio, formando texturas mirmequíticas, o que aponta para situações de reequilíbrio entre fases a profundidades relativamente rasas. Além disso, os filmes de biotita contornam frequentemente aglomerados recristalizados dos domínios quartzo-feldspáticos em padrões semicirculares, desviando da tendência subparalela da foliação.



**Figura 5.35** – Características do granodiorito da unidade do Granito Ribeirão Água Limpa. (A) Amostra de mão do TF23-AIV-48. (B) e (C) Fotomicrografias (2,5x) em diferentes nicóis mostrando a textura granular. (D) e (E) Fotomicrografias (4x) em nicóis paralelos e cruzado, respectivamente, em destaque aos agregados de quartzo de forma subcircular contornados por filmes de biotita.

Os cristais de quartzo (40 %) apresentam, no geral, contatos lobados com embainhamentos indicando migração de borda, bem como extinção ondulante e subgrãos, atestando para processos de recristalização e *recovery*. O feldspato alcalino é o microclínio (10 %), distinguidos pela típica geminação cruzada (*tartan*), micropertitas e texturas mirmequíticas. Ortoclásio (5 %) com geminação do tipo *carlsbad*, também é observado. O plagioclásio (25 % e An 30-40) é identificado pelas suas geminações polissintéticas e zonamentos composicionais. A biotita (15 %) é evidenciada de forma disseminada e balizando os agregados quartzo-feldspáticos formando delgado filmes placosos. Estes filmes são, geralmente, subparalelos a foliação, mas podem também contornar os agregados adjacentes de forma subcircular. Os minerais acessórios são a granada (2 %), titanita e opacos (3 %).

## 5.6 Granitos Ediacaranos Tardi a Pós-tectônicos

### 5.6.1 Granito Rio Caiapó - NP3ycal

Na porção extremo leste da área (Fig. 5.36), ocorre um corpo granítico de extensões batolíticas que definem morros e pequenas serras ovaladas na região. O solo da área é bastante arenoso, composto principalmente por quartzo e argilominerais, principalmente próximo às drenagens do Rio Caiapó. As rochas afloram na forma de lajedos, matacões e blocos rolados (Fig. 5.37).

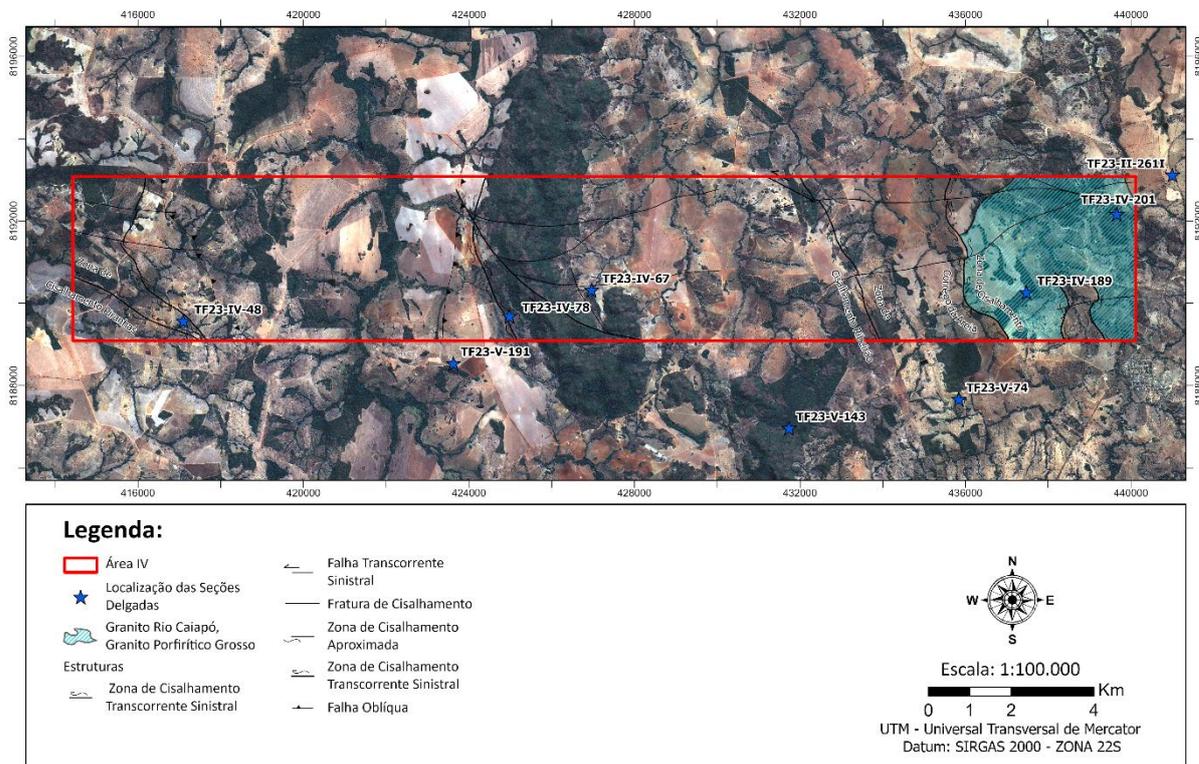
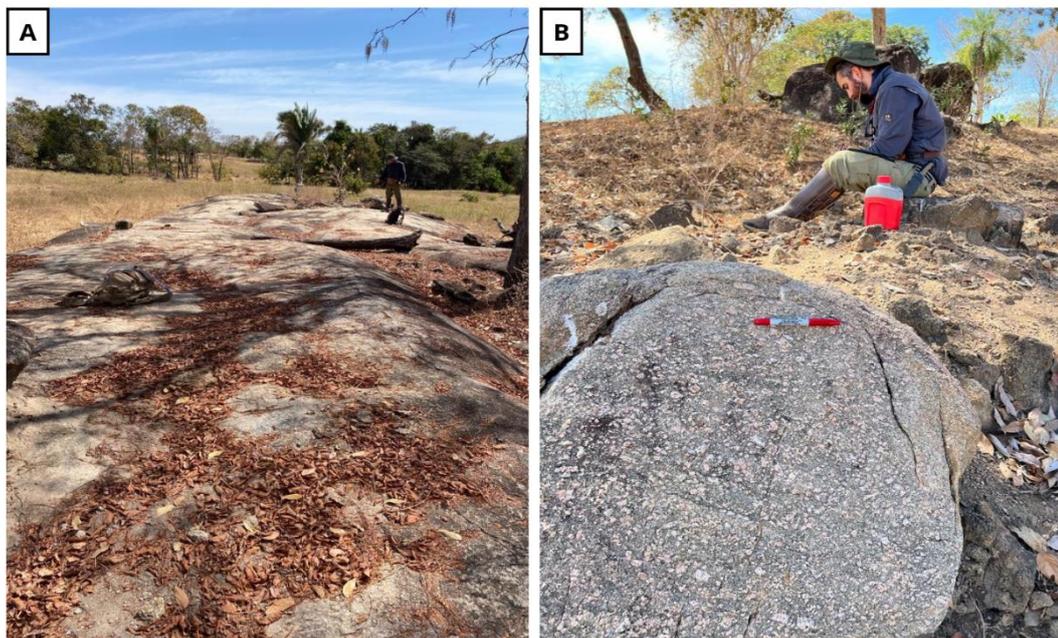


Figura 5.36 – Mapa de localização da unidade Granito Rio Caiapó na Área IV.

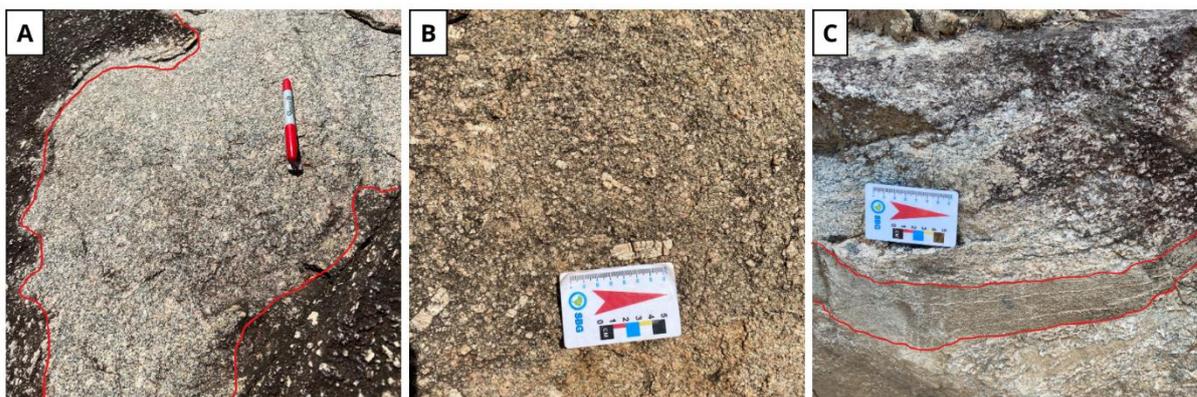
Pimentel & Fuck (1987b), propõem a geração de pelo menos três pulsos magmáticos resultantes da intrusão deste batólito, relacionado-os a Unidade Rio Caiapó. Esses pulsos seriam responsáveis pelas diversas fácies ali presentes, incluindo gabros, quartzo dioritos, quartzo monzodioritos, granodioritos e monzogranitos. Apesar dessa ampla gama faciológica, apenas os termos mais diferenciados como monzogranitos foram evidenciados na influência da Área IV.

As relações de contato entre as rochas desta unidade com as adjacentes não são claras, porém a frequente ocorrência de xenólitos de hornblenda gnaisses isolados em meio batólito, além da presença de enclaves de rochas bandadas (Fig. 5.38C), sugerem que essa unidade é intrusiva ao Gnaiss Arenópolis. Estas rochas graníticas são frequentemente cortadas por diversos diques alcalinos, representante da Suíte Alcalina Arenópolis.



**Figura 5.37** - (A) Afloramentos em forma de lajedo presente na Área IV (439327/8191061). (B) Blocos rolados de granito porfirítico do Granito Rio Caiapó (439570/8191714).

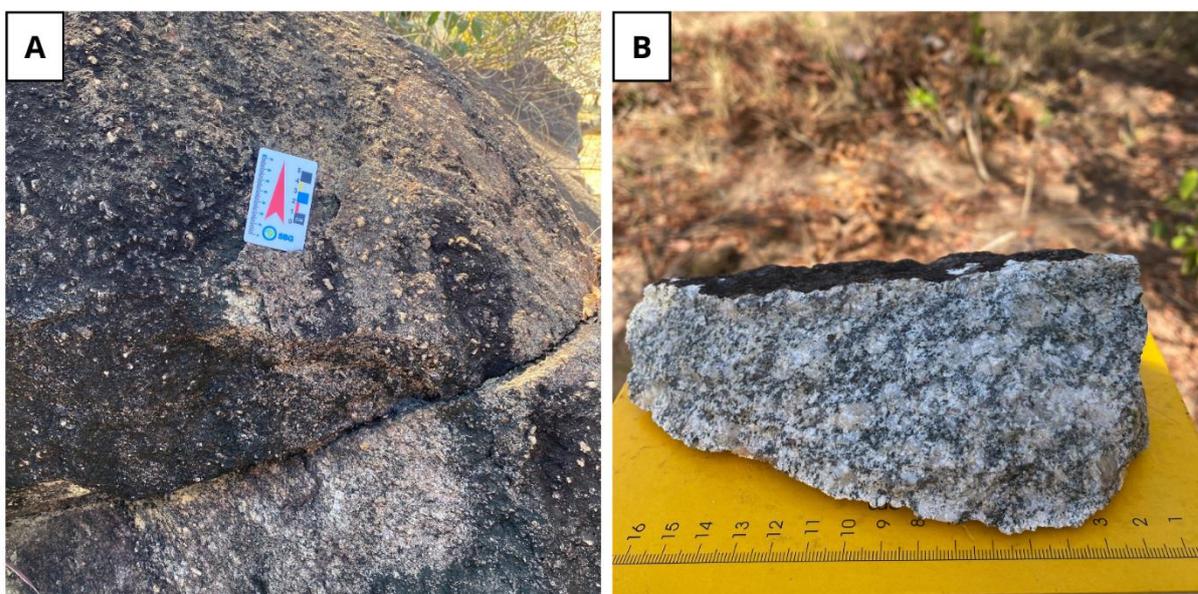
Em alguns afloramentos desta unidade, é possível observar porções irregulares de composição mais máfica (Fig. 5.38A), ricos em biotita, anfibólio, plagioclásio, feldspato postássico e pouco quartzo em contato com uma fração mais diferenciada, rica em quartzo, plagioclásio, biotita e fenocristais de tamanho centimétricos, possivelmente atribuídos a processos de mistura de magmas. Este contraste composicional, indicaria a existência de variados pulsos de magmatismo mais máfico, ocorrendo durante as últimas etapas de cristalização da massa batolítica, mais especificamente na fase de *mushes* (Weinberg *et al.*, 2021).



**Figura 5.38** - (A) Porções de composições diferentes no Granito Caiapó (439327/8191061). (B) Feldspatos de tamanho centimétrico em meio a matriz de quartzo, plagioclásio e biotita. (C) Enclaves de rocha bandada do Gnaiss Arenópolis (439233/8192742).

### *Fácies Granito Inequigranular grosso (NP3γcaigg)*

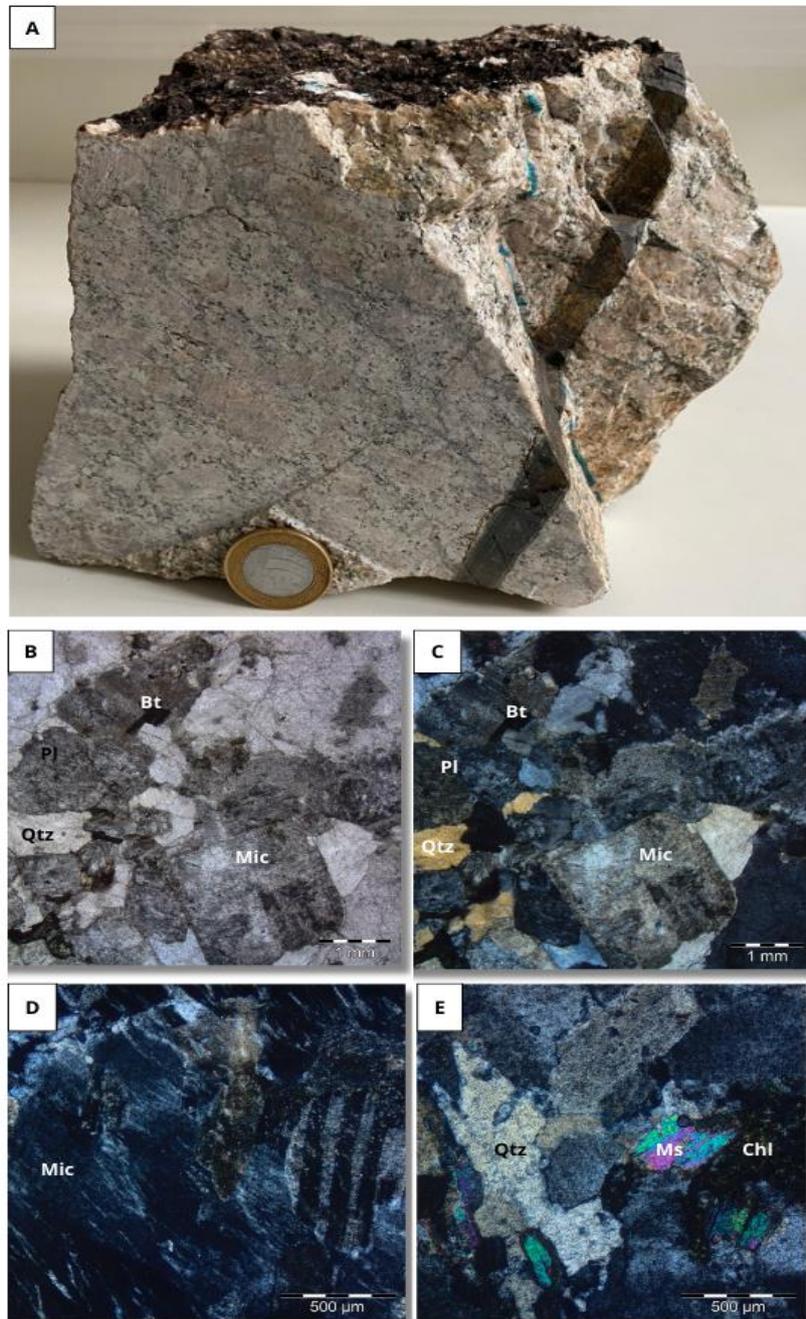
Na Área IV, há uma predominância de termos sienograníticos, com textura inequigranular porfirítica (Fig. 5.39A-B), raramente equigranular. A presença de minerais máficos como anfibólio e biotita é variável, podendo estes se apresentar em maiores ou menores proporções. A existência desse anfibólio em proporções variáveis é uma característica, além do caráter porfirítico, que diferencia os monzogranitos da Unidade Rio Caiapó daqueles da Unidade Serra do Iran.



**Figura 5.39** – Aspectos em campo do Granito Rio Caiapó. (A) Bloco fraturado com cristais de feldspato centimétricos (436989/8191702). (B) Amostra de mão do afloramento da imagem A.

Petrograficamente, esta fácies é caracterizada por uma textura inequigranular (Fig. 5.40, TF23-IV-201), cujos fenocristais são de feldspato alcalino micropertítico com tamanhos que

podem chegar a 1 cm de comprimento. A matriz da rocha é de granulometria média e é composta por microclínio, ortoclásio, plagioclásio, além de quartzo e apresenta um padrão em mosaico interconectado, com contatos suturados, migração de bordas de grãos, bordas irregulares e alteradas, indicando um estado de deformação sobreposto a textura magmática.



**Figura 5.40** - (A) Amostra de mão do TF201-AIV. (B) e (C) Fotomicrografias (2,5x) mostrando a textura granular presente no sienogranito em nicóis paralelos e cruzados, respectivamente, com destaque ao cristal centimétrico de microclínio. (D) Cristal microclínio centimétrico sobre lente de (4x) mostrando os flames de plagioclásio presente no próprio. (E) Muscovita em contato com a clorita em meio a matriz quartzo-feldspático do sienogranito em lente de (4x).

O feldspato alcalino presente como fenocristais é o microclínio (30%) e ortoclásio (10%). O microclínio apresenta, frequentemente, lamelas de exolução de plagioclásio, formando micropertitas, bem como frequentes inclusões deste mineral, além de quartzo e placas de sericita. As inclusões de plagioclásio geralmente apresentam bordas de alteração. O ortoclásio é um mineral de aspecto límpido e apresenta geminação simples do tipo *carlsbard*.

O plagioclásio (20%) está presente na matriz da rocha e contém sua típica geminação polissintética e se apresentam intensamente alterados, com aspecto sujo e inclusões de mica fina. Assim como no feldspato alcalino, é comum observar bordas alteradas para sericita nesses minerais. Os cristais de quartzo (15%) são distinguidos dos de plagioclásios pela ausência do aspecto turvo e pela extinção ondulante não raramente observada. Ocorrem, também, disseminados na matriz da rocha, muscovita com bordas alteradas (5%) e clorita (5%), esta última interpretada como produto de alteração de biotita. Além disso, é observado epidoto ocorrendo de forma intersticial. Os minerais acessórios são basicamente minerais opacos (3%), zircão e titanita (2%).

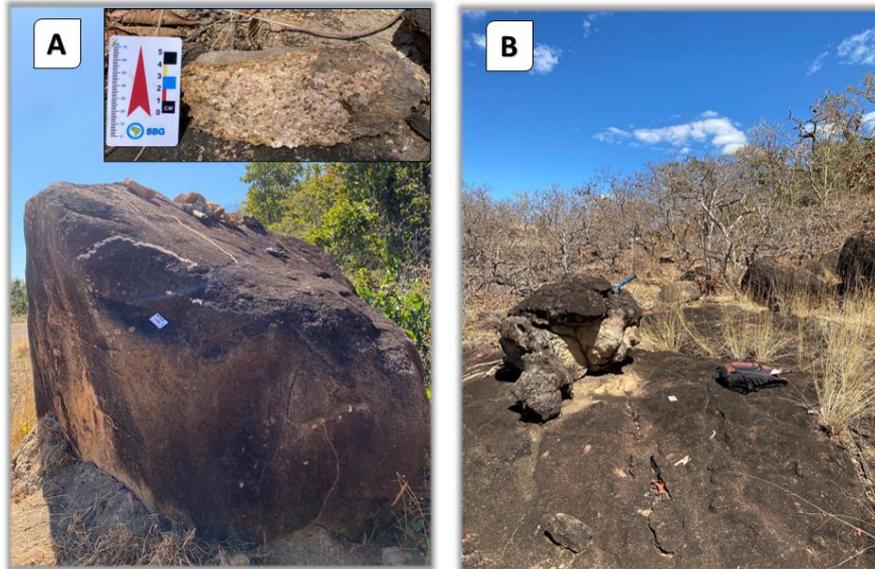
### **5.6.2 Granito Serra do Iran - NP3γsnir**

O Granito Serra do Iran é a unidade de maior expressão na Área IV, englobando toda sua região central. Tem sua expressão geomorfológica na forma de uma Serra que corta a área na direção NS, dividindo-a ao meio. Também é a porção de maior cota altimétrica da área de estudo, com declividades suficientes para ser considerado um relevo montanhoso.

O plúton faz contato, a oeste, com a Unidade Córrego do Santo Antônio por meio da Zona de Cisalhamento Ribeirão, bem como com a Unidade Gnaisse Arenópolis a leste. O carácter intrusivo desta unidade, além da idade (~587 Ma, Pimentel and Fuck, 1996) é corroborado pela presença de xenólitos de anfibolito da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas, encontradas no topo da Serra. Nas porções de influência das zonas de cisalhamento, assim como nas regiões mais fraturadas do corpo, ocorre uma generalizada zona de alteração propilítica rica em clorita, epidoto e feldspato potássico. Essas zonas foram incluídas em uma Unidade Hidrotermal, descrita no final deste capítulo. Esta zona tem potencialidades de representar halos de alteração, responsáveis por gerar venulações pervasivas na foliação e discordantes a ela, assim como promover o enriquecimento potássico.

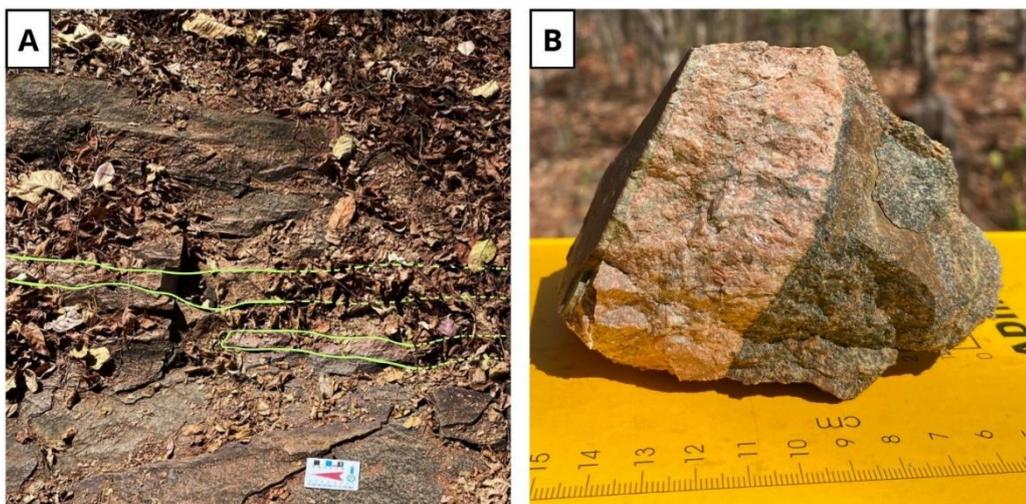
Na base da Serra, os afloramentos ocorrem como blocos rolados e *in-situ* próximos a drenagens e nas cotas superiores, se apresentam na forma de lajedos (Fig. 5.41B). Na base da

Serra ocorrem solos podzolizados. Já solos de espessura incipientes, como neossolos litólicos e cambissolos, ocorrem em cotas elevadas.



**Figura 5.41** – Aspectos em campo do Granito Serra do Iran. (A) Matações métricos de sienogranito de granulometria média com a respectiva amostra de mão (427226/8189935). (B) Lajedo e blocos rolados na cota máxima da Serra (425742/8190197).

A unidade apresenta oito litofácies distintas, variando de sienogranito, distinguidos entre fácies de granulação fina daqueles de granulação grossa, monzogranitos, granodioritos, tonalitos e porções mais máficas como quartzo-dioritos e gabros, além de uma fácies subvulcânica. Destas fácies, apenas as fácies referentes aos gabros e subvulcânicas não puderam ser discriminadas em escala de mapa. Além disso, foram observadas intrusões pegmatíticas nos termos mais máficos (Fig. 5.42A-B).



**Figura 5.42** – Características em campo das intrusões pegmatíticas presentes nas rochas da Unidade Serra do Iran. (A) Afloramento em lajedado em drenagem intermitente com intrusões pegmatíticas. (B) Amostra de fácies híbridas de contato de fácies de sienogranito com halos de alteração rica em epidoto.

Nesta seção serão descritas as sete fácies identificadas na Área IV do Projeto Arenópolis: fácies sub-vulcânicas, fácies sienogranito grosso, fácies sienogranito fino a médio, fácies monzogranito, fácies granodiorito, fácies quartzo-dioritos e fácies gabro.

### ***Fácies Subvulcânicas (NP3 $\gamma$ snirsv)***

Em meio ao limite oeste e leste da intrusão granítica Serra do Iran com as rochas da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas, ocorrem rochas acinzentadas e levemente rosadas de textura porfirítica definida por fenocristais de plagioclásio imersos em uma matriz de granulação média composta por quartzo, plagioclásio e feldspato potássico. Possuem composição modal compatíveis com magmas tonalíticos ou granodioríticos, não apresentando evidências de deformação. Além da visível ausência de uma trama tectônica, essas rochas apresentam relações de intrusão com a Unidade Serra do Iran na forma de diques, como pode ser visto na Figura 5.43. No entanto, apenas com base nos aspectos evidenciados em afloramento, não fica claro a relação temporal de corte entre as duas unidades.

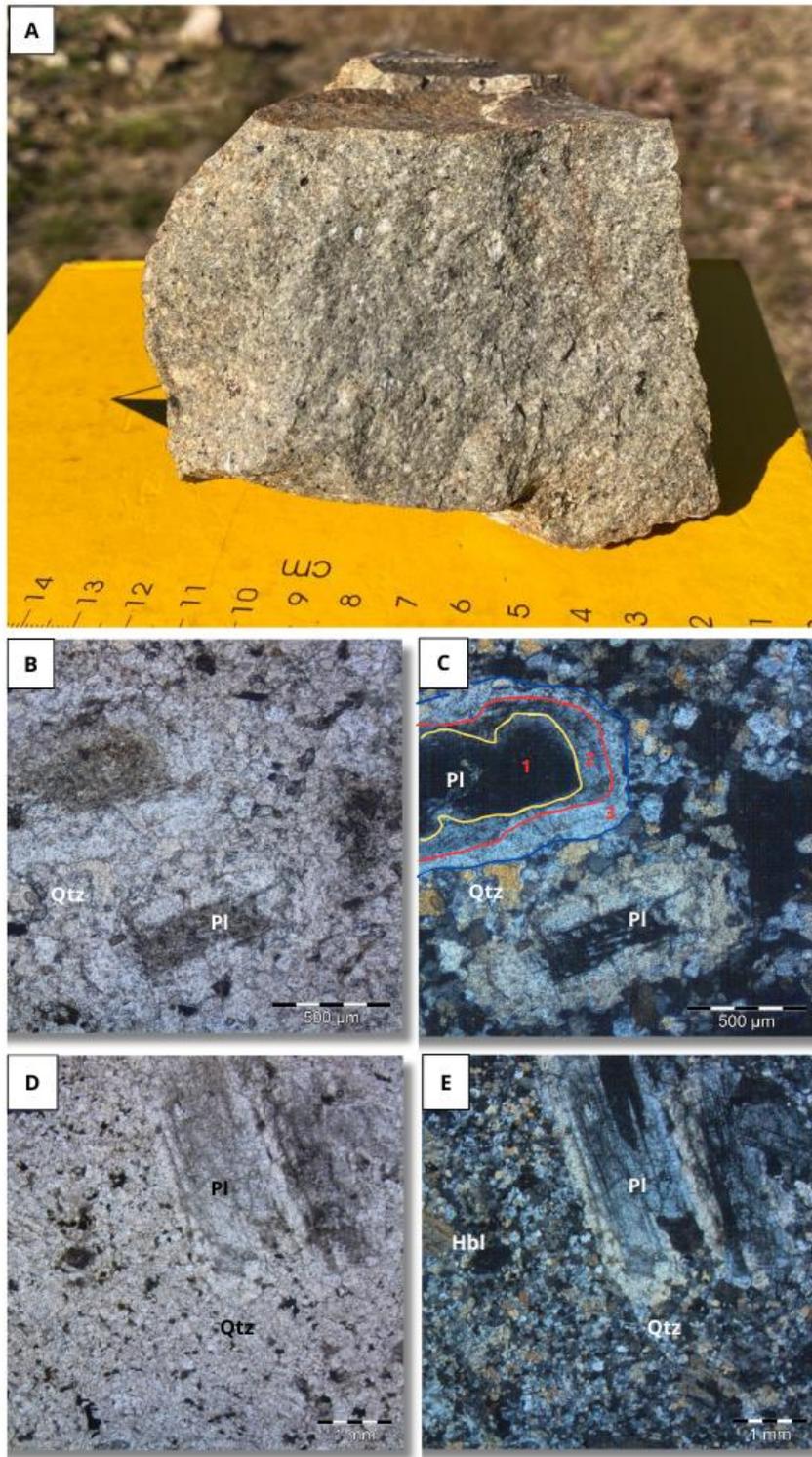
Apesar de estas observações não serem muito claras, considera-se a hipótese de que estas rochas se trate de uma fácies sub-vulcânica da Unidade Serra do Iran, provavelmente mais jovem que fácies sienogranítica.



**Figura 5.43** – Afloramento de bloco da fácies subvulcânica sendo cortado por sienogranito fino (cor amarelo) (424979/8189685).

Em seção delgada, a rocha apresenta textura porfirítica (Fig. 5.44, TF23-IV-78), caracterizada pela presença de fenocristais de plagioclásio zonados imersos em uma matriz quartzo feldspática fina a média, além da hornblenda como a fase máfica predominante. Os

fenocristais são da ordem de 5 mm de comprimento, prismáticos, zonados, com geminação polissintética e as vezes combinada com geminação do tipo *Calrsbad* no centro.



**Figura 5.44** – Características da unidade sub-vulcânica do Granito Serra do Iran (TF23-AIV-78). (A) Amostra de mão do TF23-AIV-78. (B) Textura porfirítica definida por fenocristais de plagioclásio à nicóis paralelos (2,5x). (C) Fotomicrografia em nicóis cruzados com destaque aos fenocristais zonados de plagioclásio. (D) e (E) Destaque

para mais um cristal de plagioclásio zonado e cristal de hornblenda em meio a matriz quartzo-plagioclásio a nicóis paralelos (4x).

A matriz é composta por cristais xenomórficos finos de quartzo, plagioclásio e mais raramente ortoclásio, apresentando contatos irregulares e sinuosos. Ocorrem também, imersos na matriz, domínios compostos por aglomerados granulares, mais ou menos radiais de hornblenda e biotita. Não foram observadas nenhuma evidência microestrutural de deformação nesta rocha.

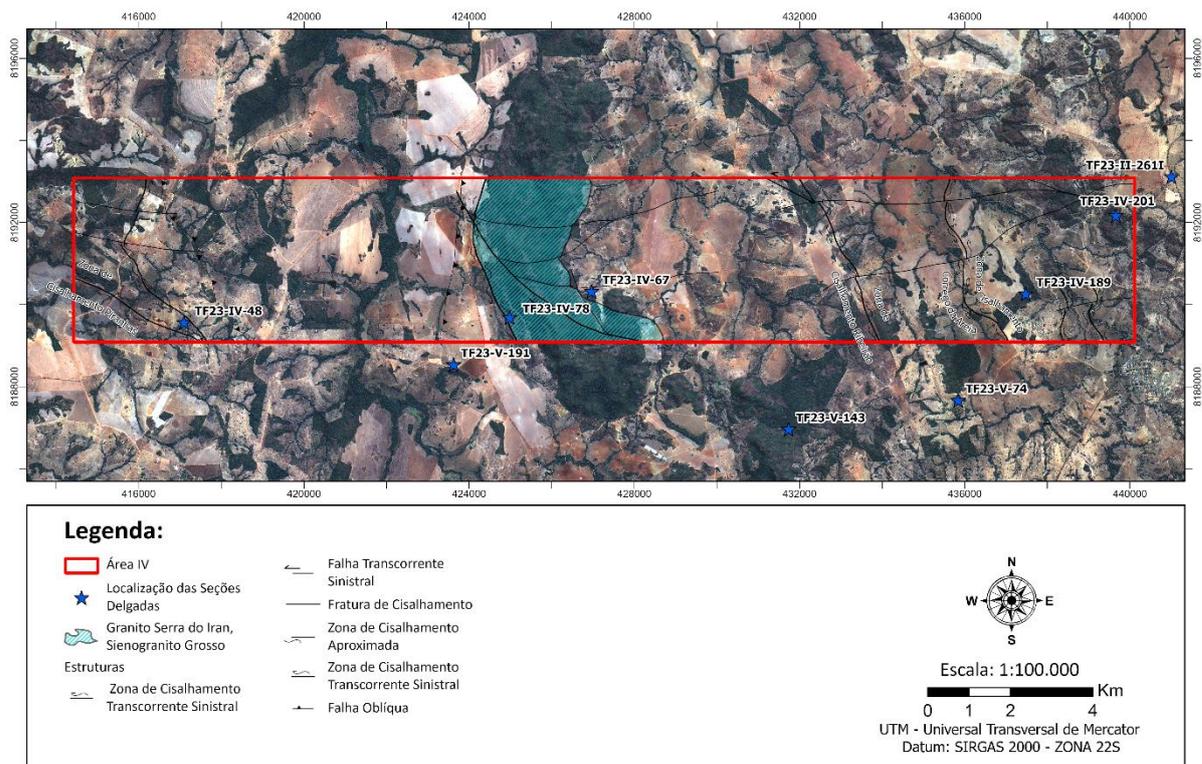
O plagioclásio (45%, An<sub>20-30</sub>) ocorre como fenocristais prismáticos e como cristais xenomórficos na matriz. Os fenocristais de plagioclásio frequentemente apresentam zonação composicional e geminação polissintética e se encontram com bordas corroídas, podendo estar saussuritizados no centro. A intensa saussuritização nas porções de centro em contraste com o aspecto límpido das porções externas destes fenocristais, podem indicar um núcleo mais cálcico envolto por frações de composição mais sódica que por sua vez apresentam uma borda de reação mais externa.

O quartzo (35%) é o principal componente da matriz, ocorrendo como cristais xenomórficos com bordas irregulares. A hornblenda (5%) se apresenta como cristais irregulares xenomórficos, frequentemente oxidados e ocorrem disseminados na matriz, mas também como aglomerados de cristais granulares com pleocroísmo verde a verde-pálido. Em conjunto com a a hornblenda, ocorrem biotita (5%) bastante oxidadas de coloração avermelhada. O feldspato potássico (5%) ocorre disseminado na matriz e é de difícil identificação devido à baixa presença de geminações. Minerais opacos (5%) também são observados de forma disseminada.

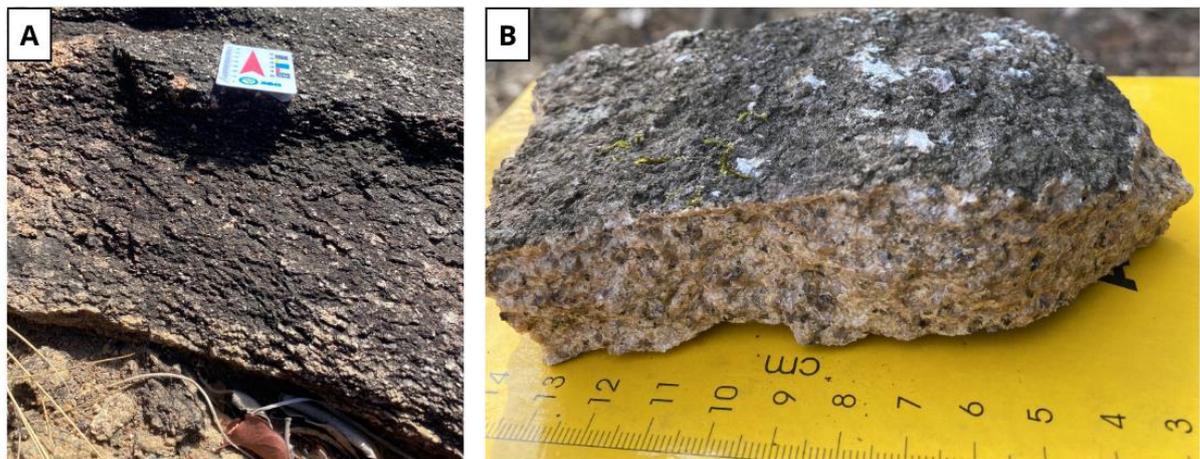
### ***Fácies Sienogranito grosso (NP3ysnirsg)***

Este litotipo é característico da parte central da área de estudo (Fig. 5.45) onde sustenta a Serra da Margarida, principalmente nas cotas mais elevadas que são marcadas por rochas de granulação mais grosseira.

Esta fácies é representada por um granito leucocrático, rosado, isotrópico, de granulação grossa. É composto por quartzo, feldspato potássico, plagioclásio, biotita e anfibólio subordinado (Fig. 5.46B). A maior proporção de quartzo aliada com a granulação mais grossa nesta fácies, justifica o fato de serem o litotipo predominante na região geomorfologicamente compartimentada pela serra. Em algumas porções as rochas apresentam uma foliação sub-horizontal (Fig. 5.46A), possivelmente referente a uma estruturação de fluxo magmático.



**Figura 5.45** – Mapa de localização do sienogranito grosso da unidade Granito Serra do Iran na Área IV.



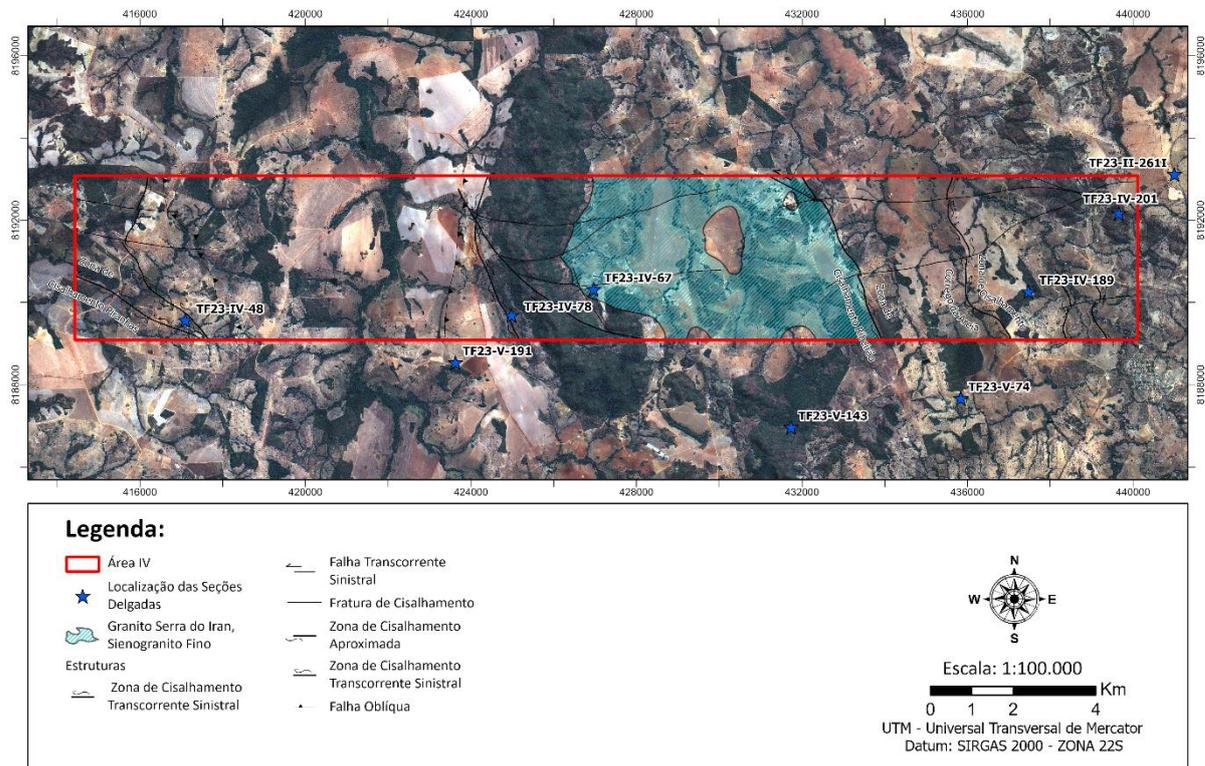
**Figura 5.46** – Aspectos em campo de sienogranito grosso da Serra do Iran. (A) Afloramento *in-situ* do sienogranito grosso (425739/8190199). (B) Amostra de mão de bloco rolado no topo da serra.

### ***Fácies Sienogranito fino a médio (NP3ysnirsf)***

Esta é a fácies predominante da unidade. Ocorre nas cotas inferiores e nas margens da serra (Fig. 5.48), aflora na forma de blocos e matações rolados, bem como lajedos em *in-situ* em meio a pastagem (Fig. 5.47A-B). Trata-se de um sienogranito leucocrático, equigranular, rosado, isótropo, de granulção fina a média, composto por quartzo, feldspato potássico, plagioclásio e biotita. Em comparação com a porção de granulometria mais grossa, é possível observar uma menor proporção de quartzo (Fig. 5.47C).



**Figura 5.47** – Aspectos em campo do sienogranito fino da unidade Granito Serra do Iran. (A) Afloramentos *in-situ* e blocos rolados de matacões na margem da Serra do Iran (427291/8191879). (B) Bloco de matacões (426861/8190258). (C) Amostra de sienogranito fino a médio (426861/8190258).

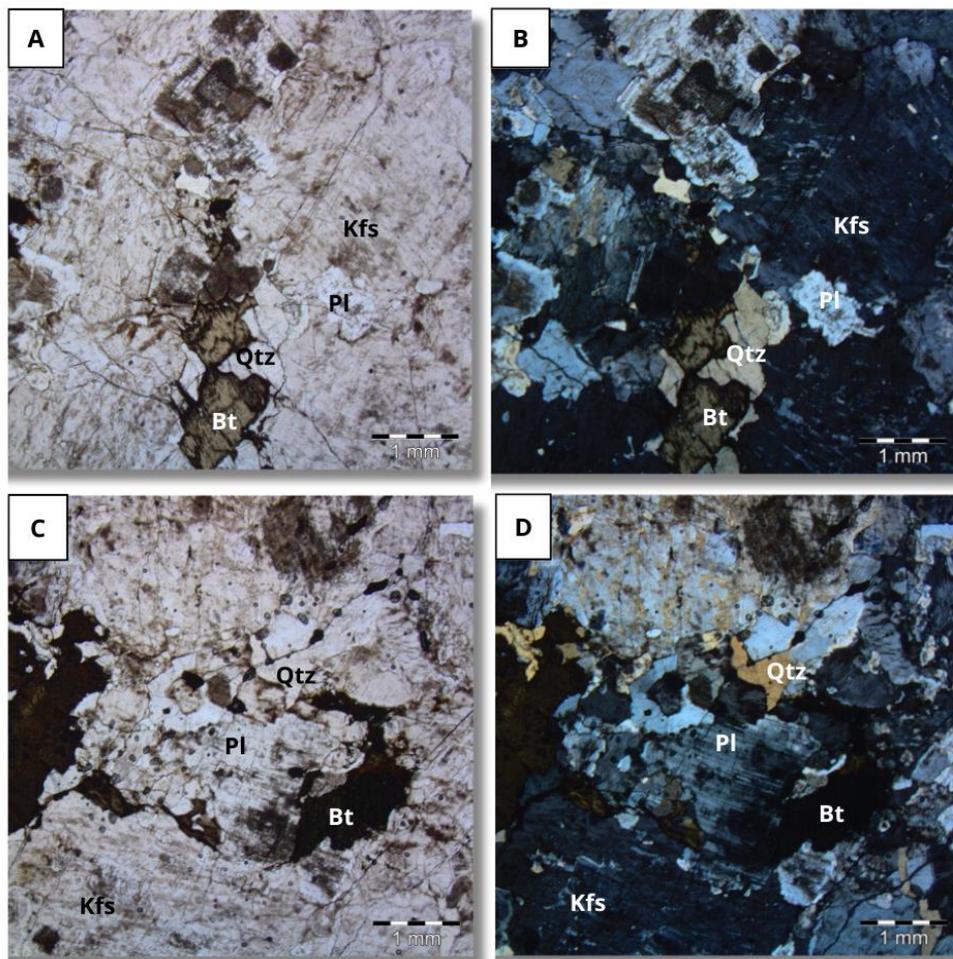


**Figura 5.48** - Mapa de localização das fácies de sienogranito fino da unidade Granito Serra do Iran na Área IV.

A petrografia destes litotipos, revelou a caracterização de um sienogranito equigranular de granulometria fina a média (Fig. 5.49, TF23-IV-65), composto por feldspato alcalino micropertítico, plagioclásio e quartzo, responsáveis por determinar um arcabouço de textura granular. Os cristais desse mosaico granular são interconectados por contatos irregulares, com bordas lobadas e embainhamentos, indicando mútua interferência entre cristais individuais durante as etapas finais de cristalização que, por sua vez, impediram o desenvolvimento de faces planares e poligonais. De forma intersticial e disseminada, ocorrem placas de biotita,

muitas vezes mostrando-se alteradas para clorita. Mais raramente são observados cristais de hornblenda e agregados isolados de epidoto intersticial, além de minerais acessórios como titanita, allanita e opacos.

O feldspato alcalino é classificado como microclínio (40%). Contém micropertitas e mais raramente geminação cruzada (*tartan*). Alguns mostram inclusões de plagioclásio e quartzo, indicando que tais minerais inclusos podem ter atingido seus estágios finais de crescimento antes dos cristais hospedeiros, no caso, os microclínios. O plagioclásio (20%, An<sub>30-50</sub>) se encontra em estado de alteração avançado com aspecto turvo, inclusões de mica branca, mostram zonação composicional com núcleos sericitizados e geminação possilística. O quartzo (20%) é um dos minerais do mosaico granular da rocha e ocorrem interconectados ao feldspato. Já a biotita (10%) e a hornblenda (5%) ocorrem como pequenas placas isoladas e intersticiais em meio ao mosaico quartzo-feldspático e geralmente estão em processo de alteração para a clorita (5%). Titanita (1%) e apatita (1%) ocorrem como minerais acessórios.

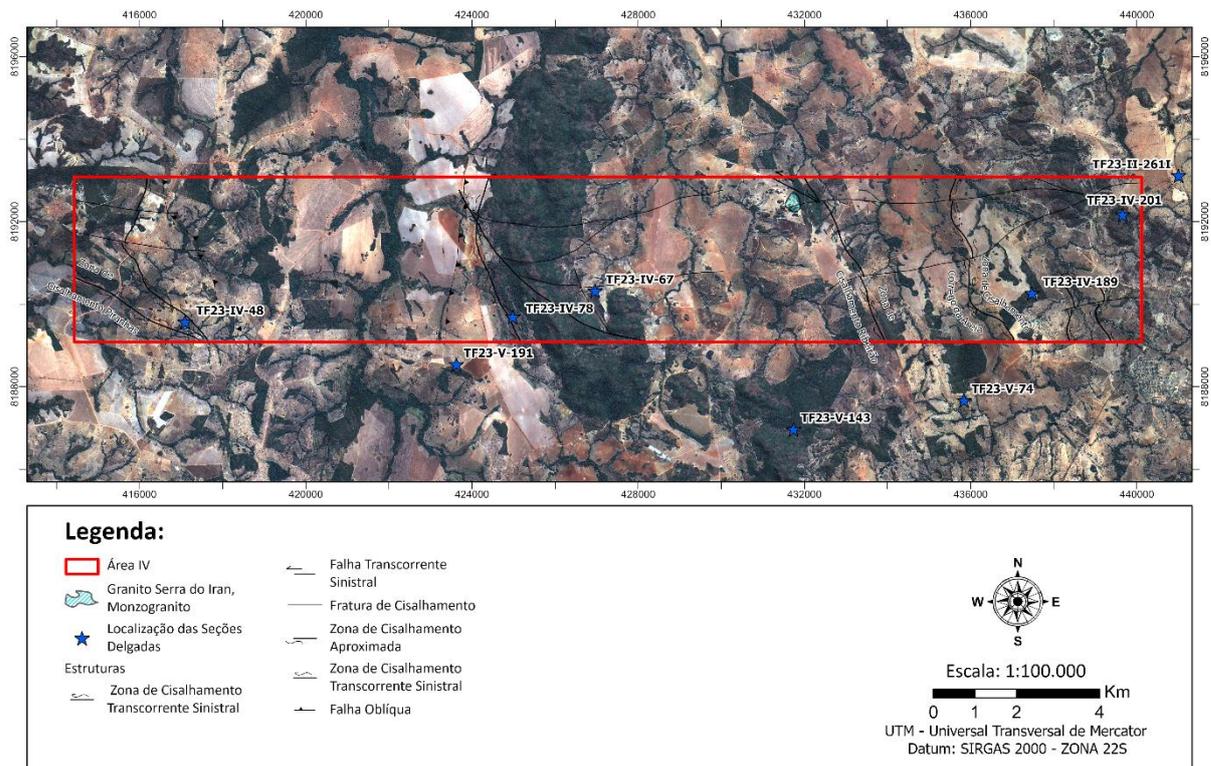


**Figura 5.49** – Características em lâmina da fácies sienogranito fino da Serra do Iran. (A) e (B) Fotomicrografias (4x) a nicóis paralelos e cruzados, respectivamente, do sienogranito com biotita intersticial em meio ao mosaico quartzo-feldspático de textura granular. (C) Destaque para o cristal de feldspato potássico a nicóis paralelos (4x). (D) Fotomicrografia (4x) sobre nicóis cruzados da trama da litologia e o plagioclásio sericitizado.

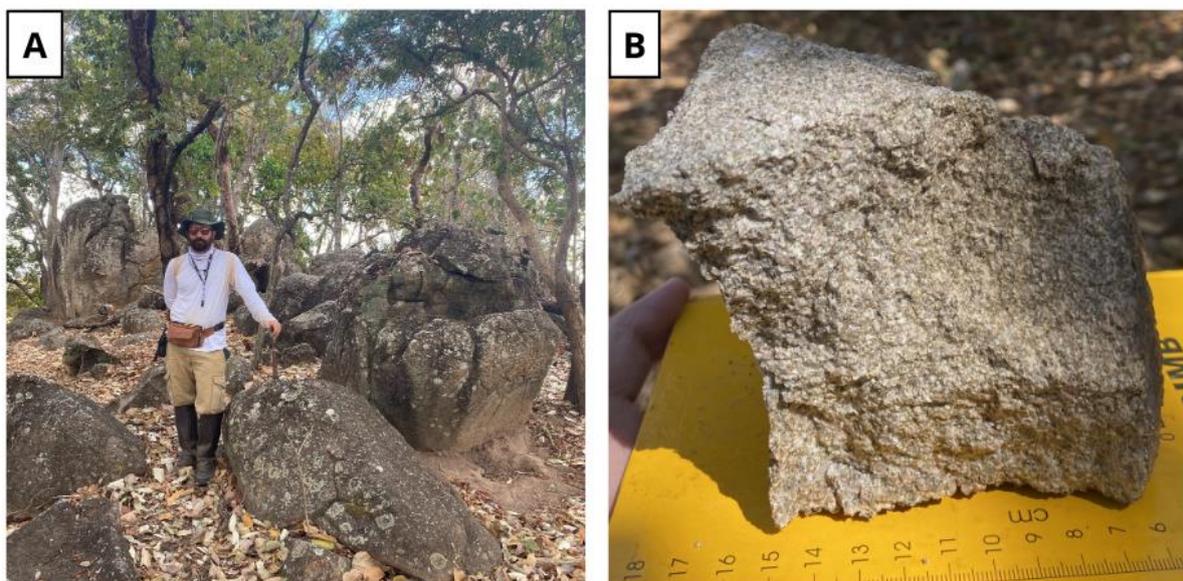
### *Fácies Monzogranito (NP3ysnirm)*

Os monzogranitos estão presentes em uma pequena área na porção nordeste da Unidade Serra do Iran (Fig. 5.50), aflorantes em meio a pastagem na forma de blocos e matacões isolados (Fig. 5.51A). Na área onde elas ocorrem, o terreno suave ondulado à aplainado, é recoberto por uma vegetação espaçada.

Esta litologia apresenta uma coloração róseo-acinzentada, composta por quartzo (50%), feldspato (20%), biotita e maiores proporções de plagioclásio (30%) se comparados aos sienogranitos que os circundam. A granulação é fina a média e a textura é granular (Fig. 5.51B). O destaque desta fácies, se comparada a outras, é a matriz mais acinzentada, tendo como o principal mineral o quartzo.



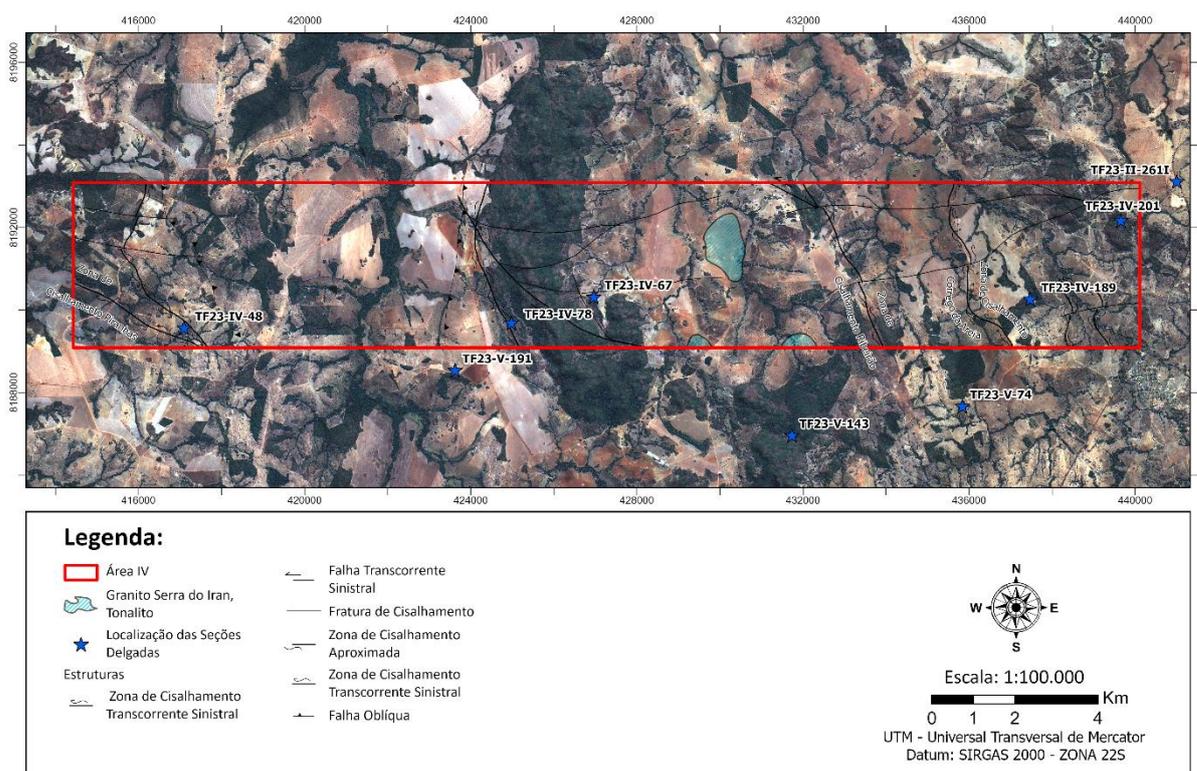
**Figura 5.50** – Mapa de localização da fácies de monzogranito da unidade Serra do Iran presente na Área IV.



**Figura 5.51** – Aspectos em campo da fácies monzogranítica da Serra do Iran. (A) Blocos rolados de monzogranitos do Granito Serra do Iran (430897/8192542). (B) Amostras de mão da fácies monzogranito (431722/8192240).

### ***Fácies Granodiorito (NP3ysnirgr)***

Esta fácies está presente nas porções mais interiores do corpo granítico (Fig. 5.52), onde há a presença de coberturas lateríticas e latossolos vermelhos espessos, como provavelmente resultado da alta proporção de minerais máficos dessas rochas.



**Figura 5.52** – Localização da fácies granodiorítica da unidade Granito Serra do Iran presente na Área IV.

Ocorrem como blocos espaçados em meio a pastagem (Fig. 5.53B) e formam lajedos no leito do Córrego Capim Branco (Fig. 5.53A). A área em si é recoberta por extensas zonas de plantio e pastagens, com os afloramentos mais restritos às áreas de drenagens e a pequenas ondulações positivas do relevo.

O litotipo é mesocrático e apresenta uma textura equigranular isotrópica, com granulação fina a média. É composto por quartzo (25%), plagioclásio (25%) e feldspato potássico (10%). Hornblenda e biotita compõe o restante da sua composição modal, o que confere a tonalidade mais escura da rocha (Fig. 5.53C).



**Figura 5.53** – Aspectos em campo do granodiorito da unidade Granito Serra do Iran. (A) Afloramento em lajedado presente no Córrego do Capim Branco. (B) Afloramento *in-situ* de granodiorito da unidade Serra do Iran (429816/8192395). (C) Amostra de granodiorito do afloramento em B (430029/8192187).

#### ***Fácies Diorito a Quartzo-Diorito (NP3γsnird)***

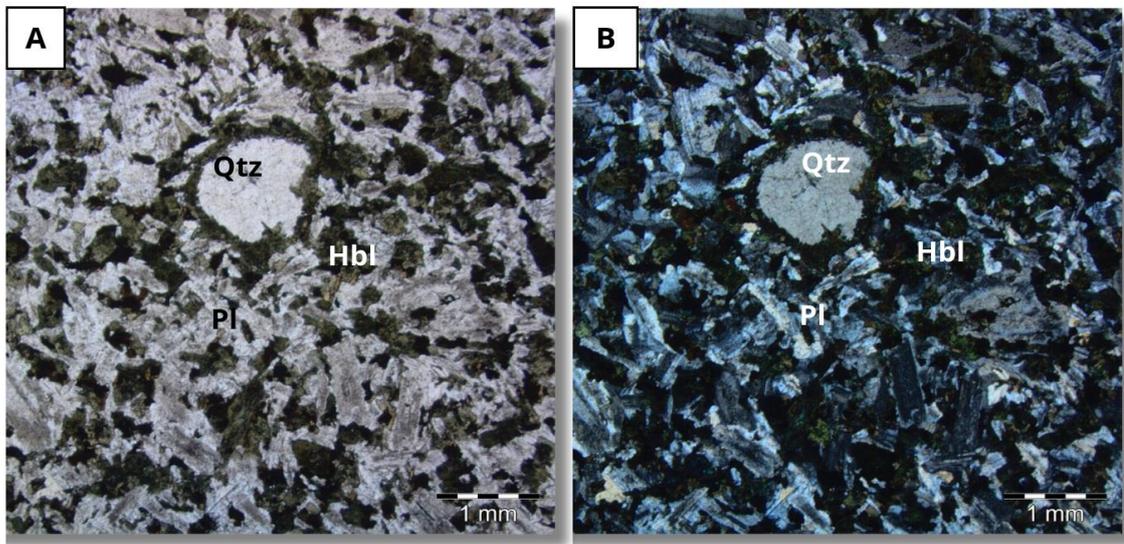
Esta fácies ocorre esporadicamente como blocos isolados (Fig. 5.54A) em meio a afloramentos do sienogranito fino, principalmente em cotas mais próximas as drenagens da margem leste da Serra da Margarida. Devido a este fato não foi possível a sua representação em escala de mapa no âmbito da Área IV.

É representada por litotipos mais máficos, caracterizados pela presença de dioritos a quartzo dioritos. As rochas são isotrópicas, de coloração acinzentada, equigranulares, com granulação fina (Fig. 5.54B). Macroscopicamente, é observado maiores proporções de anfibólio e biotita em detrimento de feldspato alcalino e plagioclásio, além de quantidades subordinadas de quartzo.



**Figura 5.54** – Característica em campo da fácies quartzo diorito da unidade Serra do Iran. (A) Afloramento em bloco rolado de quartzo-diorito (427523/8191984). (B) Amostra de mão da fácies quartzo-diorito do Granito Serra do Iran.

Petrograficamente o quartzo-diorito (Fig. 5.55, TF23-V-143), é uma rocha isotrópico de granulometria fina a média, apresenta uma textura intersticial intergranular, na qual os espaços entre os cristais prismáticos de plagioclásio são preenchidos por cristais de anfibólio. Uma microestrutura que é claramente destacável em meio a textura intergranular é a presença de xenocristais mantelados (*ocellus*) de quartzo com borda de cristais finos e granulares de hornblenda.



**Figura 5.55** – Características em lâmina do quartzo-diorito do Granito Serra do Iran. (A) Quartzo diorito da amostra AV-P143 sobre fotomicrografia de (2,5x) a nicóis paralelo com textura intersticial intergranular. (B) Fotomicrografia de (2,5x) sobre nicóis cruzados com xenocristais mantelados de quartzo com coroa de cristais finos granulares de hornblenda.

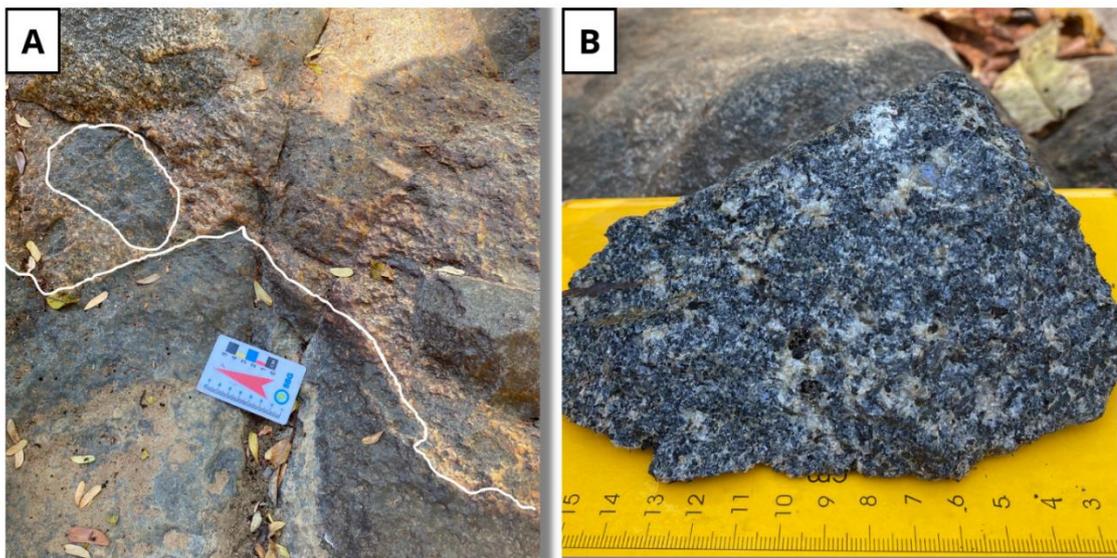
O plagioclásio (50%, An<sub>40-50</sub>) é o mineral dominante na rocha. São cristais hipidiomórficos, prismáticos e apresentam, no geral, bordas corroídas, indicando reações de mútua interferência entre os cristais em crescimento durante as fases finais de cristalização do magma. Contém tanto geminações polissintéticas, da lei da albita, como geminações simples, do tipo *carlsbad*, bem como zonação composicional. Além disso, apresentam um relativo grau de alteração, notado pelo aspecto turvo de alguns cristais. A hornblenda é xenomórfica e compõe a grande parte do restante da proporção modal (40%) da rocha. Apresentam bordas irregulares, muitas vezes preenchendo engolfamentos nos cristais de plagioclásio, pleocroísmo distinto em tons de verde-escuro e marrom pálido, bem como cores de interferência que são características da segunda ordem. As cores de interferência são mascaradas pelo estado de alteração do mineral.

O quartzo (5%) é observado como raros cristais xenomórficos em meio ao arcabouço da rocha. No entanto, é o mineral responsável pela microestrutura que mais chama atenção, os xenocristais mantelados (*ocellus*). Essa feição é caracterizada pela presença de cristais milimétricos, irregulares e corroídos, que lembram vesículas e são bordejados por uma coroa de cristais finos granulares de hornblenda. Podem indicar a ocorrência de enclaves de magma félsico em outro mais máfico, portanto apontando para processos de mistura e desequilíbrio de fases. Minerais opacos ocorrem em proporções que podem representar 5%.

### ***Fácies Gabro***

Esta é a fácies de afinidade mais básica da Unidade Serra do Iran e ocorre em uma restrita área confinada ao leito de uma drenagem na borda leste da Serra da Margarida. Deste modo não foi possível discriminá-los em escala de mapa.

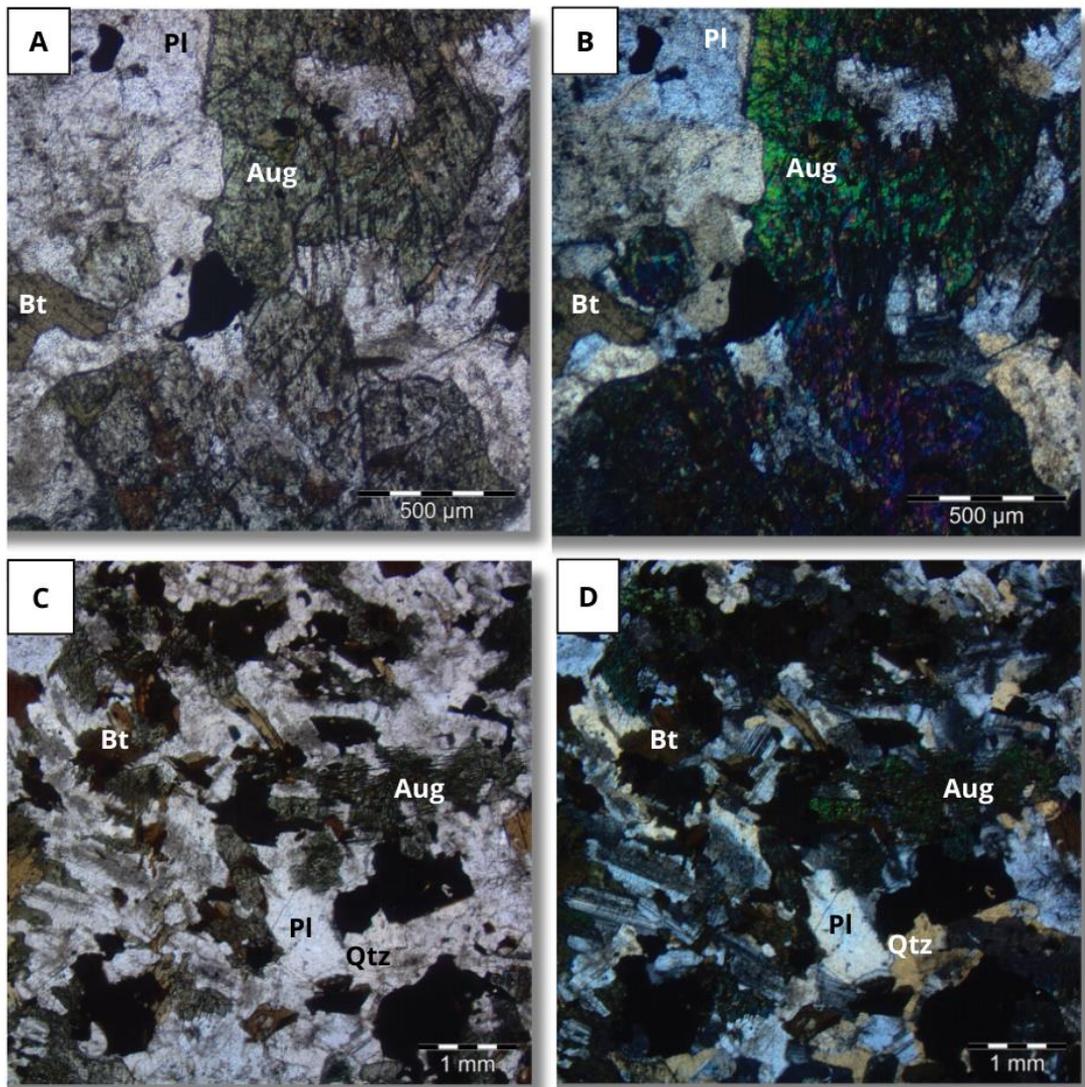
O afloramento revela uma feição de contato (Fig. 5.56A), onde porções máficas, em forma de glóbulos, aparentemente estão injetados em meio as rochas rosadas de granulação grossa da fácies sienogranítica. Em amostra de mão (Fig. 5.56B), a rocha apresenta coloração cinza, granulometria média, textura granular composta por plagioclásio, piroxênio, biotita e anfibólio.



**Figura 5.56** – Aspecto em campo da fácies gabróica. (A) Afloramento do gabro em meio ao sienogranito com destaque a porções máficas (426965/8190319). (B) Amostra de mão do gabro presente na Serra do Iran.

Com base na análise de seção delgada (Fig. 5.57, TF23-IV-67), a rocha pode ser classificada como um gabro de granulometria fina a média e com textura intergranular. É caracterizada pela presença de cristais de plagioclásio pobremente alinhados em uma massa alterada de clinopiroxênio intersticial, indicando a presença de uma textura subofítica reliquiar. Cristais de biotita e mais subordinadamente hornblenda e quartzo, também são observados compondo o arcabouço intergranular da rocha. Os contatos entre a fração quartzo-feldspática e o piroxênio são, no geral, irregulares, mostrando a interferência entre bordas com altas energias superficiais dos cristais durante as suas etapas finais de crescimento. Já os contatos com as bordas das placas de biotita e hornblenda, preservam mais as características das suas faces planares, refletindo a suas relativas baixas energias superficiais durante o crescimento no líquido.

Os cristais de plagioclásio (40%, An<sub>45-60</sub>) são xenomórficos a hipidiomórficos, compõe a maioria dos grãos do arcabouço da rocha e apresentam geminações polissintéticas e zonamentos composicionais com núcleos sericitizados, conferindo-lhes um característico aspecto turvo. O piroxênio (20%) é interpretado como augita, devido as altas cores de interferência, pleocroísmo verde a marrom pálido e extinção inclinada. Os cristais são, na maioria, xenomórficos e mais raramente granulares, apresentando um aspecto sujo de alteração que mascaram as clivagens. Porém, em algumas seções basais é possível identificar as clivagens de 90.º típicas dos piroxênios.



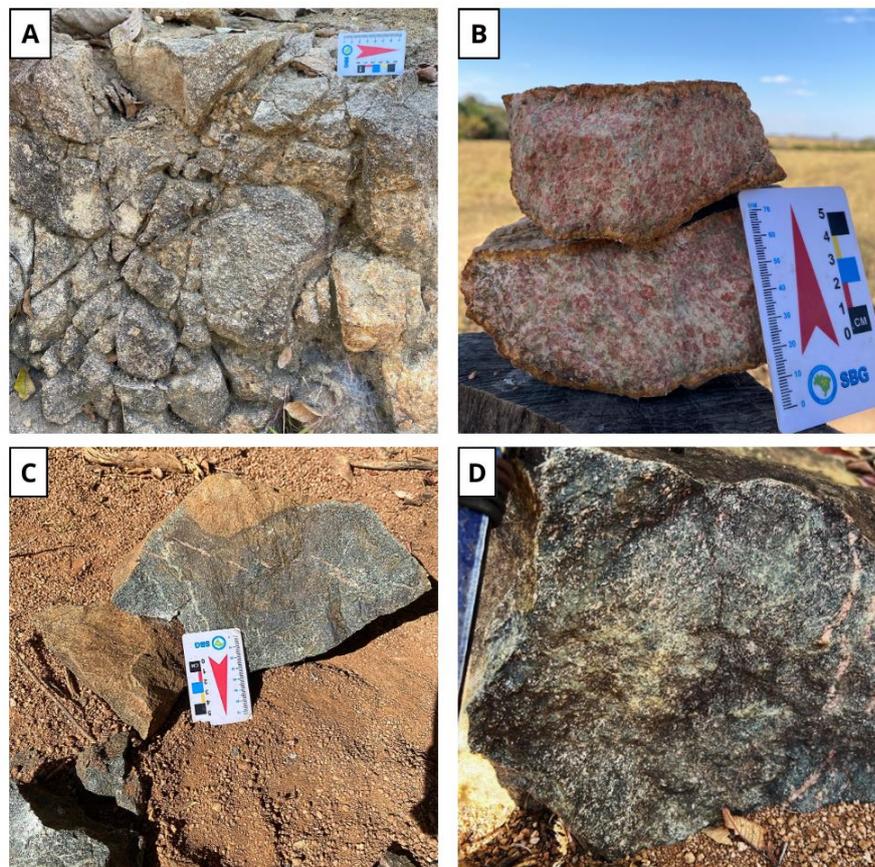
**Figura 5.57** – Características em lâmina da fácies gabro da unidade Serra do Iran. (A) e (B) Fotomicrografias (4x) a nicóis paralelos e cruzados, respectivamente, do gabro encontrado no ponto 67 da Área IV de textura intergranular, destaque para os cristais de piroxênio de cor de interferência alta bastante alterados. (C) e (D) Cristais de biotita e mais subordinadamente quartzo, observados compondo o arcabouço intergranular da rocha rica em plagioclásio à diferente nicóis (2,5x).

A biotita (20%) apresenta um caráter mais hipidiomórfico, com hábitos placosos e distinto pleocroísmo em tons de marrom. Além disso, é frequente apresentarem inclusões de quartzo, plagioclásio e opacos, indicando que estes minerais provavelmente atingiram suas etapas finais de crescimento antes das biotitas. A hornblenda (5%) é encontrada como cristais xenomórficos, ocorrem de forma subordinada e associada as biotitas, inclusive contendo inclusões destas. Raramente é observado o quartzo (5%) e quando o é, geralmente este ocorre como inclusões em outros minerais ou como grãos xenomórficos interconectados com o plagioclásio. Os minerais acessórios são titanitas e opacos, como a magnetita (10%).

## 5.8 Alteração Hidrotermal

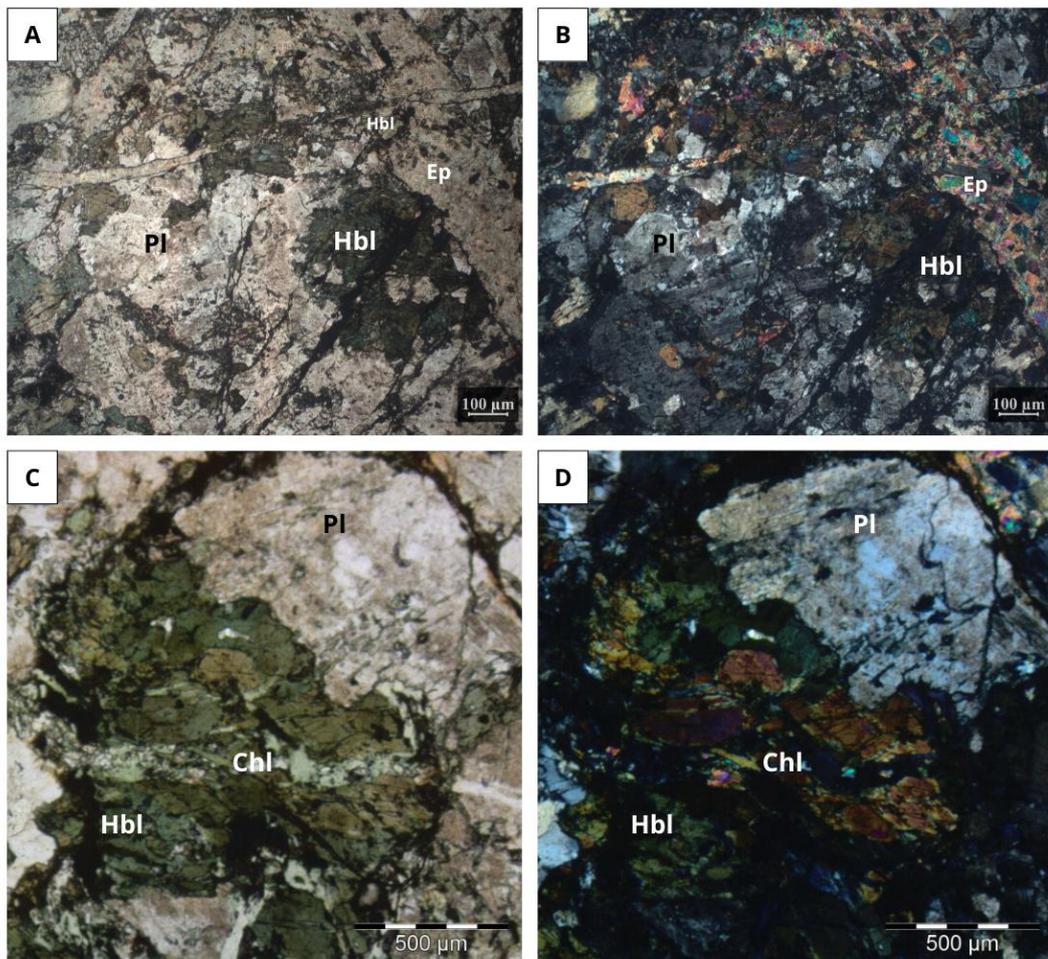
Nas regiões de ocorrências das Unidades do Granito Rio Caiapó, Gnaiss Arenópolis e do Granito Serra do Iran, é frequente encontrar uma mineralogia secundária composta por clorita, epidoto, sericita. Acredita-se que essa assembleia mineral tenha uma origem hidrotermal, sendo reflexo da presença de um potencial halo propilítico de sistema magmático-hidrotermal, provavelmente relacionado a um metassomatismo decorrente das fases de colocação do próprio magmatismo granítico pós-tectônico.

Nas zonas de contato com a rochas das Unidades Granito Serra do Iran e Granito Rio Caiapó, esta alteração produz litotipos ricos em feldspato potássico e epidoto, onde é possível observar venulações de epidoto e clorita permeando a matriz das rochas (Fig. 5.58A-B). Já em alguns casos, nas regiões de contato entre a Unidade Gnaiss Arenópolis com o Granito Caiapó, esta alteração possui um caráter pervasivo, provavelmente devido a maior proporção de minerais cálcicos e hidratados. Assim, observa-se que o epidoto substitui grande parte dos minerais primários da rocha (Fig. 5.58C-D).



**Figura 5.58** – Aspectos gerais em campo da unidade hidrotermal. (A) Afloramento fraturado da alteração hidrotermal no Granito Rio Caiapó (427500/8192024). 437475/8190262). (B) Amostras de rochas alteradas no Granito Serra do Iran (427500/8192024). (C) Amostra de mão da alteração presente em anfibolito do Gnaiss Arenópolis. (D) Detalhe de bloco rolado de anfibolito rico em epidoto.

Foi confeccionada uma secção delgada em um litotipo afetado por alteração hidrotermal localizado na proximidade do contato entre a Unidade Ganisse Arenópolis e a Unidade Rio Caiapó e (TF23-IV-189). A seção delgada corresponde a amostra da Figura 5.58C e D. Como é possível observar na figura, a rocha se trata de um anfibolito que se encontra intensamente fraturado e é composto por um mosaico de plagioclásio e hornblendas (Fig. 5.59, TF23-IV-189). As fraturas são pervasivamente preenchidas por minerais secundários como epidoto e clorita. Geralmente, nas bordas das fraturas ocorrem cristais de clorita, enquanto no interior, o epidoto se torna mais proeminente, formando pelo menos duas gerações de venulações (Fig. 5.59A-B). As venulações formam massas finas e mais densas, a depender do nível de deformação rúptil das fraturas.



**Figura 5.59** – Características em lâmina do anfibolito que sofreu alteração hidrotermal. (A) e (B) Fotomicrografias (10x) destacando o epidoto na vênula da lâmina a nicóis paralelos e cruzados, respectivamente. (C) Mostrando a relação de contato da associação de hornblenda, clorita e actinolita sendo cortado por uma vênula rico em clorita e epidoto em lentes de (2,5x). (D) Plagioclásio sericitizado em contato com os anfibólios à nicóis cruzados (2,5x).

A hornblenda (25%), apresenta seu típico hábito prismático e clivagens relativamente bem preservadas, apesar do estado de alteração da rocha. O plagioclásio (20%) é o segundo

constituente mais importante do mosaico brechado da rocha. A maioria dos cristais se apresentam sericitizados, sendo que poucos mostram geminação polissintética. O quartzo (10%) se encontra junto com o plagioclásio dentro do arcabouço fraturado. A clorita (10%), geralmente ocorre nas paredes e bordas das fraturas. Apresentam pleocroísmo verde-claro e cores de interferência em um azul anômalo, indicando uma composição mais rica em ferro.

O epidoto (30%) é um mineral essencialmente pervasivo na rocha, determinando variados tipos de textura nas venulações discordantes. Forma uma massa fina nas paredes das brechas e mosaicos poligonais no seu interior. Apresenta relevo alto, coloração creme pálida com aspecto turvo, além de cores de interferências diversas, podendo chegar até o início da terceira ordem. Os minerais acessórios são a titanita e opacos (5%).

A associação de minerais paragenéticos, como a hornblenda, plagioclásio e a titanita com minerais de alteração metassomática, sugerem que este é um produto do hidrotermalismo de uma rocha de composição tonalítica ou granodiorítica.

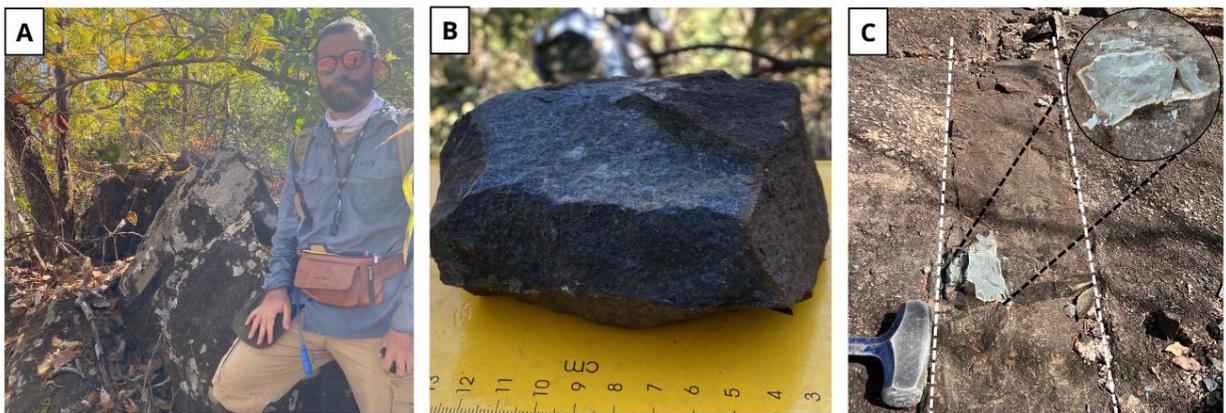
### **5.7 Suíte Plutônica Alcalina de Arenópolis – Jkλia**

Na região do Projeto Arenópolis ocorrem rochas plutônicas e subvulcânicas de composição alcalina, atribuídas a Suíte Plutônica Alcalina de Arenópolis (SPAA). As rochas desta unidade são ressaltadas nos mapas de campo magnético anômalo (CMA) e gradiente total horizontal (GHT) (Fig. 3.22 e 3.21).

Nestas imagens, as intrusões aparecem destacadas na parte leste da escala regional do Projeto Arenópolis, onde é possível observar diversas estruturas magnéticas secundárias irradiando a partir de uma grande anomalia magnética relacionada às rochas da Suíte Plutônica Alcalina de Arenópolis.

#### ***Fácies Subvulcânicas (Jkλiasv)***

Na Área IV, ocorrem apenas os termos subvulcânicos, que se manifestam na forma de diques que cortam as litologias presentes na região oriental, sendo o principalmente aquelas pertencentes a Unidade Granito Rio Caiapó. As melhores exposições dos diques nessa região, se deve à sua proximidade com o corpo plutônico presente na porção nordeste da área do Projeto Arenópolis. Estes diques apresentam uma clara relação de corte com os monzogranitos da Unidade Rio Caiapó (Fig. 5.60C). Além disso, as rochas da SPAA intrudem a Unidade Serra do Iran e são evidenciadas como amontoados de blocos rolados e *in-situ* (Fig. 5.60A).

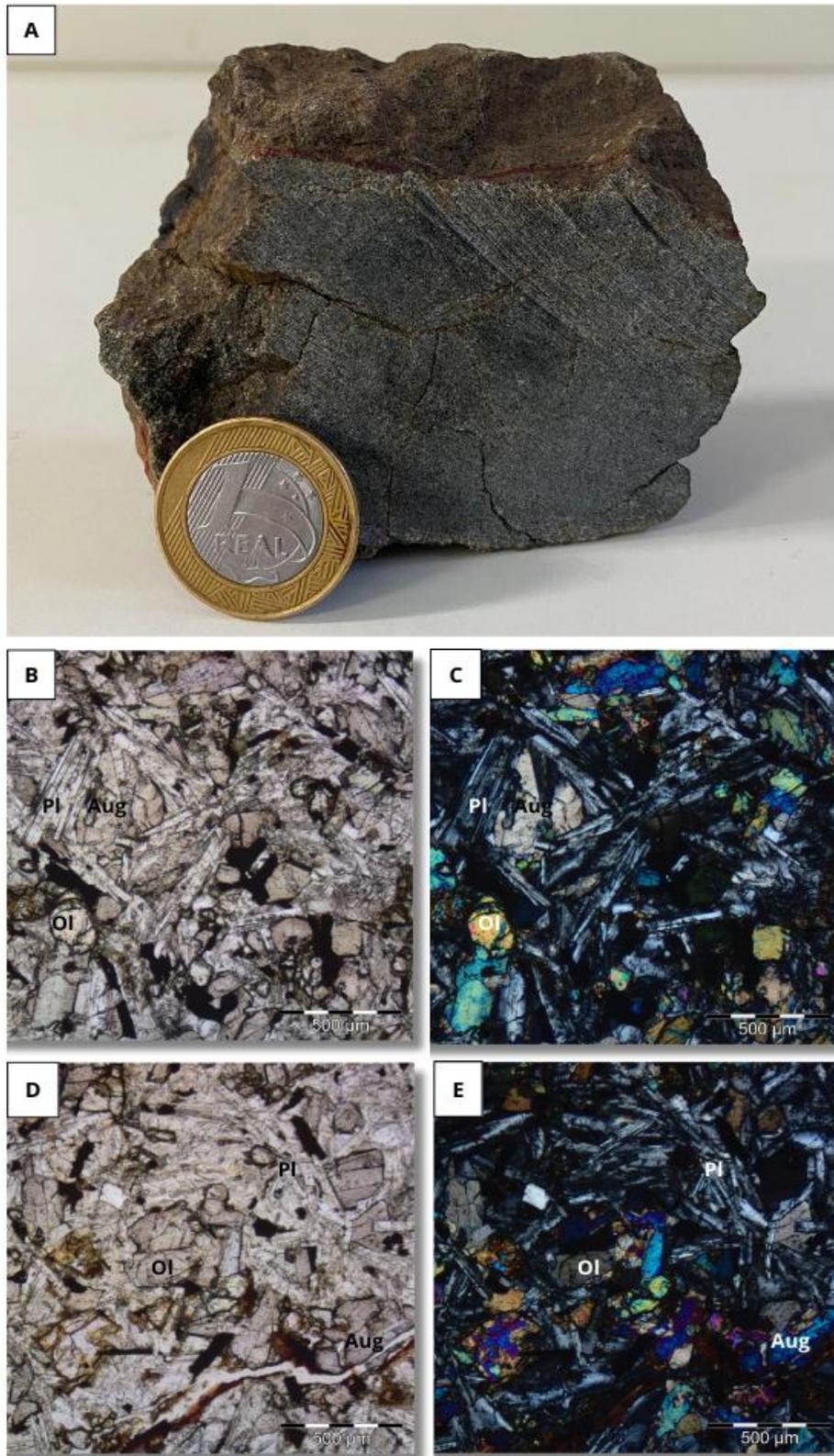


**Figura 5.60** – Aspectos em campo da Suíte Alcalina Arenópolis. (A) Bloco de diques alcalinos na unidade Rio Caiapó. (B) Amostra de mão de bloco rolado de dique alcalino presente na Serra do Iran (425056/8189108). (C) Dique alcalino presente no chão com zoom em amostra de mão mostrando basanita cortando o Granito Rio Caiapó (425363/8190112).

As rochas são predominantemente de afinidade máfica, melanocráticas, porfíricas com uma matriz bastante fina, em muitos casos afanítica. Os fenocristais são de titano-augita ou olivina e a matriz, quando visível ao olho nú, é composta de plagioclásio e flogopita (Fig.5.60B).

Em lâmina, esta rocha máfica subvulcânica (Fig. 5.61, TF23-I-13) pode ser classificada como basanita de granulometria fina, holocristalina, com textura porfírica representando por fenocristais de olivina em uma matriz fina, na maior parte da lâmina, e a matriz fina com uma textura de domínios ofíticas a sub-ofíticos com o plagioclásio crescendo sobre os cristais de clinopiroxênio. Há uma série de vênulas que aparentam estar alterando os minerais que estão em contato com essa microestrutura, deixando a olivina e piroxênio com um aspecto oxidado.

Composta majoritariamente por plagioclásio (40%) de hábito prismático, relevo baixo, incolor e intercrescido com olivina e titano-augita. O teor de anortita é próximo de 50 (labradorita). A olivina (15%) é euédrica, fraturada e de relevo alto. Este silicato por vezes aparece alterado para um mineral de cor castanha, provavelmente iddingsita, principalmente próxima às vênulas. A titano-augita (30%) possui relevo moderado, hábito prismático, bordas pleocróicas com tons rosados, além de cores de interferência que pode atingir intermédios da 3ª ordem. Os opacos (10%) são representados pela magnetita de hábito euédrico e pelo fato de a amostra ser bastante magnética.



**Figura 5.61** – Características da unidade subvulcânica do Corpo Arenópolis. (A) Amostra do dique alcalino, basanita, presente na Área I, similar com os blocos rolados encontrados na Área IV. (B) e (C) Fotomicrografias (4x) de textura sub-óptica realizado pelos cristais de plagioclásio ao redor do cristal de titano-augita. (D) e (E) Destaque para a matriz fina com cristais de olivina, plagioclásio e clinopiroxênio e a vênula oxidada a nicóis paralelos e cruzados.

## 6. Geologia Estrutural

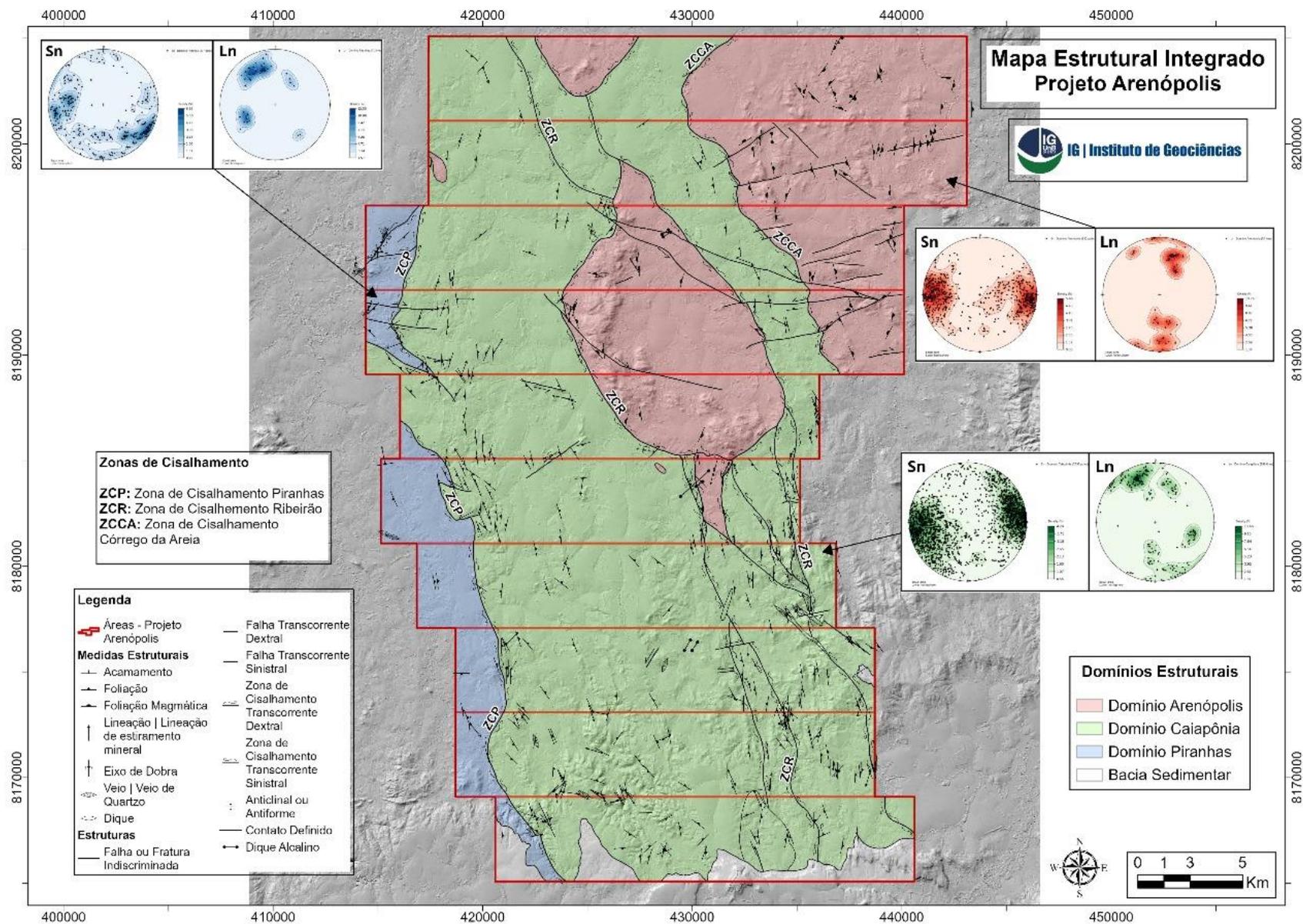
Além de informações correspondentes aos aspectos litológicos e petrográficos, a fase de campo do Projeto Arenópolis foi essencial, também, para a compreensão das relações de contatos entre as unidades que, devido à natureza polideformada da região, ocorrem como zonas de cisalhamento e falhas de médio a alto ângulo. Ademais, a coleta e as análises de feições estruturais, como sobreposições, estilos e gerações de dobramentos, foliações, lineações e fraturas, contribuíram para a concepção de eventos deformacionais incidentes na escala do projeto. Este conjunto de abordagens propiciou a idealização de um quadro tectônico para a região de estudo, cujo modelo evolutivo será proposto no capítulo 8.

Serão aqui abordadas as análises estruturais realizadas no contexto da Área IV conforme os dados coletados em campo. Tais informações, juntamente com os dados de sensoriamento remoto e aerogeofísicos, compuseram a base para a proposição da estruturação geológica da presente área, bem como no âmbito do projeto integrado.

### 6.1 Domínios Estruturais do Projeto Arenópolis

O mapa estrutural do Projeto Arenópolis (Fig. 6.1) foi confeccionado a partir da integração e sumarização dos dados de campo das 10 áreas envolvidas. Tal mapa evidencia diferentes padrões associados as orientações de foliações, lineações, fraturas e eixos de dobras. Deste modo, em função dos níveis de homogeneidade destes padrões, bem como pelos estilos de deformação, a estruturação do projeto foi agrupada em 3 domínios cujos limites são balizados por zonas de cisalhamento de escala regional, como indica os dados de GHT (Fig. 3.21). Devido à proximidade e a disposição espacial, é possível que estas zonas de cisalhamento correspondam a ramificações de um sistema relacionado a uma estrutura de primeira ordem, mais precisamente ao Lineamento Transbrasiliano.

A região compreendida pelo Projeto Arenópolis apresenta uma orientação preferencial relativamente homogênea e bastante nítida, como indicado pela disposição das estruturas planares e lineares. Contudo, pequenos desvios do padrão generalizado NNW podem ser observados. Com base majoritariamente nesta premissa, os Domínios Caiapônia (N-S, NW-SE e E-W), Arenópolis (N-S e E-W) e Piranhas (N-S, NE-SW e E-W) foram delimitados, compreendendo todo o arcabouço estrutural do projeto.

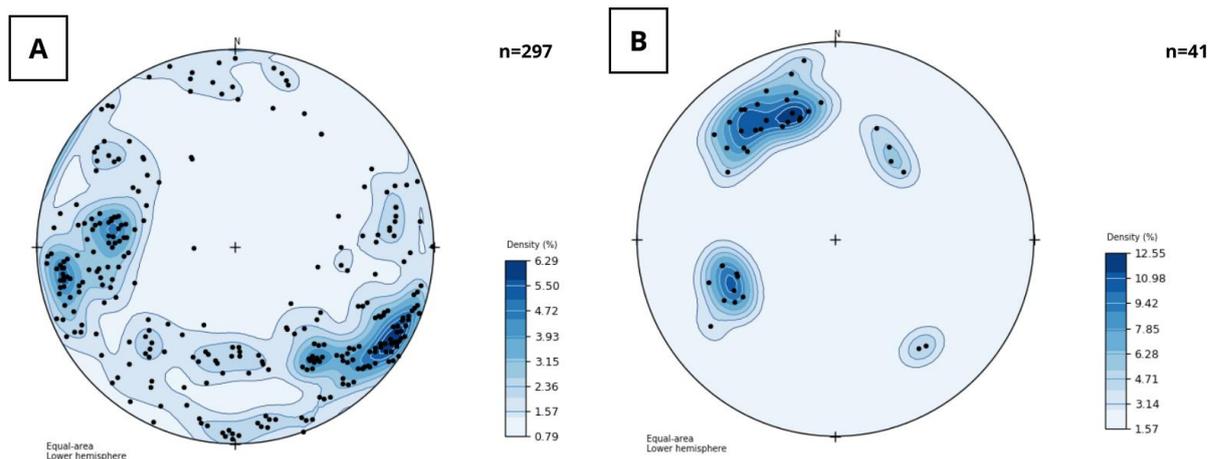


**Figura 6.1** - Mapa Estrutural Integrado do Projeto Arenópolis com seus respectivos domínios estruturais e zonas de cisalhamento

### 6.1.1 Domínio Piranhas

O Domínio Piranhas se limita à porção ocidental do Projeto Arenópolis, próximo à cidade de Piranhas-GO, influenciando boa parte das áreas do projeto, à exceção das áreas I e II. A estruturação desse domínio compreende, em sua maior parte, as rochas da Unidade plutônica granítica Ribeirão Água Limpa e porções do extremo oeste da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas. O limite se dá por um corredor de cisalhamento dúctil-rúptil com direção-geral N-S e algumas inflexões E-W, definida neste trabalho como a Zona de Cisalhamento Piranhas (ZCP). Sua estruturação é condicionada por foliações do tipo xistosidade, na parte que envolve as rochas da sequência, e foliação milonítica, nas proximidades dos corredores de cisalhamento.

A tendência predominante no Domínio Piranhas (Fig. 6.2A) é marcada por foliações de direção NE-SW, que são mais características nas porções centro-norte. Direções N-S também apresentam significativa representatividade, estas com distribuições mais homogêneas na área do domínio. Subsidiária a estes últimos, ocorrem padrões E-W, mais evidentes, por imprimir inflexões na Zona de Cisalhamento Piranhas (Fig. 6.1).



**Figura 6.2** - Estereogramas associados ao Domínio Piranhas. (A) Contornos de densidade com os pólos das foliações do domínio Piranhas. (B) Representação das medidas de lineações com polos preferenciais a noroeste e sudeste.

A estruturação NE-SW, bem como a N-S aparentam representar flutuações da Zona de Cisalhamento Piranhas, sendo possivelmente relacionadas a acomodação da deformação dúctil-rúptil ao longo da extensão desse corredor. A porção NE-SW apresenta, no geral, mergulhos

altos ( $50^\circ$  a  $85^\circ$ ) para W, associados a uma alta densidade de lineações de estiramento com azimutes entre  $315^\circ$  a  $360^\circ$  e caimentos com até  $80^\circ$ .

No caso da porção N-S, é possível notar que as estruturas planares apresentam um agrupamento mais restrito a essa tendência com mergulhos moderados e outro agrupamento, este com leve desvio para NE, cujos mergulhos são de maior ângulo, podendo chegar a mais de  $80^\circ$ . Ambos os agrupamentos se apresentam mergulhando para leste e estão associados com lineações de estiramento mineral com caimentos para NE e SW girando em torno de  $30^\circ$  a  $45^\circ$ .

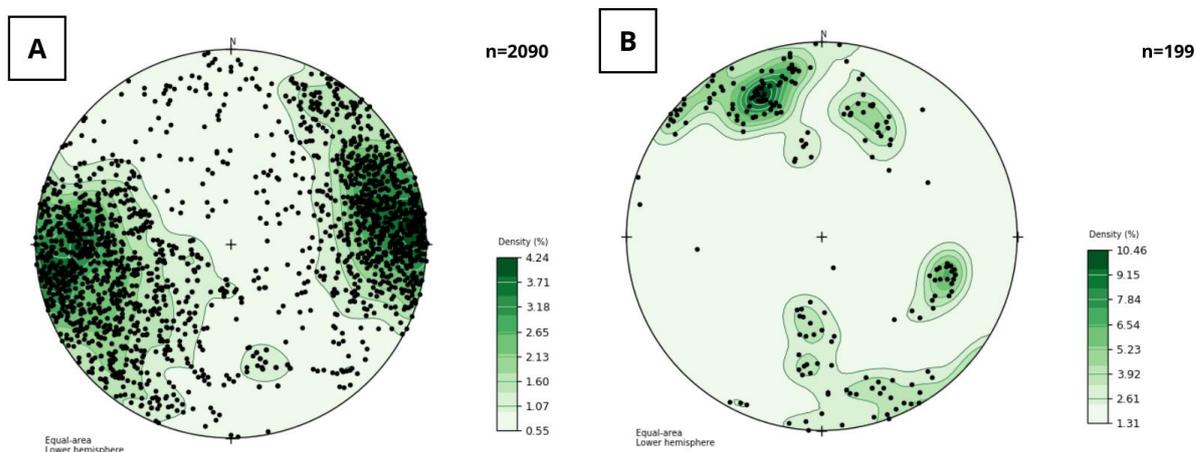
Por fim, a estruturação E-W é a que possui menor densidade de distribuição no Domínio Piranhas. Possuem, desde mergulhos moderados ( $50^\circ$ ) até mergulhos mais altos ( $80^\circ$ ), ambos para a direção N. Estas estruturas planares são acompanhadas por lineações que se situam nas proximidades dos seus *strikes* ( $230^\circ$  a  $270^\circ$ ), com caimentos girando em torno dos  $45^\circ$ . Essa evidência indica que, pelo menos em parte, as estruturas de direção E-W representariam falhas de rejeito direcional.

### **6.1.2 Domínio Caiapônia**

Localizado na região central do Projeto Arenópolis, se estendendo de norte a sul, o Domínio Caiapônia é caracterizado por uma maior disposição geográfica, abrangendo praticamente todas as áreas do projeto e afetando a grande maioria das unidades litológicas, como a Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas, as Unidades Gnaisses Arenópolis e Ribeirão, a intrusão máfica da Unidade Morro Baú, o granito milonítico Serra do Tatu e as rochas vulcânicas da Unidade Córrego do Horácio. As rochas destas unidades apresentam a sua trama caracterizadas por foliações do tipo xistosidade, bandamento gnáissico e foliação milonítica nas regiões de influência das zonas de cisalhamento, além de lineações de estiramento mineral, lineações de interseção e crenulação.

No caso do Domínio Piranhas, a estruturação principal (Fig. 6.3A) possui direção N-S e NW-SE, com mergulhos tanto para oeste como para leste. A grande variabilidade da distribuição das amostragens em torno dos contornos de maiores densidades mostra que os mergulhos são desde moderados ( $45^\circ$ ) podendo chegar até quase que inteiramente verticais ( $90^\circ$ ). Esta tendência mais verticalizada das foliações justificaria a polaridade dos mergulhos observados. Os dados também permitem observar um espalhamento heterogêneo de uma estruturação aproximadamente E-W, com uma ampla gama de mergulhos, desde sub-horizontais a sub-verticais. A incidência destes últimos, aparenta ocorrer em porções mais localizadas da área do projeto, principalmente na parte meridional, fato este que possibilitaria

a subdivisão do Domínio Caiapônia a fim de compreender com maior detalhe as implicações dessa estruturação.



**Figura 6.3** - Estereogramas associados ao Domínio Caiapônia. (A) Contornos de densidade com os pólos das foliações do deste domínio com fortes tendências ENE-WSW. (B) Representação das medidas de lineações do domínio Caiapônia com tendência NNW.

As estruturas N-S e NW-SE aparentam estar acompanhadas por grupos de lineações com *trends* para ESE, ENE, N e NNW (Fig. 6.3 B) e caimentos suaves a moderados. É válido ressaltar que a relativa baixa incidência de densidades de estruturas planares E-W, com a ausência de agrupamentos bem definidos, indica a baixa possibilidade de que o *cluster* de lineações com *trend* para ESE esteja relacionado a falhas direcionais com tal orientação.

A Figura 6.3B também mostra a ocorrência de agrupamentos de lineações com caimentos para SSE, podendo atingir ângulos de até cerca de 60°. Devido à menor densidade de distribuição desses agrupamentos, é possível que estes estejam associados as foliações de estruturação E-W. Outra possibilidade a ser levantada para discussões, refere-se ao fato de que as lineações com *trends* N-S, podem estar associadas a foliações de mesma orientação, portanto, acompanhando zonas de cisalhamento transcorrentes e falhamentos locais com rejeitos direcionais.

### 6.1.3 Domínio Arenópolis

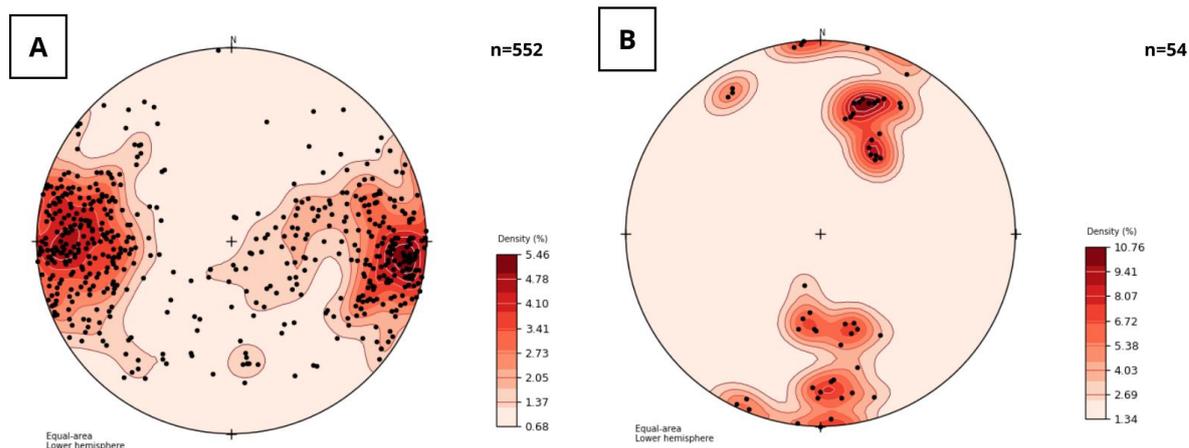
O Domínio Arenópolis está presente na região setentrional do projeto, a qual engloba o perímetro urbano da cidade de Arenópolis. Apresenta duas grandes regiões (Fig. 6.1), uma mais ao centro, a qual limita Unidade Granito Serra do Iran através da Zona de Cisalhamento Ribeirão (ZCR), e outra a nordeste, envolvendo a Unidade Granito Ribeirão Caiapó por meio da Zona de Cisalhamento Córrego da Areia (ZCCA).

A Zona de Cisalhamento Córrego da Areia possui uma orientação geral NNW com uma inflexão para E na sua porção norte, balizando ali o limite do batólito granítico Rio Caiapó com as rochas do Gnaisse Arenópolis. Já a Zona de Cisalhamento Ribeirão contorna o plúton Serra do Iran em uma geometria sigmoidal, configurando um provável indicador cinemático de escala regional. Ambas as zonas de cisalhamento possuem cinemática sinistral, interpretada por meio múltiplos indicadores em escala de afloramento, bem como em escala microestrutural.

As estruturas planares do Domínio Arenópolis, como as foliações, são foliações de provável origem magmática, dada pelas orientações preferenciais de feno- a megacrístais de feldspatos, bem como foliações de natureza tectônica. Estas foliações são evidenciadas em porções mais interiores do domínio, enquanto nas bordas, nas proximidades com a Zona de Cisalhamento Córrego da Areia, as foliações podem ser do tipo milonítica. Além dessas foliações, é característico do Domínio Arenópolis uma ampla gama de fraturas de cisalhamento com a presença dos característicos pares conjugados, bem como arranjos de juntas sistemáticas, provavelmente relacionadas ao alívio de *stress* durante o resfriamento magmático dos corpos intrusivos.

Os dados das estruturas planares do Domínio Arenópolis (Fig. 6.4A) mostram um claro predomínio de uma estruturação N-S com mergulhos variando de suaves a altos. Os mergulhos com mais baixo ângulo devem estar condicionados às foliações de origem magmática, enquanto aqueles de ângulos maiores, provavelmente são representações das foliações que definem a Zona de Cisalhamento Córrego da Areia. Há, também, uma componente E-W, caracterizada por mergulhos suaves até moderados, podendo chegar a cerca de 60°. Esta última estruturação aparenta estar ligada a eventos rúptil-dúcteis tardios, relacionados a zonas de fraturas de cisalhamento de caráter sintético a antitético.

Estão associadas às foliações N-S da Zona de Cisalhamento Córrego da Areia, nos limites da unidade Ribeirão Caiapó, lineações de estiramento mineral (Fig. 6.4B) com *trends* de mesma orientação e caimentos suaves a moderados, evidenciando um caráter transcorrente para tal zona de cisalhamento.



**Figura 6.4** - Estereogramas associados sobre o domínio Arenópolis. (A) Contornos de densidade com os pólos das foliações do Domínio Arenópolis com direções preferenciais E-W. (B) Estereogramas dos pólos das medidas de lineação deste domínio.

## 6.2 Arcabouço Estrutural da Área IV

A Área IV do Projeto Arenópolis é contemplada por todos os domínios estruturais supracitados, ou seja, Domínios Piranhas, Caiapônia e Arenópolis. Tais agrupamentos são produtos de uma conjunção de dados de campo associados com aqueles produzidos na etapa pré-campo.

O acervo de dados estruturais é referente a medidas de foliações (Sn), fraturas (Fr), planos axiais (As), flancos e eixos de dobras (E), além de lineações de estiramento mineral (Lx) e lineações de crenulação (Lc). O arcabouço estrutural da Área IV pode ser dividido em um arcabouço dúctil e outro rúptil. Aquele de caráter dúctil é composto por foliações, lineações, dobras e zonas de cisalhamentos, enquanto o arcabouço rúptil é representado essencialmente por fraturas, falhas e diques.

A distribuição dos elementos estruturais da Área IV, ressaltando a tendência das medidas, falhas e zonas de cisalhamento em associação aos domínios estruturais, podem ser mais bem visualizadas por meio do seu mapa estrutural (Fig. 6.5).

### Mapa Estrutural - Projeto Arenópolis - Área IV

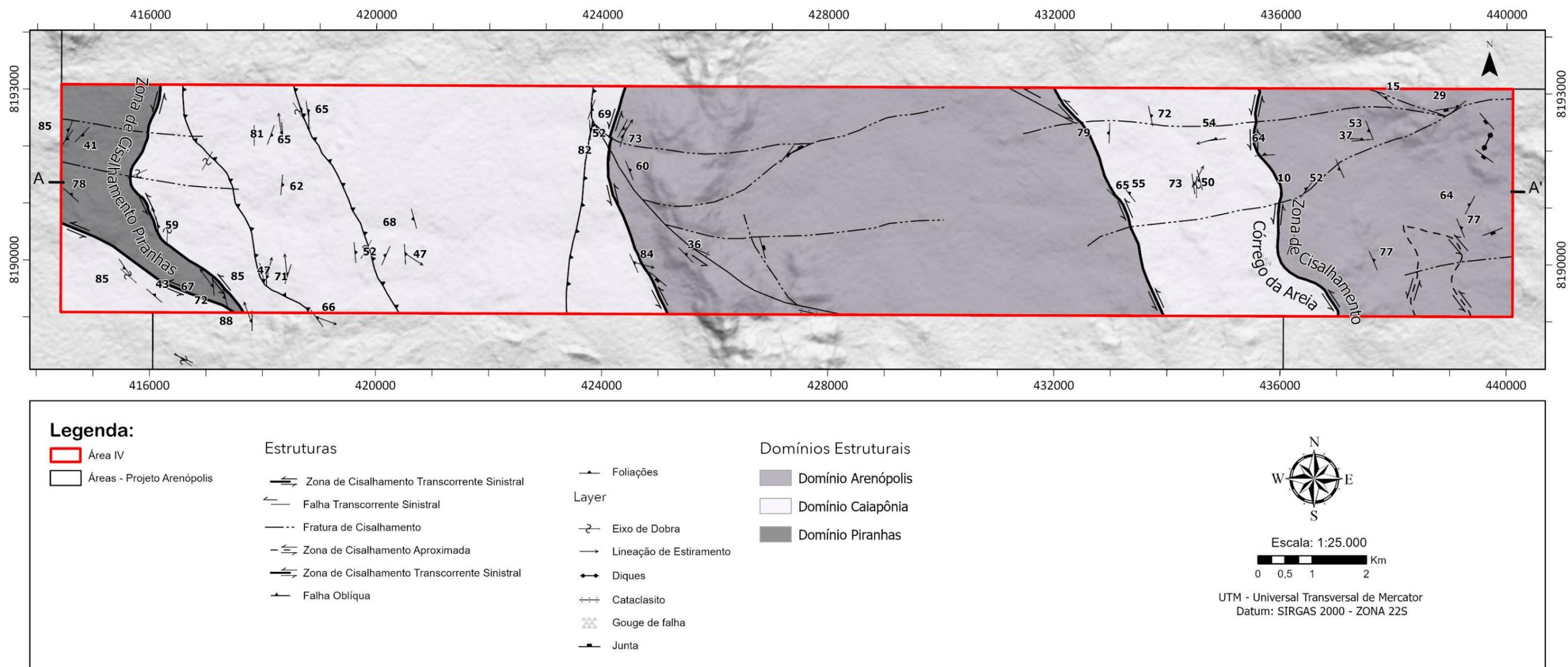


Figura 6.5 - Mapa estrutural da Área IV com suas respectivas medidas plotadas adquiridas em campo e seus domínios estruturais presente

## 6.2.1 Arcabouço Dúctil

### 6.2.1.1 Foliações

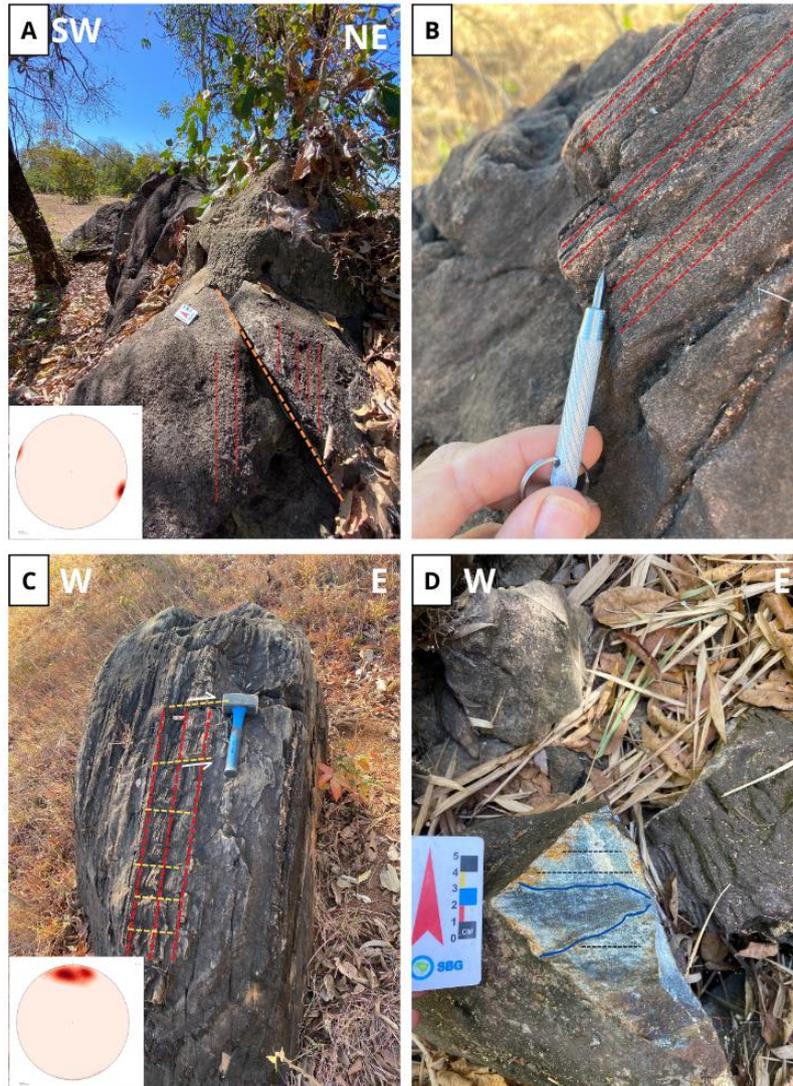
A Área IV recebe uma forte influência da trama dúctil, marcada principalmente por gerações ( $S_n$ ) de foliações redobradas e transpostas. Os tipos de foliações comumente encontradas são xistosidades, características nos metassedimentos e anfibólitos, foliações miloníticas  $S/C$ , típicas das zonas de cisalhamento, bem como bandamento gnáissico, clivagens espaçadas como crenulações e foliação de fluxo magmático. Foram obtidas um total de 488 medidas nos afloramentos, com um *trend* generalizado NNW e mergulhos variando entre 30 e 80°.

### *Domínio Piranhas*

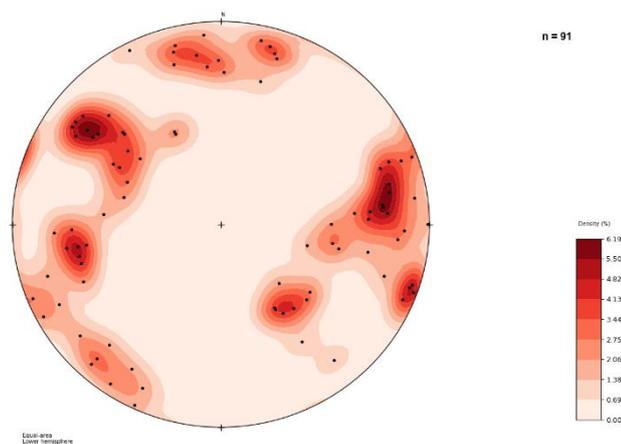
As rochas do Domínio Piranhas, no contexto da Área IV, apresentam essencialmente xistosidades e foliações miloníticas  $S/C$ , estas últimas se restringindo junto a Zona de Cisalhamento Piranhas. A xistosidade é mais evidente nas rochas metamáficas (Fig. 6.6B-C) as quais o particionamento da deformação propicia a segregação de filmes de anfibólitos alternados com domínios quartzo-feldspáticos em uma textura granoblástica. Nas rochas plutônicas da unidade Ribeirão Água Limpa ocorrem também uma xistosidade, porém de forma incipiente (Fig. 6.6A), marcada por filmes de muscovita e biotita. Esta xistosidade é transposta na zona de cisalhamento, formando uma foliação milonítica.

Os padrões de interferência e sobreposição em alguns afloramentos, permitem interpretar a existência de foliações  $S_1$  resultantes de uma primeira fase de dobramentos  $F_1$  que, geralmente, estão transpostas e sobrepostas por flancos de dobras  $F_2$  resultantes, na fase de dobramentos seguinte. Esta última, por sua vez, foi responsável por desenvolver foliações plano-axiais  $S_2$  (Fig. 6.6B-C).

As medidas das foliações  $S_1$  e  $S_2$  para o Domínio Piranhas (Fig. 6.67) mostram uma tendência predominante N-S com mergulhos moderados a altos para E e W. Uma tendência expressiva que também se observa é aquela de direção NE-SW, caracterizada pelo mesmo padrão de mergulho, desta vez para NW e SE. Os desvios nestas direções mais expressivas são notados pela incidência de *trends* subordinados NW-SE, bem como E-W. Estes últimos são interpretados como produtos da interferência por rotação ocasionada pela estruturação da Zona de Cisalhamento Piranhas.



**Figura 6.6** - Aspecto gerais das foliações presentes nas rochas do Domínio Piranhas. (A) Destaque para a foliação de xistosidade presente no granito do Ribeirão Água Limpa. (B) Anfibolito foliado e dobrado da unidade metamáfica da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis com foliações  $S_2$ . (C) Marcante foliação no afloramento de anfibolito da Sequência Arenópolis com foliações plano-axiais  $S_2$ . (D) Gnaiss parcialmente bandado na área do contato do Ribeirão Água Limpa e a Sequência Arenópolis.

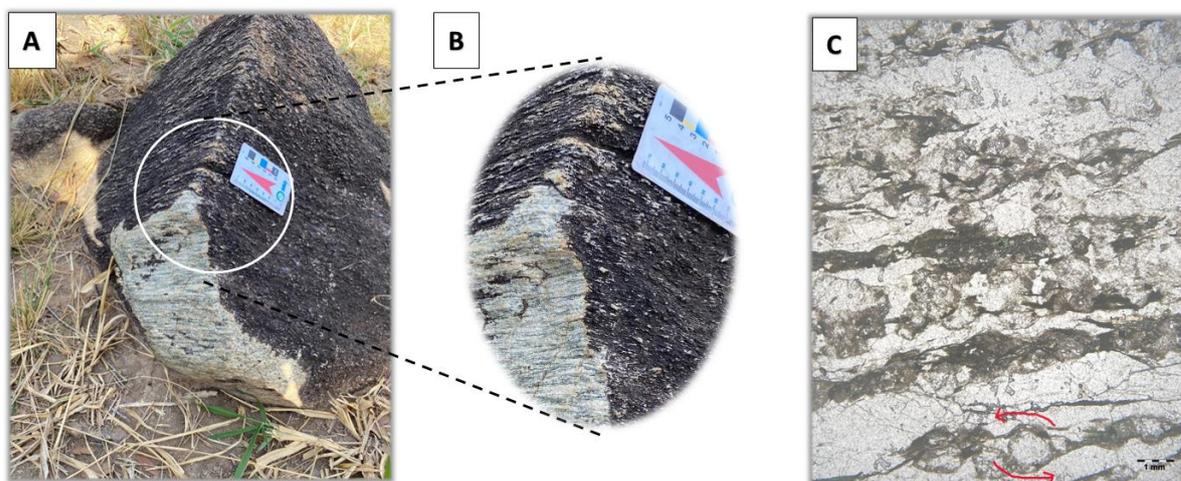


**Figura 6.7** - Estereograma referente às medidas dos pólos com as linhas de contorno de densidade das foliações do domínio Piranhas na Área IV.

### ***Domínio Caiapônia***

O Domínio Estrutural Caiapônia, no que se refere ao contexto da Área IV, envolve as rochas da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas em ambas as suas duas unidades, bem como as rochas da Unidade Gnaiss Arenópolis. Em princípio, este domínio também engloba o granito milonítico Serra do Tatu, que na presente área ocorre como uma lente localizada e envolvida pela Zona de Cisalhamento Ribeirão.

Devido à condição basculada dos afloramentos da Unidade Serra do Tatu (Fig. 6.8A), observados na Área IV, as medidas não são representativas da trama tectônica e logo não serão tratadas na presente análise. Contudo, é válido ressaltar que essas rochas apresentam foliações miloníticas mais pronunciadas (Fig. 6.8B) do que suas contrapartes na sua área tipo, indicando um intenso estado de transposição e logo de importância para a compreensão da evolução tectônica da região.



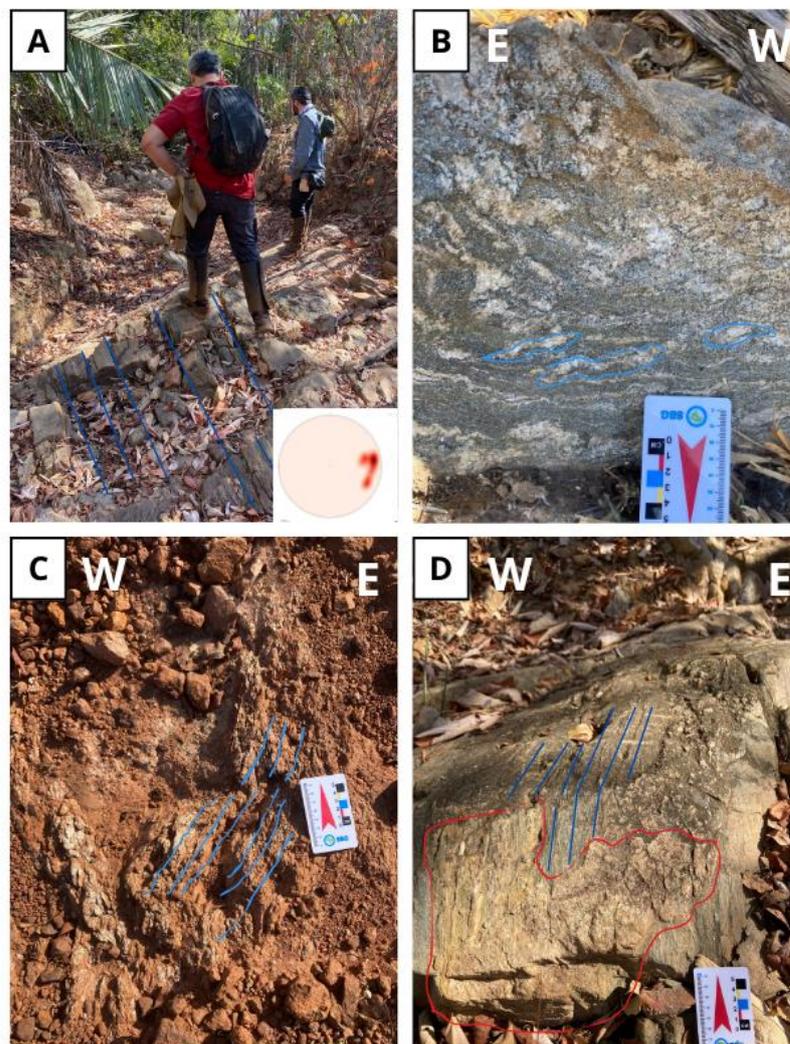
**Figura 6.8** - (A) Afloramento de bloco basculado do granito milonítico Serra do Tatu. (B) Destaque para a foliação milonítica. (C) Lâmina petrográfica da unidade Serra do Tatu com ocorrência de porfiroclastos em complexos grão-calda do tipo- $\delta$ .

A ocorrência das rochas miloníticas da unidade Serra do Tatu em um local relativamente distante da sua área tipo, permanece para maiores discussões futuras. Entretanto, levando em conta o seu caráter circunscrito pelas rochas do Gnaiss Arenópolis nas influências da Zona de Cisalhamento Ribeirão, é possível que estas rochas tenham sido capturadas pela frente de cisalhamento em um contexto de maior profundidade em regime plástico e gradualmente trazidos a superfície por meio do movimento direcional da zona de cisalhamento. Ademais, em análise petrográfica, além da frequente ocorrência de porfiroclastos em complexos grão-calda do tipo- $\delta$  (Fig. 6.8C), foram descritas microestruturas simplectíticas (Seção 5.31),

características de condições retrometamórficas, o que seria compatível com tal hipótese de soerguimento.

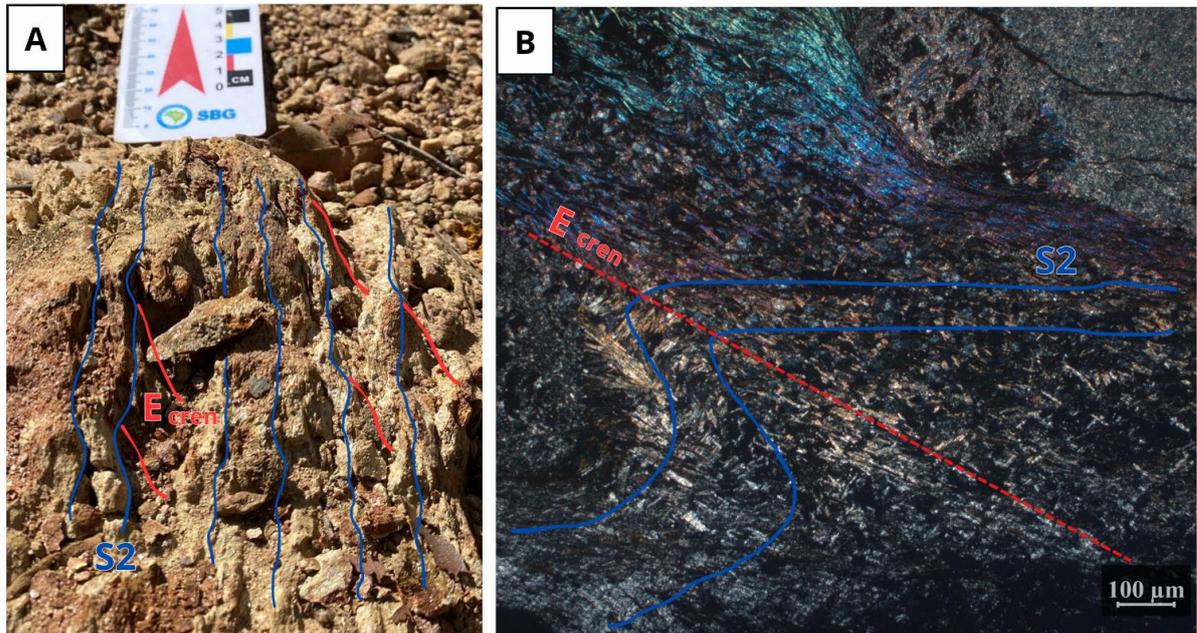
Além de foliações miloníticas em rochas sob influência da Zona de Cisalhamento Ribeirão, a trama planar do Domínio Caiapônia é caracterizada por foliações do tipo xistosidade, clivagens espaçadas na forma de crenulações (Fig. 6.9C) e bandamento gnáissico (Fig. 6.9A, B e D).

As clivagens de crenulação típicas dos metassedimentos da Sequência Arenópolis, representariam uma terceira fase de dobramentos  $F_3$  responsável por iniciar um processo de transposição das foliações plano-axiais  $S_2$ , bem como das foliações miloníticas  $S_3$ . Essa concepção pode ser compreendida como uma relação de sobreposição entre uma xistosidade ( $S_2$ ), que provavelmente também se iniciou como uma clivagem de crenulação, com outra geração de crenulação mais recente  $F_3$  (Fig. 6.10A-B).



**Figura 6.9** - Aspecto gerais das foliações contidas no Domínio Caiapônia. (A) Afloramento de gnaisse bandado próximo ao contato do Gnaisse Arenópolis com o Granito Serra do Iran. (B) Bandamento de escala centimétrica

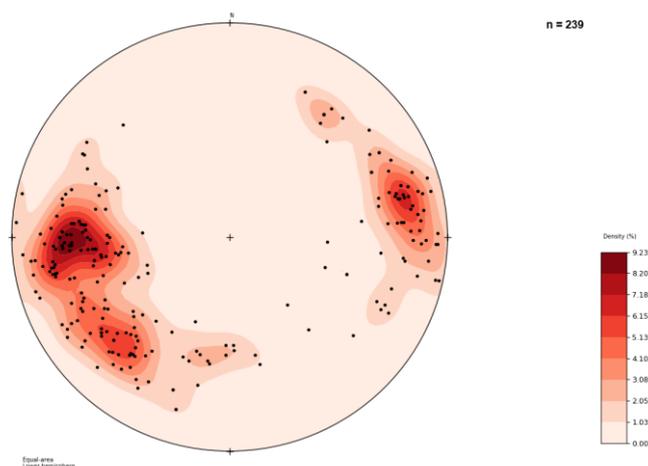
presente no Gnaiss Arenópolis. (C) Foliação de crenulação na unidade metassedimentar da Sequência Arenópolis. (D) Aspecto textural do Gnaiss Arenópolis com porções de enclave.



**Figura 6.10** - (A) Clivagens de crenulação em afloramento de metassedimentos da Sequência Arenópolis. (B) Fotomicrografia ressaltando a geração de crenulação mais recente ( $S_{cren}$ ) no metassedimento do Córrego da Onça.

Nos bandamentos gnáissicos, em alguns casos, é possível observar que a foliação se alterna com segregações quartzo-feldspáticas com microdobradas (Fig.6.9B). A direção dessas dobras poderia representar a direção da foliação primária  $S_1$ . O padrão de rompimento dos flancos destas microdobras, indica que tal foliação foi transposta pela fase seguinte de dobramentos que resultou nas foliações  $S_2$ . Em outros casos, o bandamento gnáissico aparenta ser contínuo e homogêneo, indicando um paralelismo entre  $S_1$  e  $S_2$ . (Fig.6.9D). Devido ao difícil observação e estabelecimento dessas relações de sobreposição em campo, assume-se que esta última situação seja a mais comum.

O padrão de distribuição das foliações na Área IV, mostra uma orientação predominante N-S de alto ângulo (Fig. 6.11). Devido a esta tendência, os mergulhos ocorrem tanto para E como para W, evidenciando que as foliações do domínio fazem parte de uma alta frequência de dobramentos, provavelmente relacionados as dobras  $F_2$ . Além disso, é possível observar também uma estruturação subordinada de direção NW-SE com mergulhos altos, mostrando ainda o mesmo padrão de polarização da direção dos mergulhos.



**Figura 6.11** - Estereograma dos pólos com as linhas de contorno de densidade referente às foliações da Área IV referente ao Domínio Caiapônia.

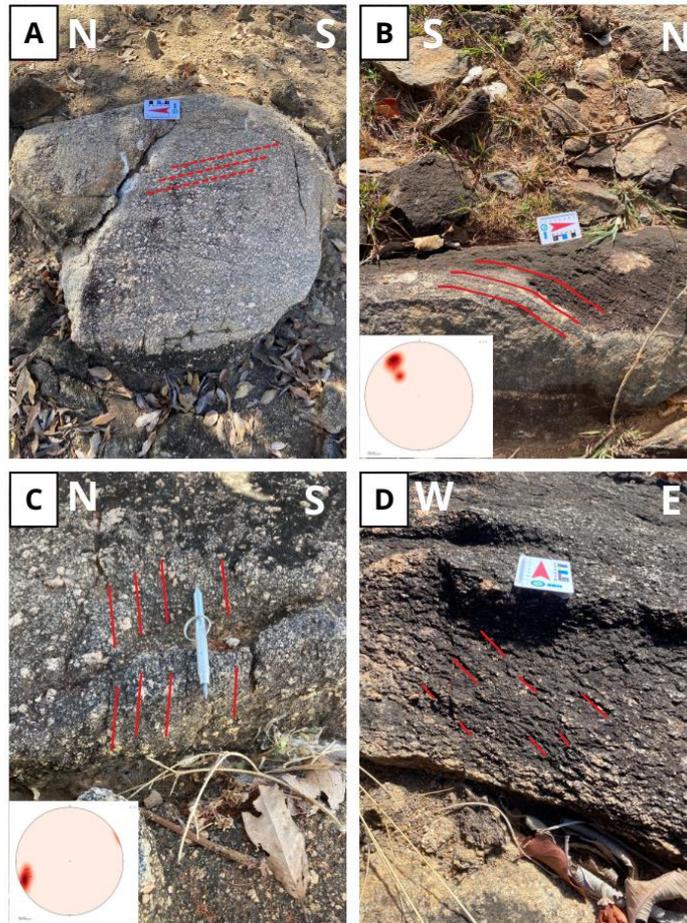
### ***Domínio Arenópolis***

O Domínio Estrutural Arenópolis ocorre na porção central e extremo leste da presente área do projeto, compreendendo o corpo batolítico Granito Rio Caiapó e o plúton granítico Serra do Iran. O domínio em si apresenta uma certa homogeneidade, pois em grande parte, as rochas das unidades referidas são isotrópicas devido ao seu caráter tardi a pós-tectônico intrusivo. No entanto, nas regiões de bordas, ocorrem deformações desenvolvidas pelas Zonas de Cisalhamento Ribeirão e Córrego da Areia.

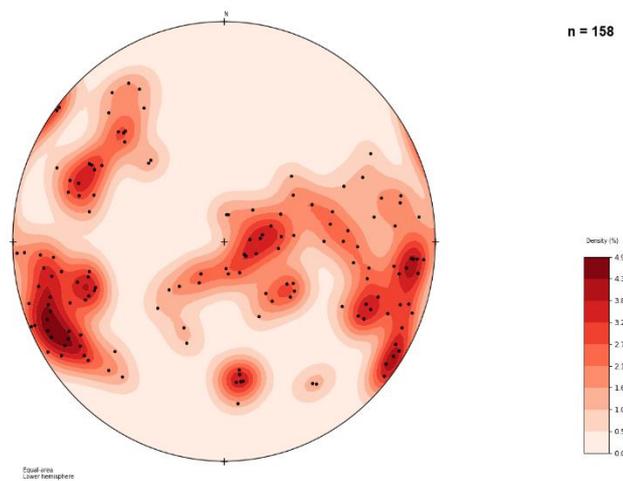
As foliações de origem tectônica deste domínio são destacadas pela orientação dos cristais centimétricos de feldspatos limitados por filmes de biotitas. São mais evidentes quando se adentra nas porções mais interiores da Unidade Ribeirão Caiapó (Fig. 5.12A e C), enquanto na Unidade Serra do Iran, as foliações são de baixo ângulo e interpretadas como de fluxo magmático (Fig. 6.12D). A foliação milonítica é evidenciada nas bordas (Fig. 6.12B), onde se estruturam pelas influências das Zonas de Cisalhamento Ribeirão e Córrego da Areia, que assinalam o contato com as unidades adjacentes por meio de uma cinemática transcorrente sinistral.

O estereograma das medidas das foliações do Domínio Arenópolis (Fig. 6.13) mostra que as foliações de origem magmática são bem evidenciadas e assinaladas pela direção preferencial N-S e mergulhos baixos, enquanto aquelas de mergulhos moderados a altos seriam referentes às de origem tectônica e ocupam a região mais central de distribuição de densidade do diagrama. As distribuições mais periféricas de densidade referem-se as tendências N-S e NW-SE, possivelmente relacionadas as flutuações de direções das zonas de cisalhamento. Além desses *trends*, é possível identificar uma componente E-W ou ENE-WSW, com mergulhos

suaves a moderados, interpretados como decorrentes de fraturas de cisalhamento de expressão quilométrica, traçadas em mapa (Fig. 6.1) com auxílio de dados aeromagnéticos.



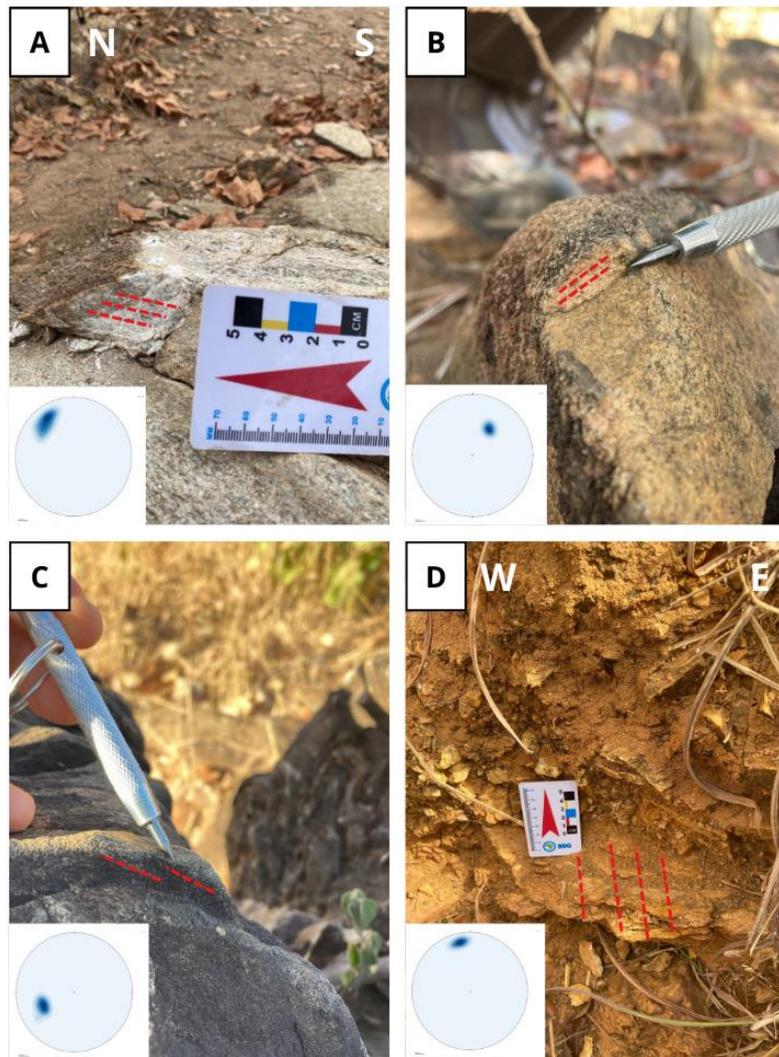
**Figura 6.12** - Aspecto gerais das foliações contidas no Domínio Arenópolis. (A) Foliação presente no sienogranito do Granito Rio Caiapó. (B) Afloramento de rochas do Gnaiss Arenópolis envolvidas pela zona de Cisalhamento Ribeirão em sua porção noroeste. (C) Foliação magmática presente no Granito Rio Caiapó refletida pelos feldspatos de tamanho centimétricos. (D) Afloramento do granito Serra do Iran com foliação magmática.



**Figura 6.13** - Estereograma com os pólos plotados com as linhas de contorno de densidade da foliação do Domínio Arenópolis localizado na Área IV.

### 6.2.1.2 Lineações

As estruturas lineares que ocorrem em na Área IV são essencialmente lineações de estiramento mineral (Fig. 6.14A-C) e lineações de crenulação (Fig. 6.14D). Ao todo foram colhidas 137 medidas nas litologias aflorantes na área. Embora tenha sido observado estruturas lineares nos três domínios, a suas identificações foram limitadas, em parte pela grande proporção de rochas graníticas com texturas predominantemente isotrópicas, bem como pelo baixo estado de preservação dos afloramentos de unidades que desenvolvem estas estruturas com maior evidencia, como no caso das rochas metassedimentares.

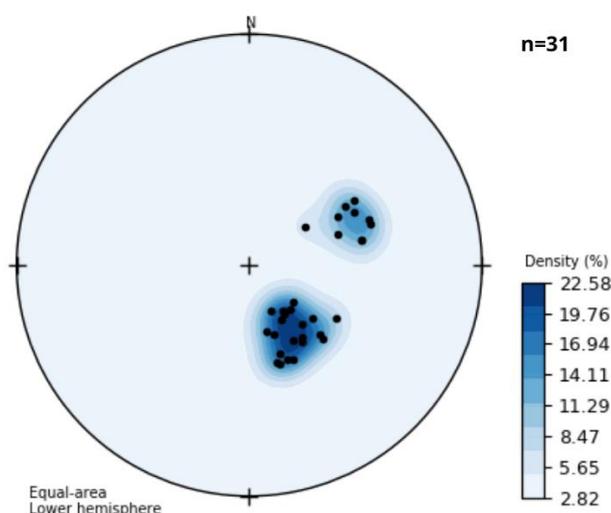


**Figura 6.14** - (A) Destaque para biotita estirada no granodiorito do Ribeirão Água Limpa. (B) Afloramento com orientação lineação de filossilicato SW em granito do Ribeirão Água Limpa. (C) Lineação de estiramento mineral em anfibolito da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis. (D) Metassedimento da sequência com lineações de crenulação.

### ***Domínio Piranhas***

Os dados de lineação para o Domínio Piranhas na Área IV, indicam duas populações de medidas (Fig. 6.15). A primeira apresenta *trends* N70E a N85E com caimentos entre 45 a 70° e a segunda população possui atitudes variando de S20E a S70E, com caimentos entre 45 a 80°.

A interpretação aqui feita para estas duas populações implicam os lineamentos de expressão quilométrica de direção N-S e E-W, o primeiro referente a Zona de Cisalhamento Piranhas e o segundo a sistemas de falhas ramificadas E-W com terminações ao longo de estruturas de maior ordem, presentes no extremo oeste, para além dos limites da área do projeto. A tendência geral das lineações, com componentes transcorrentes mais pronunciados, sugerem que estes conjuntos de falhas e zonas de cisalhamento seriam integrantes de uma complexa trama de sistemas *strike-slip* que afeta não apenas o Domínio Piranhas, mas também as regiões de transição para o domínio estrutural adjacente.



**Figura 6.15** - Estereograma dos pólos com as linhas de contorno de densidade da lineação de estiramento com duas populações de medidas presente na Área IV do Domínio Piranhas.

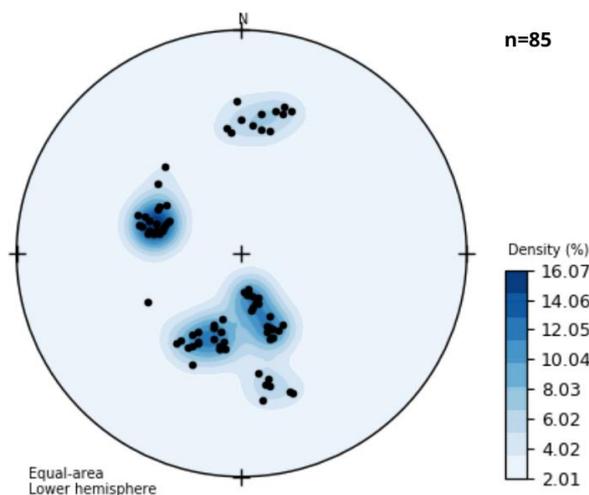
### ***Domínio Caiapônia***

As lineações do domínio Caiapônia, referentes a Área IV, possuem maior representatividade devido à grande extensão das áreas recobertas pelas unidades, sendo registradas principalmente em xistos metassedimentares e anfibolitos da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas. São, em essência, lineações de estiramento mineral e mais raramente lineações de crenulação.

O estereograma destas feições lineares (Fig. 6.16) ilustra 4 famílias de medidas que mostram tendências nos intervalos: (1) N a N25E com caimentos entre 20 a 30°; (2) N45W a

N90E com caimentos de 40 a 60°; (3) S a S45W com caimento entre 50 a 70° e (4) S a S30E com caimentos variando no intervalo de 30 a 80°.

As famílias (1) e (4) aparentam ressaltar o comportamento da componente direcional predominante da estruturação N-S, provavelmente sob influências das zonas de cisalhamento de escala regional do projeto, bem como a direção-geral dos eixos da terceira fase F<sub>3</sub> de dobramentos que gerou as crenulações. Por outro lado, as famílias (2) e (3) podem ser interpretadas como referentes a movimentos de caráter transpressivo com topo para NE, relacionados a estruturação NW-SE.



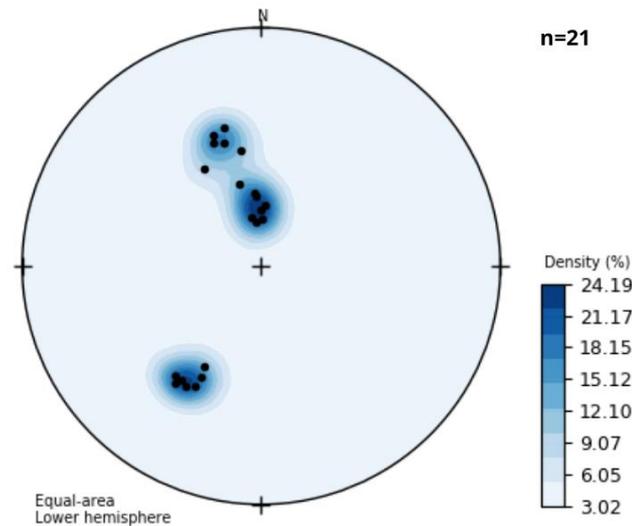
**Figura 6.16** - Estereograma das medidas dos pólos e as linhas de contorno de densidade da lineação de estiramento presente na Área IV do Domínio Caiapônia.

### ***Domínio Arenópolis***

No que se refere ao Domínio Arenópolis, as medidas de feições lineares na Área IV se encontram restritas nas influências das Zonas de Cisalhamento Ribeirão e Córrego da Areia. Tal condição se dá pelo fato de que fora destas imediações, a isotropia das unidades envolvidas raramente evidencia tramas lineares. A partir desta premissa, é possível notar que o estereograma da Figura 6.17 evidencia 3 *clusters* de distribuições de densidades distintas, sendo dois deles com comportamento similar e um terceiro claramente destoante.

Os dois primeiros estão provavelmente vinculados a estruturação N-S da Zona de Cisalhamentos Córrego da Areia e a estruturação sigmoideal da parte norte da Zona de Cisalhamento Ribeirão com inflexão para NE. As lineações ligadas a primeira, possuem *trends* restritos para N com caimentos de até 80°, evidenciando um componente transcorrente. Por outro lado, as lineações ligadas a segunda, mostram tendência entre um intervalo de N10W a

N30W com caimentos de cerca de 45°. Esta última revela que a Zona de Cisalhamentos Ribeirão possui uma componente de movimentação transpressiva com topo para SE. O terceiro *cluster* mostra um *trend* com direção S40W com caimentos moderados. As lineações são interpretadas como relacionadas a estruturação ENE-WSW que cortam os Domínios Arenópolis e Caiapônia, revelando que tais estruturas possuem uma componente transcorrente associada.

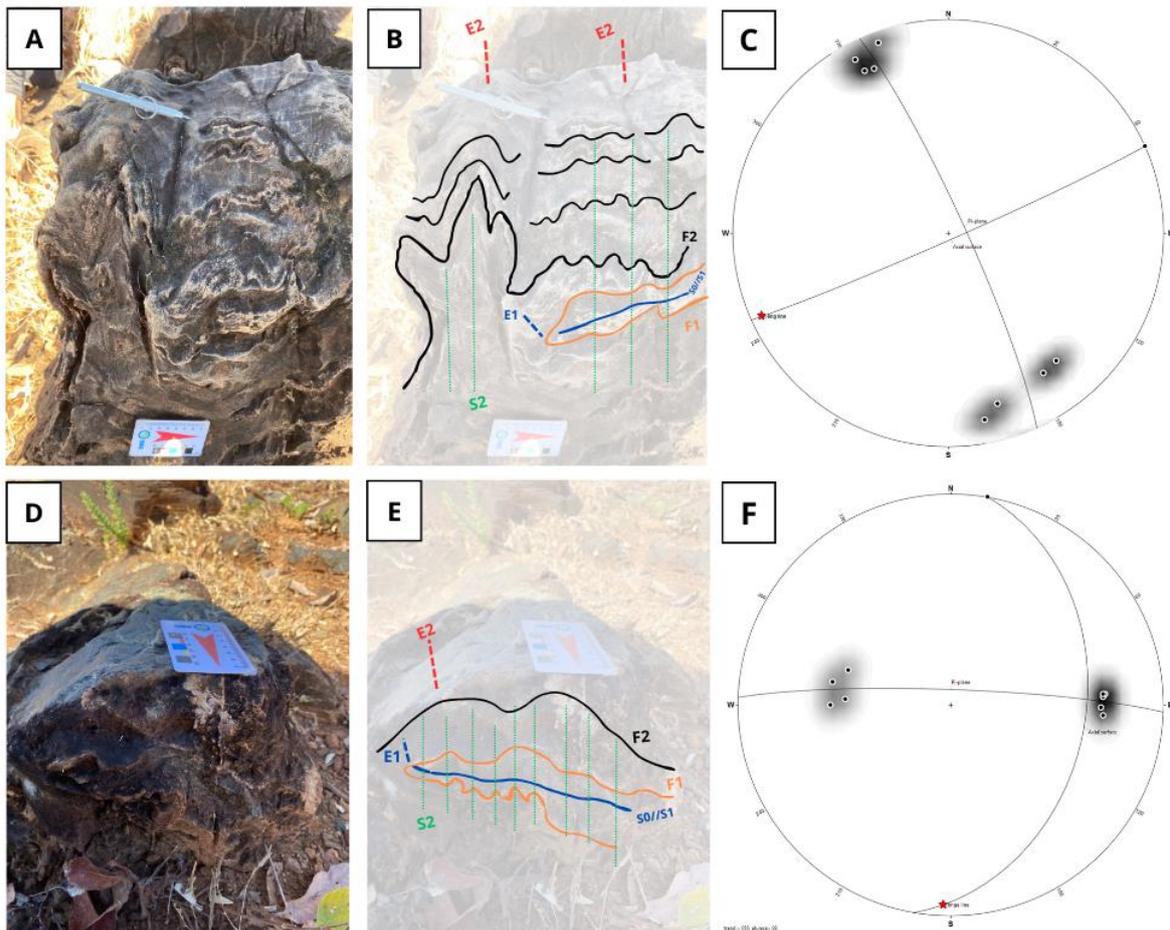


**Figura 6.17** - Estereograma das medidas de lineações com seus pólos e linhas de contorno de densidade localizadas no Domínio Arenópolis da Área IV com as 3 populações de medidas.

### 6.2.1.3 Dobras

O registro de dobras no contexto da Área IV se restringiu a metassedimentos, anfíbolitos e gnaisses do Domínio Caiapônia. Porém, apenas as dobras em metassedimentos e anfíbolitos foram passíveis de medição, com a caracterização das dobras nos gnaisses feita apenas por aspectos qualitativos.

A análise de feições estruturais referentes a padrões de interferência e sobreposição de dobras permitiu a identificação de três fases de dobramento ( $F_1$ ,  $F_2$  e  $F_3$ ). A primeira fase seria responsável por produzir uma foliação plano-axial que, por meio da transposição iniciada pela fase seguinte, evoluiu para uma xistosidade  $S_1$ . Tal xistosidade ou foliação é raramente evidenciada em campo devido à escassez de afloramentos propícios para uma análise minuciosa, bem como pela provável condição de paralelismo com as foliações produzidas pela fase  $F_2$ . No entanto, quando afloramentos propícios são encontrados é possível notar que as dobras  $F_1$  são passíveis de identificação por meio do rastreamento de uma xistosidade ( $S_1$ ) redobrada em padrões recumbentes entre os planos das dobras  $F_2$  (Fig. 6.18A-F).



**Figura 6.18** - (A) Afloramento de anfibolito do Córrego do Santo Antônio. (B) Destaque para as dobras presente do afloramento da imagem A com representação da  $S_1$  e todas demais estruturas relacionadas a esta série de dobramentos. (C) Estereograma da representação das medidas dos flancos destas sequências de dobras. (D) Afloramento de anfibolito da Sequência Arenópolis. (E) Desenho esquemático com destaque as séries de dobramentos presente no afloramento da imagem D, mostrando as componentes  $S_1$ ,  $E_1$ ,  $E_2$  e todos os demais. (F) Estereograma com os flancos e plano axial do afloramento da imagem D.

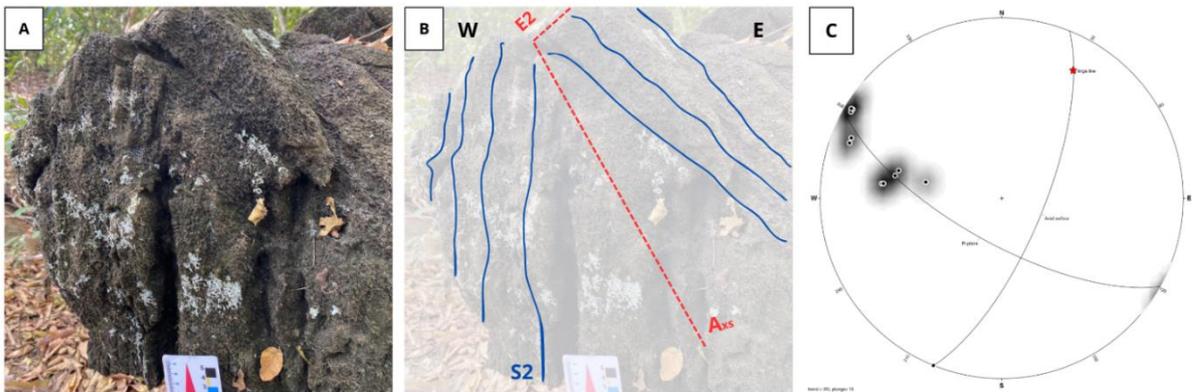
A superposição produzida pelas dobras  $F_2$  é identificada, em menor escala, como crenulações nas foliações  $S_1$  e em maior escala, como flancos de dobras apertadas a abertas. É possível notar, também, que a incidência destas dobras  $F_2$ , impôs a estruturação de uma segunda geração de foliações plano-axiais  $S_2$  que, por sua vez, devem representar a maioria dos planos de xistosidades evidenciadas em campo.

Tendo em vista o caráter predominante das dobras  $F_2$ , a caracterização dos estilos de dobramentos realizados nesta seção é a elas referentes. Deste modo, as dobras  $F_2$  podem ser caracterizadas como dobras assimétricas, apertadas a abertas, contendo uma ampla variação de classificações baseadas na orientação geométrica, além de eixos com caimento para NW-SE, NS e NE-SW. Com base no mapa estrutural da Área IV (Fig. 6.1), é possível notar que as dobras com direções de eixo NE-SW são estruturas que foram provavelmente rotacionadas pelas zonas de cisalhamento principais, bem como pelas frentes de falhas com movimentação oblíqua. De

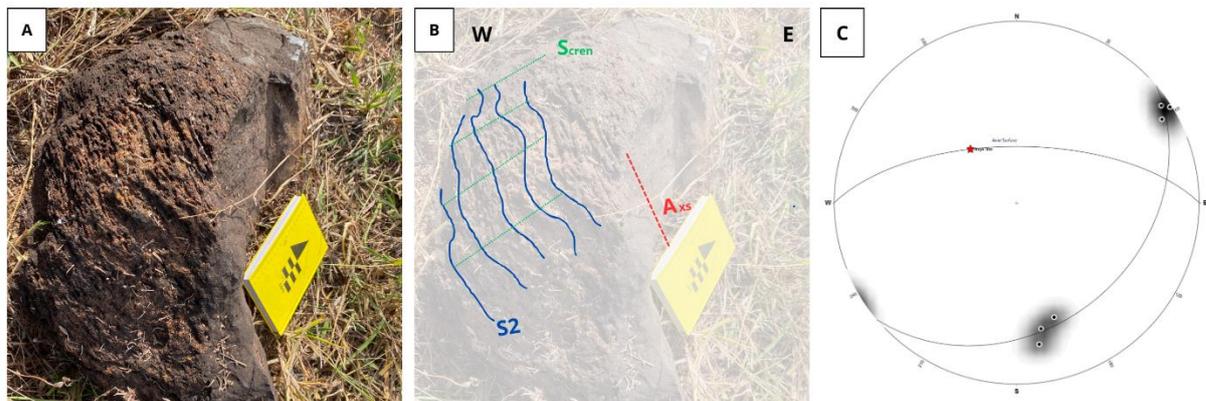
outro modo, as dobras com direções de eixo NW-SE e NS representam dobras cujas estruturas não foram afetadas pelos eventos que implantaram as zonas de cisalhamento.

A dobra mostrada na Figura 6.18A-C é uma dobra em um anfibolito da Unidade Córrego do Santo Antônio, possui eixo  $E_2$  com atitude S66W e com caimento de  $7^\circ$ . Pode ser classificada, com base em seus ângulos inter-flancos, como uma dobra apertada e, com base no caimento do eixo e do mergulho da sua superfície axial, como normal horizontal. De modo semelhante, aquela da Figura 6.18D-F, também em anfibolitos da Unidade Córrego do Santo Antônio, apresenta eixo ( $E_2$ ) de atitude S10W com ângulo de caimento de  $6^\circ$ . Portanto, pode ser classificada como uma dobra aberta horizontal inclinada.

Além da influência de zonas de cisalhamento, as dobras em anfibolitos da porção oeste da Unidade Córrego do Santo Antônio, também aparentam serem rotacionadas por frentes oblíquas (Fig. 6.19A-C). Essas dobras possuem eixos ( $E_2$ ) de atitude N30W com caimento de  $20^\circ$ . Apresenta ângulos inter-flancos de  $39^\circ$  e superfícies axiais com mergulho de  $70^\circ$ , o que permite classificá-las como dobras apertadas inclinadas com caimento suave.

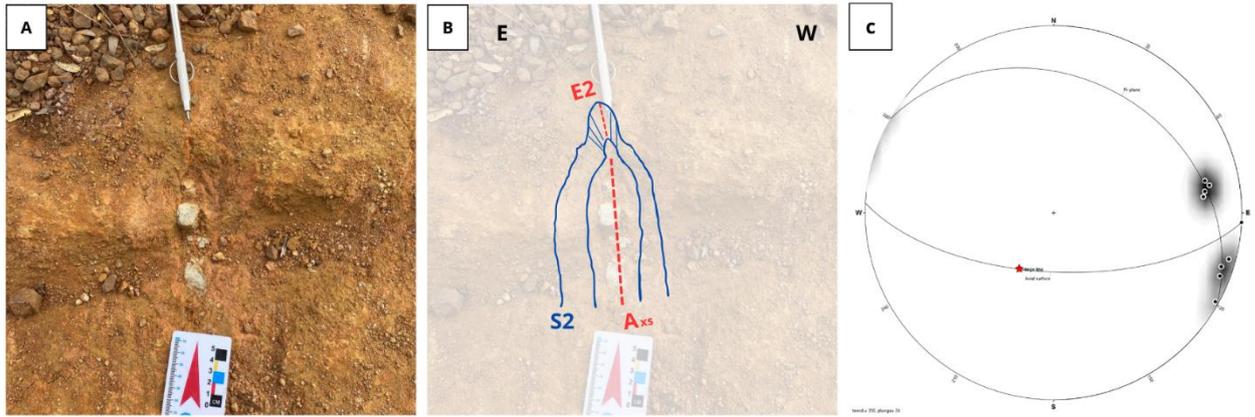


**Figura 6.19** - (A) Anfibolito dobrado da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis. (B) Desenho esquemático mostrando a dobra apertada anfibolito da sequência. (C) Estereograma refletindo a direções dos flancos e plano axial desse afloramento.



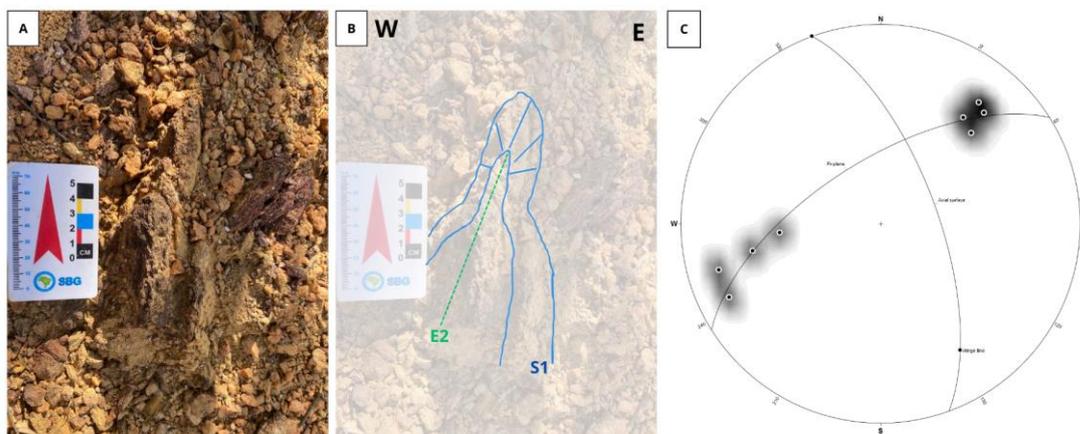
**Figura 6.20** - (A) Afloramento de anfibolito dobrado da Sequência Arenópolis. (D) Desenho esquemático do anfibolito aflorante da imagem A com dobras abertas. (C) Estereograma com as medidas dos flancos e plano axial desta dobra de caimento moderado.

Nos casos em que estes anfíbolitos não indicam perturbação por zonas de cisalhamento e zonas de danos de falhas, os seus eixos possuem um *trend* preferencial NW-SE, como na dobra da Figura 6.20A-C. Esta dobra possui atitude de eixo ( $E_2$ ) N41W com  $58^\circ$  de caimento e pode ser classificada como uma dobra aberta inclinada com caimento moderado.



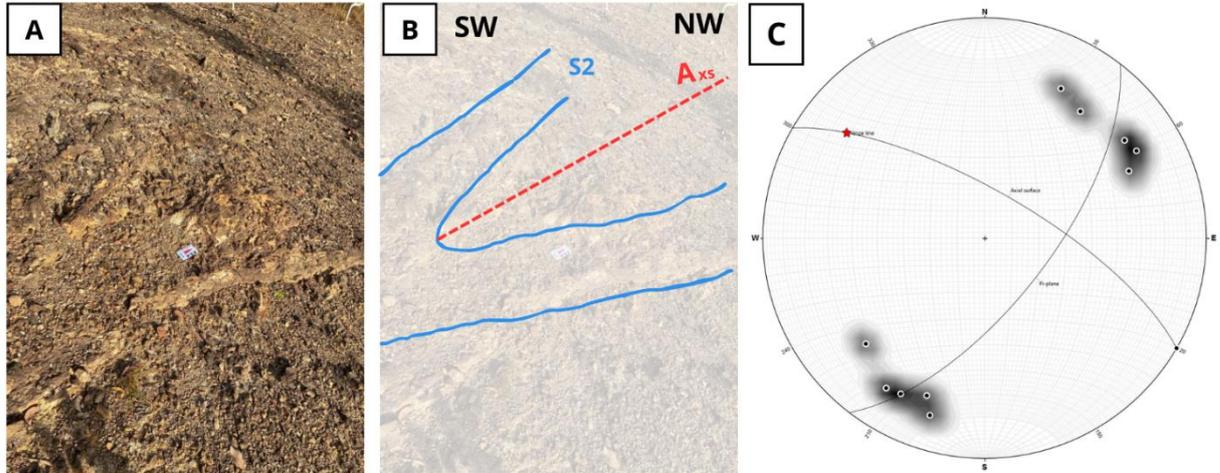
**Figura 6.21** - (A) Dobra apertada no metassedimento da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis. (B) Desenho esquemático mostrando os componentes estruturais presentes no metassedimento. (C) Estereogramas das medidas estruturais do metassedimento com o eixo ( $E_2$ ) com caimento de  $64^\circ$  para S30W.

As dobras  $F_2$  também ocorrem em metassedimentos da unidade Córrego do Santo Antônio. Devido ao estado de baixa preservação dos afloramentos, associado com ângulos inter-flancos apertados e superfícies axiais com inclinação alta, a sua identificação em campo pode passar de forma despercebida, sendo facilmente confundidas apenas como planos de xistosidade. A Figura 6.21A-C mostra que tais dobras são, de fato, classificadas como dobras apertadas inclinadas com caimento forte, mais especificamente, com eixo ( $E_2$ ) com caimento de  $64^\circ$  para S30W.



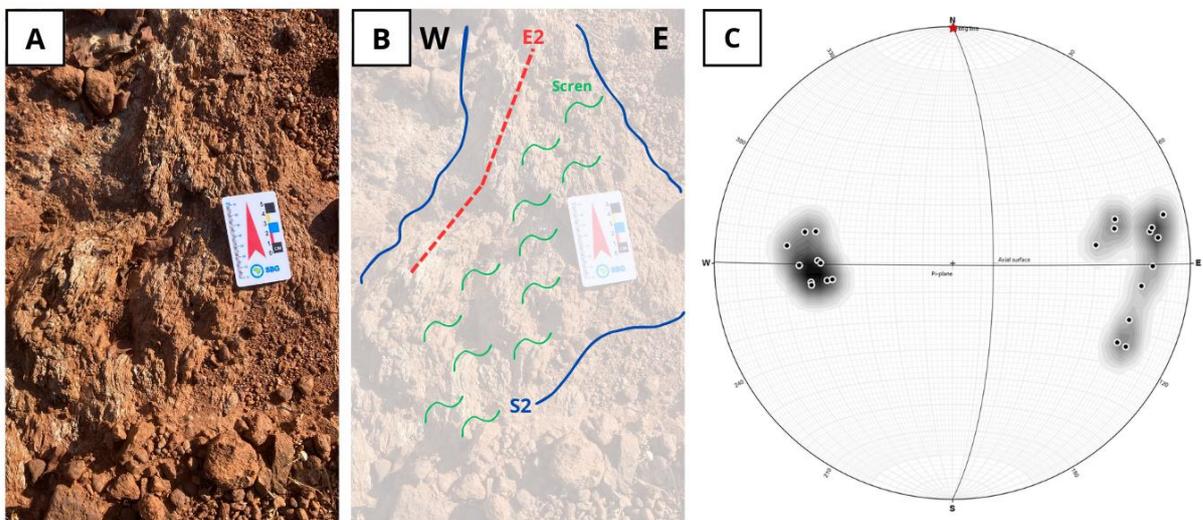
**Figura 6.22** - (A) Afloramento de metassedimento com dobra apertada na Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis. (B) Desenho esquemático mostrando os componentes estruturais presentes no metassedimento. (C) Estereogramas das medidas estruturais dos flancos e plano axial do metassedimento.

A Figura 6.22A-C ilustra outro estilo de dobramentos nos metassedimentos da unidade Córrego do Santo Antônio. A partir dela, é possível analisar uma dobra com eixo ( $E_2$ ) de atitude  $S33E$  com ângulo de caimento de  $26^\circ$ . A partir de seu ângulo inter-flancos, tal dobra pode ser dita apertada e inclinada com caimento suave, com base no caimento do eixo e do mergulho da sua superfície axial.



**Figura 6.23** - (A) Dobra aberta presente no chão em afloramento de metassedimento da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis. (B) Desenho esquemático os componentes estruturais desta dobra normal com caimento suave. (C) Estereograma com os flancos e eixo axial da dobra presente.

Na porção sudoeste, mais distante da influência da Zona de Cisalhamento Piranhas, os metassedimentos da Unidade Córrego do Santo Antônio apresentam-se dobrados em uma configuração de dobras abertas, com eixos de orientação  $N52W$  e caimento de  $23^\circ$  (Fig. 6.23). Estas dobras podem, também, serem classificadas como dobras normais com caimento suave.



**Figura 6.24** - (A) Afloramento de metassedimento de dobra crenulada da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis. (B) Desenho esquemático da dobra crenulada com representação da  $S_1$  e  $E_2$ . (C) Estereograma com os flancos e eixo axial da dobra presente.

De forma a consolidar a caracterização do estilo de dobramentos do Domínio Caiapônia, a Figura 6.24 ilustra uma dobra em uma lente de metassedimentas da Unidade Córrego da Onça. É interessante notar que, neste caso, os flancos das dobras  $F_2$  se encontram afetadas por uma crenulação que representaria a fase de dobramentos  $F_3$ . De qualquer modo, as dobras  $F_2$ , neste caso, são dobras abertas com eixos de orientação NS e sem caimento, portanto são dobras normais horizontais.

#### **6.2.1.4 Zonas de cisalhamento**

A área do Projeto Arenópolis é afetada por corredores de deformação dúctil quilométricos de direção-geral NNW, que representa a direção das bordas de zonas de cisalhamento. Além disso, o desenvolvimento destes corredores imprimiu um novo tipo de foliação nas rochas. Estas foliações são quase sempre encontradas nas proximidades das zonas de cisalhamento e são formadas por pares S/C, as quais as foliações C representam as paredes de tais zonas, enquanto as foliações S formam um ângulo oblíquo com as primeiras.

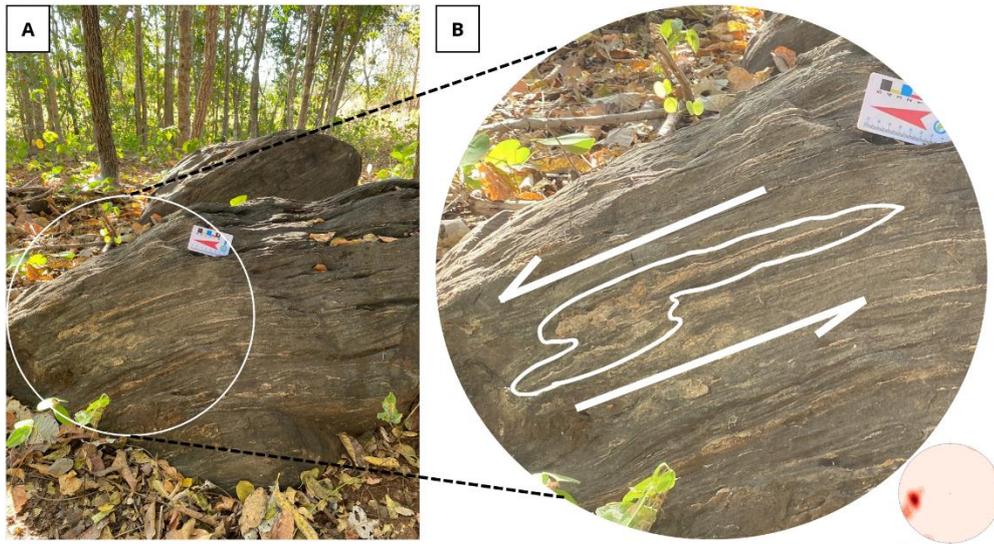
Devido ao fato de que as foliações miloníticas S/C se apresentam subparalelas às foliações  $S_2$ , acredita-se que as estas foliações tenham se desenvolvido, pelo menos em parte, de modo a acompanhar a progressão da deformação da foliação  $S_2$ , culminando com a sua intensa transposição e a produção de uma nova geração, podendo estar ser denominada de foliação  $S_3$ .

#### **Zona de Cisalhamento Piranhas**

A Zona de Cisalhamento Piranhas é encontrada na parte oeste da presente área do projeto e marca o limite dos domínios estruturais Piranhas e Caiapônia, bem como o contato entre as Unidades Ribeirão Água Limpa e Córrego do Santo Antônio. Possui um traço em mapa (Fig. 6.1), no geral, de orientação NW com inflexões para N e NE, representada pela flutuação dos *strikes* das foliações.

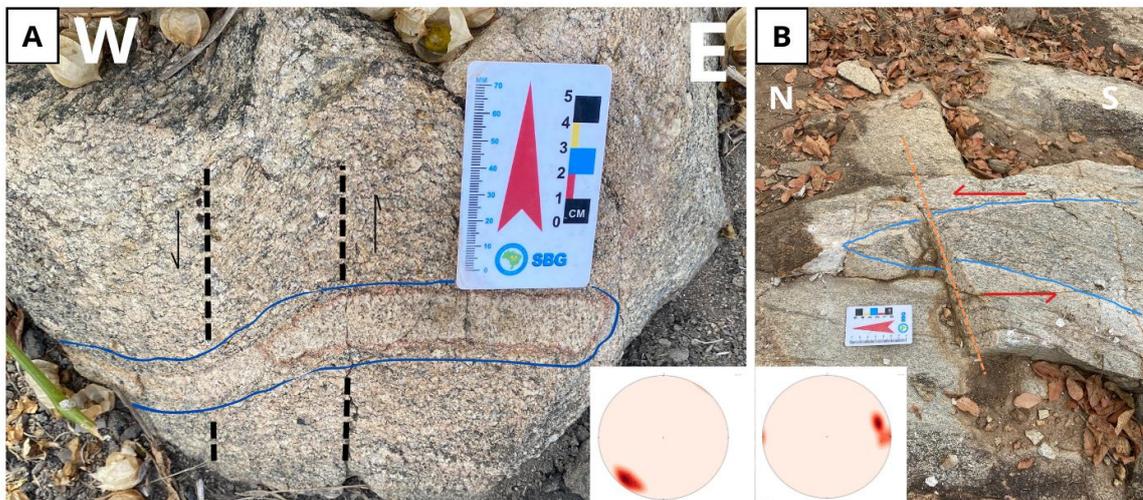
Nos casos em que os anfíbolitos da unidade Córrego do Santo Antônio são encontrados afetados pela zona de cisalhamento, é possível notar que a sua foliação  $S_2$  se encontra transposta, sendo acompanhada pelo desenvolvimento de dobras isoclinais e lineações de estiramento paralelas aos seus eixos. Por vezes é possível observar segregações quartzo-feldspáticas que funcionam como marcadores de dobras isoclinais passivas. Em algumas seções nota-se que tais dobras se apresentam perpendiculares a foliação e paralelas às lineações de

estirramento. Além disso, o seu padrão de redobramento permite estimar uma cinemática transcorrente sinistral com boa confiabilidade (Fig. 6.25A-B).



**Figura 6.25** - Aspectos gerais das rochas presentes sobre a zona de cisalhamento Piranhas. (A) Afloramento de anfibolito da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis. (B) Dobras com cinemática sinistral presente no anfibolito da sequência com seu respectivo estereograma.

Em comparação aos anfibolitos, a forma distinta pela qual os granitos da unidade Ribeirão Água Limpa reagem à deformação dúctil pode ser percebida pelo desenvolvimento de pares S/C em um arcabouço com pouca matriz, formando protomilonitos nas dependências da Zona de Cisalhamento Piranhas. Além disso, nestas rochas, enclaves ígneos podem se tornar marcadores passivos que acabam por compor bons indicadores da cinemática local (Fig. 6.26A-B). Deste modo, o movimento transcorrente sinistral evidenciada em afloramento (Figura 6.26), conforma como cinemática interpretada para a zona na escala regional.



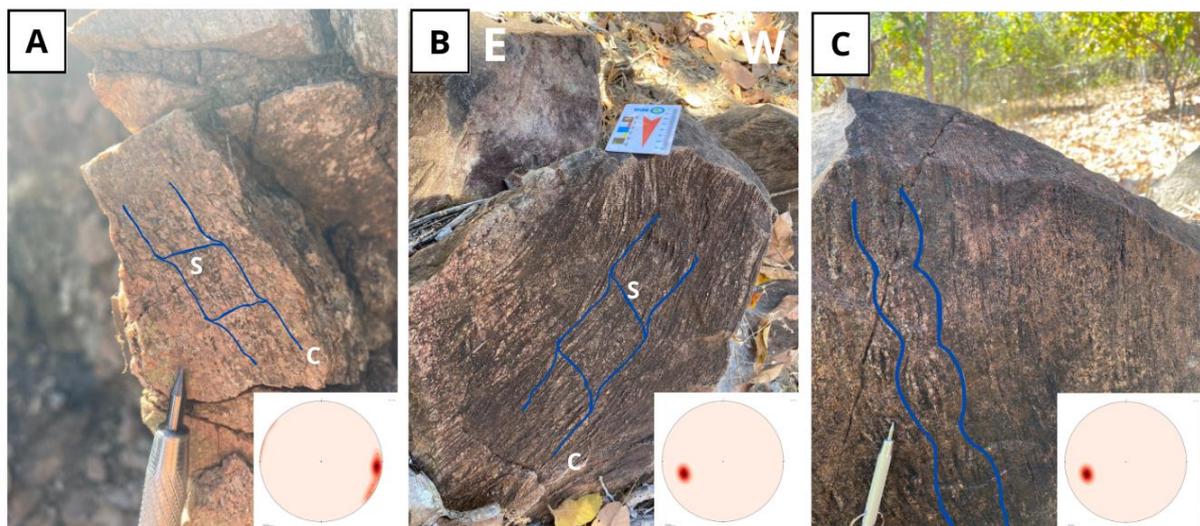
**Figura 6.26** - (A) Destaque para o movimento sinistral provocado pelo cisalhamento sobre o veio pegmatítico presente no tonalito do Ribeirão Água Limpa e seu estereograma. (B) Enclaves ígneos de cinemática sinistral na unidade Ribeirão Água Limpa com respectivo estereograma.

### ***Zona de Cisalhamento Ribeirão***

No caso da Zona de Cisalhamento Ribeirão, a sua localização é condicionada na parte central da Área IV, de forma a isolar a porção ocidental do Domínio Estrutural Arenópolis. Tal zona de cisalhamento baliza esta porção do domínio estrutural, conferindo uma geometria sigmoidal regional em planta (Fig. 6.1). Deste modo, a Zona de Cisalhamento Ribeirão pode ser subdividida em duas contra-partes, uma a oeste e outra a leste.

A contra-parte oeste delimita o contato tectônico entre a Unidade Serra do Iran com a Unidade Córrego do Santo Antônio. O seu traçado possui indicação de movimentação sinistral, bem como orientação NW em grande parte da Área IV, exceto em sua parte norte, onde existe uma inflexão para E.

As rochas graníticas afetadas pela contra-parte oeste desenvolvem foliação S/C em um arcabouço protomilonítico (Fig. 6.27A). Em regiões mais interiores da zona de cisalhamento, a deformação se torna mais intensa, onde é possível observar a foliação com forte transposição formando um padrão anastomosado (Fig. 6.27B), bem como estruturas do tipo *boudins* (Fig. 6.27C). Neste caso, as exposições da relação de corte dos afloramentos não possuem confiabilidade suficiente para estimar a cinemática dos indicadores.



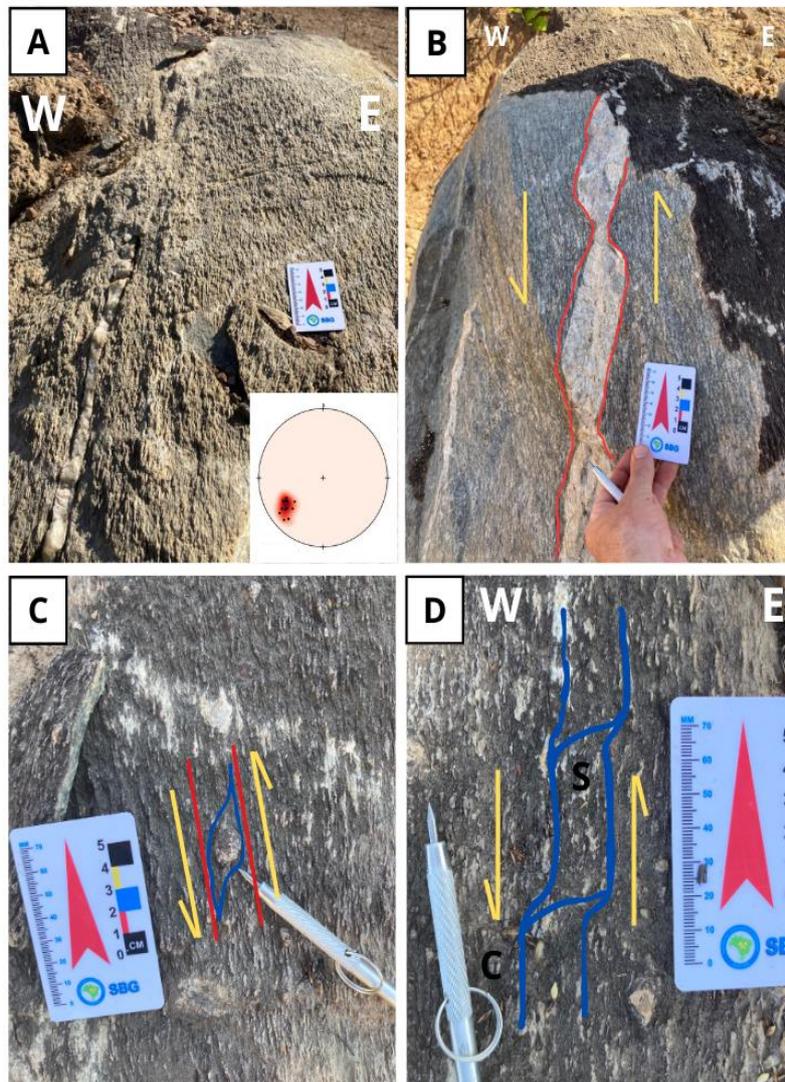
**Figura 6.27** - Evidências de cisalhamento sobre as rochas do Domínio Arenópolis e seus respectivos estereogramas. (A) Destaque para a foliação S/C no Granito Serra do Iran. (B) Foliação S-C com padrão anastomosado. (C) Estruturas do tipo *boudins*.

A contra-parte leste possui um traçado de orientação NW constante na Área IV (Fig. 6.1), que por sua vez estabelece o contato tectônico entre as rochas graníticas da Unidade Serra do Iran com a Unidade Gnaiss Arenópolis. A estruturação encontrada, indicativa da zona de

cisalhamento é, principalmente, foliações miloníticas que afetam as rochas do Gnaiss Arenópolis (Fig. 6.28A).

Nesta porção, mais uma vez, os pares S/C (Fig. 6.28D) são os principais indicadores cinemáticos. No entanto, também são evidenciados porfiroclastos do tipo- $\sigma$  sugerindo uma cinemática sinistral (Fig. 6.28C). Além disso, outra feição é a presença de estruturas do tipo *boudins* (Fig.6.28B) em segregações quartzo feldspáticas mais competentes.

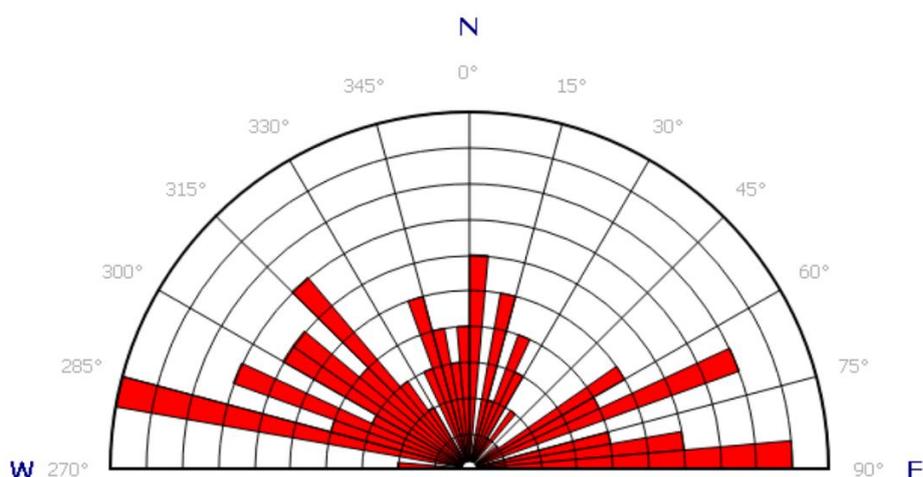
Estas segregações podem ser interpretadas como antigas dobras passivas produzidas na fase  $F_2$  e atenuadas durante a intensa transposição decorrente da implantação da zona de cisalhamento. Com a progressão da deformação, essas dobras adentraram as porções interiores das paredes da zona de cisalhamento se transformando em dobras isoclinais, até eventualmente serem estiradas na direção N-S, formando *boudins*.



**Figura 6.28** - (A) Foliações miloníticas presentes no Gnaiss Arenópolis e estereograma das medidas de foliação. (B) Estruturas do tipo boudins no Gnaiss Arenópolis. (C) e (D) Foliações S/C localizados no Gnaiss Arenópolis indicando cinemática sinistral.

## 6.2.2 Arcabouço Estrutural Rúptil

A documentação do arcabouço rúptil na Área IV está relacionada a observações de fraturas como juntas e falhas. Tais feições estão distribuídas no Domínio Estrutural Arenópolis, majoritariamente nas litologias graníticas das Unidades Serra do Iran e Rio Caiapó ou no contato com as outras unidades. A família de fraturas associadas ao Domínio Arenópolis é juntas sistemáticas de padrão ortogonal e sistemas de juntas conjugadas com densidades de orientações em N-S, E-W, NW-SE e NE-SW (Fig. 6.29). Rochas de falha como cataclasitos e *gouges* também são documentadas.



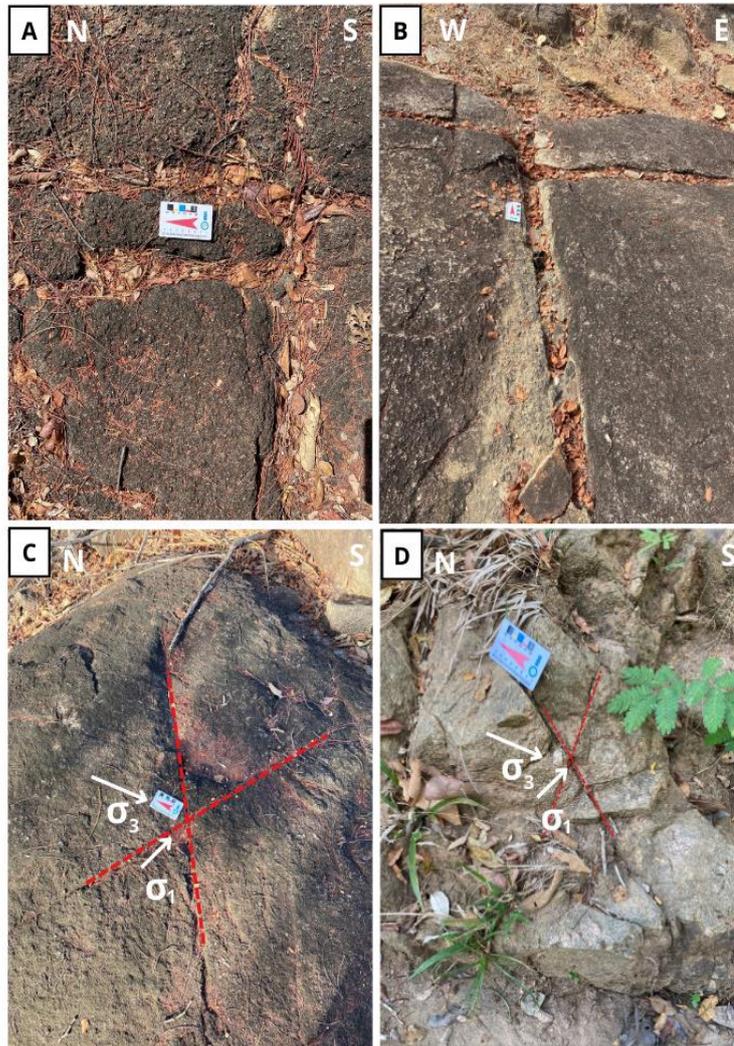
**Figura 6.29** - Diagramas de rosetas ilustrando as principais direções de fraturas presentes na Área IV pertencendo exclusivamente ao Domínio Arenópolis.

### 6.2.2.1 Juntas

A observação de juntas dentro do Domínio Arenópolis ocorreu de forma frequente, uma vez que as unidades que compõe este domínio são exclusivamente referentes a litologias ígneas intrusivas, a exceto das zonas de bordas. São os tipos de estruturas mais encontradas devido ao caráter isotrópico dominante das rochas. Assim, as juntas registradas podem ser de dois tipos, juntas sistemáticas de padrão ortogonal e sistemas de juntas conjugadas.

As juntas ortogonais são sistemas de fraturas sem deslocamento aparente que se intersectam em ângulos de 90° (Fig. 6.30A). O padrão gradeado de intersecção sugere que a propagação das juntas de direções distintas ocorreu em momentos diferentes. Em alguns casos, tais juntas são forçadas e preenchidas pela ascensão de material ígneo, formando diques de composição alcalina (Fig. 6.30B). O contexto da formação das juntas ortogonais não é claro, mas é possível que esteja relacionado ao alívio de esforço durante o soerguimento e resfriamento da intrusão em um contexto pós-colisional.

As juntas de pares conjugados (Fig. 6.30C) são encontradas quase sempre associadas com as famílias de juntas ortogonais. Possuem o típico padrão de intersecção de ângulos diedrais e são importantes, pois podem indicar uma associação com fraturas de cisalhamento, como falhas de maior expressão. Além disso, a partir destes pares conjugados é possível estimar o campo de tensão local (Fig. 6.30D), uma vez que se foram em um ângulo de  $30^\circ$  com  $\sigma_1$  e perpendicularmente a  $\sigma_3$ .



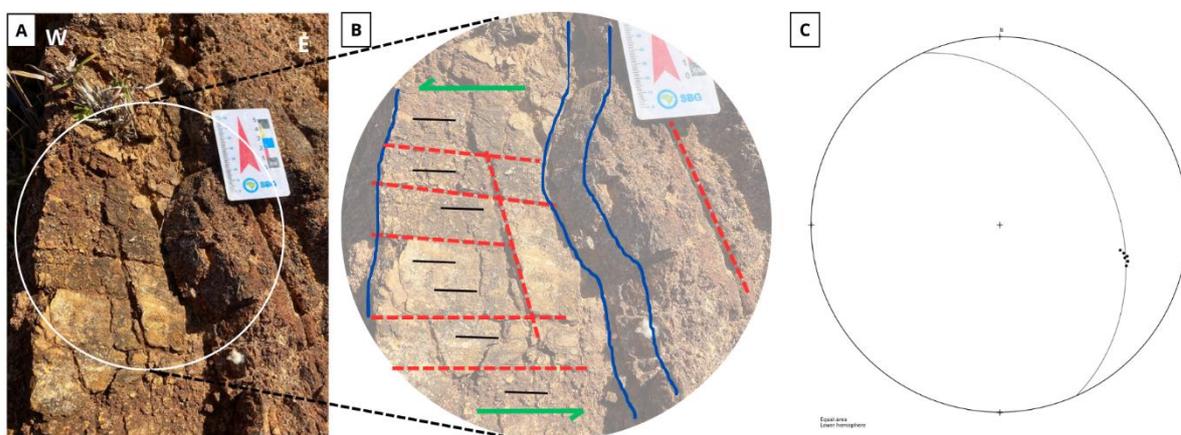
**Figura 6.30** - (A) Juntas conjugadas presentes em blocos lajedos do Granito Rio Caiapó com orientação N-S e E-W. (B) Diques de composição ígnea no Granito Rio Caiapó com orientação, próxima a N-S e E-W. (C) Família de juntas ortogonas no Granito Rio Caiapó de orientação NW-SE e SW-NE e seus respectivos sigmas de tensão. (D) Par de fraturas conjugadas no Granito Serra do Iran com orientação, próxima a NW-SE e SW-NE com seus sigmas tensionais.

#### 6.2.2.2 Falhas

Próximo a algumas regiões que ocorre transição de litologias, foram encontradas evidências que sugerem a presença de falhas oblíquas (*Oblique-slip*), bem como rochas de falhas que registram a expressão do regime friccional rúptil das zonas de cisalhamento que

limitam os domínios estruturais. Estas estruturas são importantes, pois trazem informações adicionais sobre a evolução de estruturação principal dada pela incidência pervasiva das deformações dúcteis provenientes das zonas de cisalhamento.

A algumas centenas de metros a oeste da Zona de Cisalhamento Ribeirão, entre os anfibolitos da Unidade Córrego do Santo Antônio e Serra do Iran, foi observado uma superfície de deslocamento friccional com estrias (*Slickenside*) e degraus (*Stepovers*) de escorregamento (Fig. 6.31A-C), onde também é possível notar que tal superfície se apresenta polida por um delgado filme de quartzo. O plano possui atitude N70E e as feições lineares têm caimento de 30° para S75E, portanto com um *rake* de cerca de 75°. Essas evidências permitem a interpretação de que tal estrutura consiste em uma falha reversa oblíqua, com topo para NW, subsidiária a uma zona de dano de falha de maior expressão.

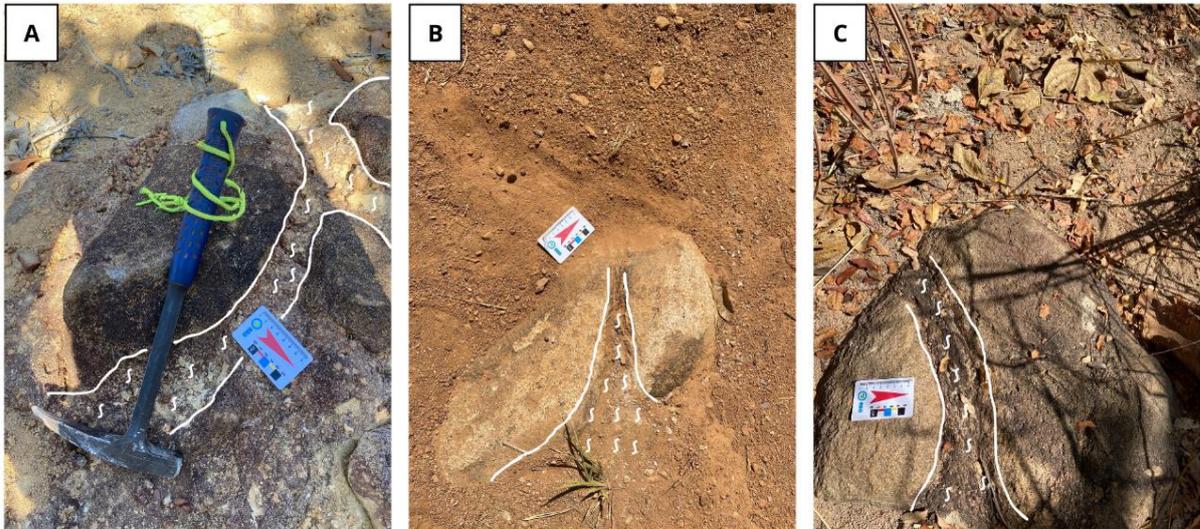


**Figura 6.31** - (A) Marcas de falhamento com slicksides presente sobre solo sobreposto ao granito da Serra do Iran. (B) Desenho esquemático mostrando o sentido e as estruturas presentes neste falhamento reverso. (C) Estereograma das feições lineares da falha presente com atitude de S75E/30.

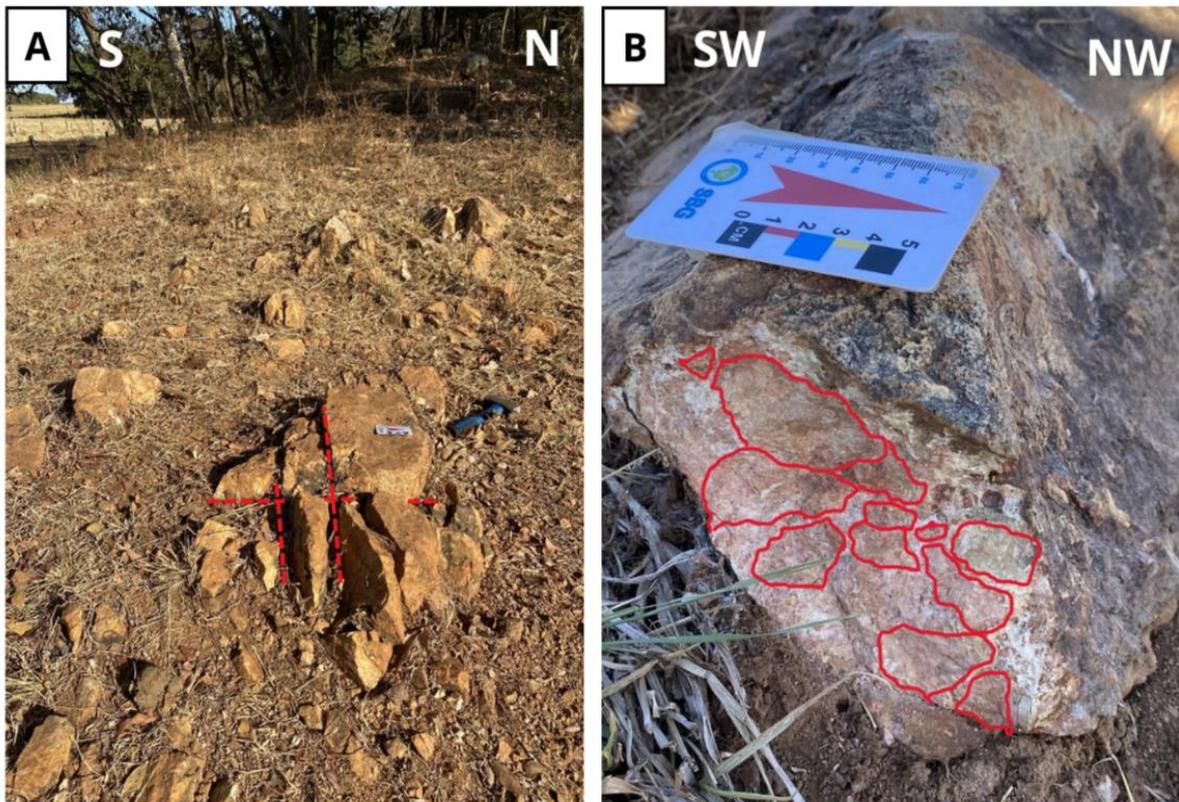
A Zona de Cisalhamentos Ribeirão apresenta, também, uma expressão no regime friccional rúptil. Essa expressão ocorre como cataclasitos na parte interior do Granito Serra do Iran, cortando-o de NW para SE (Fig. 6.32). Estas são rochas de falha coesas, compostas por blocos métricos de granito, orientados de forma aleatória em meio a uma matriz que, devido ao grau de alteração, apresenta um aspecto decomposto (Fig. 6.29)

Nas proximidades da Zona de Cisalhamento Córrego da Areia, na região de transição entre as Unidades Gnaiss Arenópolis e Granito Rio Caiapó, foi descrito um *gouge* de falha que afeta os granitos da última unidade (Fig. 6.33A). Estes *gouges* são compostos por fragmentos angulosos de agregados róseos quartzo-feldspáticos emersos em uma matriz

caulinítica esbranquiçada de caráter coeso (Fig. 6.33B). Essa estrutura pode ser interpretada como uma expressão do regime friccional rúptil da Zona de Cisalhamentos Córrego da Areia.



**Figura 6.32** - (A) Cataclasito localizados no interior do Granito Serra do Iran. (B) Afloramento no chão evidenciando essa coesão ocorrido de forma friccional-rúptil. (C) Bloco rolado de granito que sofreu essa coesão rúptil.



**Figura 6.33** - (A) Gouge de falha presente próximo nas proximidades entre o Granito Rio Caiapó e Gnaisse Arenópolis com os pares de fraturas. (B) Desenho esquemático destacando os fragmentos angulosos na matriz caulinítica.

## 7. Geologia Econômica

### 7.1 Metalogênese do Arco Magmático de Arenópolis

A área do Projeto Arenópolis está inserida no segmento sul do Arco Magmático de Goiás - Arco Magmático de Arenópolis - que detém significativo potencial metalogenético para cobre, ouro, níquel, manganês, vermiculita, fosfato e urânio (Lacerda *et al.*, 2021). O Arco Magmático de Arenópolis tem sido destaque para pesquisas de companhias de mineração devido a descobertas de depósitos significativos desde a década de 1970 (Lacerda *et al.*, 2021), destacam-se os depósitos (Fig. 7.1) de Cu de Bom Jardim de Goiás, de Au Fazenda Nova e de Ni-Cu Americano do Brasil (Silva *et al.*, 2014). Na Tabela 7, contém algumas características dos principais depósitos metálicos do Arco Arenópolis (Silva *et al.*, 2014).

**Tabela 7.1** - Resumo de algumas características dos principais depósitos metálicos do Arco Arenópolis (Silva *et al.*, 2014).

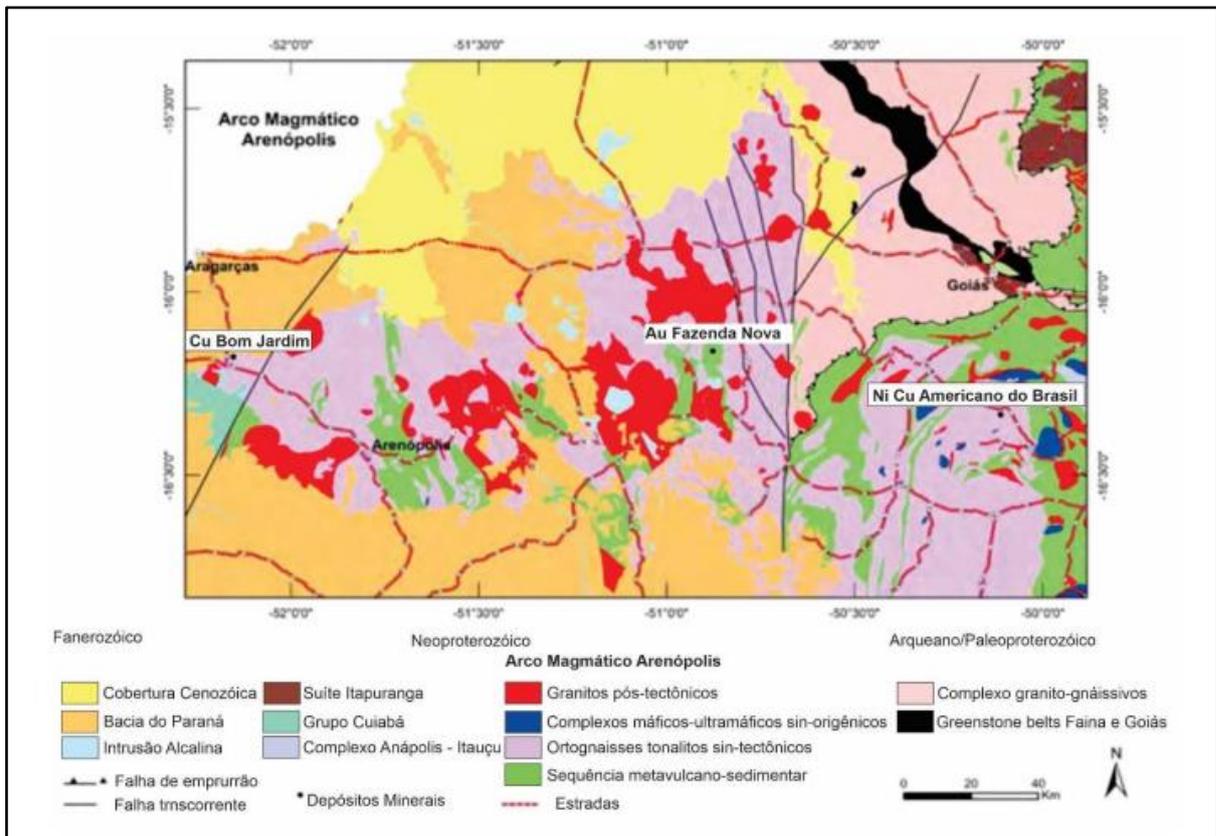
Arco de Arenópolis					
Depósito (idade)	Rocha hospedeira	Alteração hidrotermal	Tipo de depósito	Metais	Reserva (teor)
Bom Jardim de Goiás (900 Ma)	Tufos riocácitos a dacíticos	Silicificação, propilitização, sulfetação (calcopirita, pirita)	Vulcanogênico disseminado	Cu	4,58 Mt (0,92% Cu)
Fazenda Nova (~572Ma)	Diques e stocks de microtonalitos/dioritos e vulcânicas ácidas	Sericitização	Au orogênico	Au	5,7 Mt (oxidado) (0,9g/t Au)
Americano do Brasil (630 Ma)	Dunitos, peridotitos, piroxenitos e dioritos	-	Sulfeto de Ni-Cu associado a complexo máfico sin-orogênico	Ni-Cu-Co	5 Mt (62% de Ni) e (0,65% de Cu)

O depósito de Cu Bom Jardim de Goiás se localiza no extremo oeste do Arco Magmático de Arenópolis, com reserva de 4,8 Mt e teor médio de 0,92% de Cu (Silva *et al.*, 2014). As rochas hospedeiras da mineralização são vulcanoclásticas, intercaladas com rochas básicas afaníticas (Silva *et al.*, 2014). A mineralização ocorre disseminada e confinada aos veios e

vênulas discordantes nos tufos hidrotermalizados (silicificação e propilitização) e compreende principalmente pirita e calcopirita (Silva *et al.*, 2014).

A jazida de ouro Fazenda Nova está no centro-leste do Arco Magmático de Arenópolis. Este depósito aurífero orogênico tem recurso inferido de 650 koz a 4,0 g/t Au, teor de corte de 2,0 g/t Au e consiste em mineralização stockwork de Au-As hospedada em diques do final do Neoproterozóico no Arco Magmático (Marques *et al.*, 2019). Os diques, que hospedam a mineralização, consistem em um conjunto de ilmenitas pós-colisionais contida em gabros, doleritos e traquiandesitos (Marques *et al.*, 2019).

O depósito de Ni-Cu Americano do Brasil se localiza no extremo leste do Arco Magmático de Arenópolis, com reserva de 5 Mt e teores médios de 0,62% de Ni e 0,65% de Cu (Silva *et al.*, 2014). Trata-se de uma intrusão acamadada EW com 12 km de comprimento por 2 km de largura, formada por duas câmaras magmáticas independentes e tectonicamente justapostas por uma zona de falha (Silva *et al.*, 2014). A mineralização ocorre em três corpos distintos de minério de Ni-Cu sulfetado – sulfeto semi-maciço a maciço, sulfeto disseminado e sulfetos com textura em rede na base da intrusão (Silva *et al.*, 2014).



**Figura 7.1** - Mapa geológico do Arco Magmático de Arenópolis com a localização dos principais depósitos minerais. Retirado de Silva *et al.* (2014).

Além desses três depósitos principais, a região do Arco Magmático de Arenópolis tem sido alvo de trabalhos sobre depósitos com desenvolvimento incipiente (Lacerda *et al.*, 2021), se comparado aos três principais, entre eles temos: níquel de Santa Fé (Cuadro Justo, 1974) e níquel laterítico de Morro do Engenho (Chaban, 1972 e 1975), pesquisas para urânio em Amarinópolis executadas pela Nuclebrás (Pereira, 1979), Au em Bacilândia (1991) pela Western Mining Corporation (WMC) e mineralizações auríferas de menor expressão nas regiões de Aurilândia (Neves, 1988) e Anicuns (Nunes, 1990).

## **7.2. Recursos Minerais do Projeto Arenópolis**

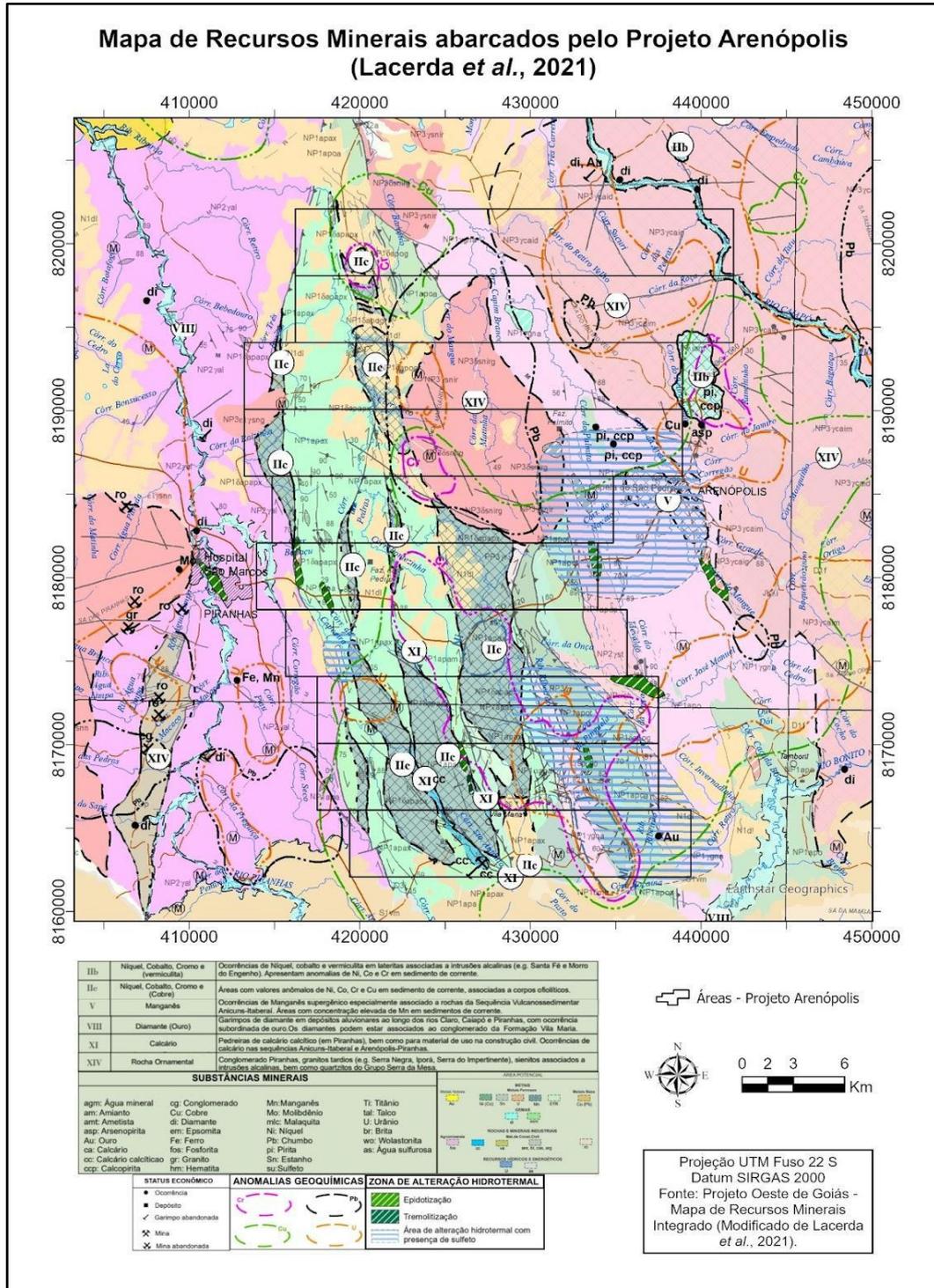
Com base no potencial metalogenético do Arco Magmático de Goiás apresentado na seção anterior, é de se esperar que a área do Projeto Arenópolis apresente ocorrências minerais de interesse econômico e potencialidades para depósitos de natureza metálica e minerais e rochas industriais. Nessa seção, serão abordados os potenciais sistemas mineralizantes que ocorrem na área do Projeto Arenópolis através de evidências adquiridas em trabalho de campo e auxílio de produtos geofísicos.

Conforme exposto por Pimentel (1985), na década de 1980, houve uma campanha de pesquisa mineral na área do Projeto Arenópolis, mais especificamente na área ocupada pela Sequência MVS Arenópolis-Piranhas. Os trabalhos de prospecção foram realizados pela B.P Mineração e ocorreram através da análise de sedimentos de corrente com foco em Cu, Zn, Pb, Ni, Cr e Au. Como resultados, destacam-se os valores anômalos em Cu e Zn nos cursos do Córrego da Onça. As anomalias de Zn apresentaram os valores mais elevados, comumente acima de 39 ppm, com *background* de 23 ppm, além de uma forte correlação com as anomalias de cobre.

No Relatório do Projeto Geologia e Metalogenia da Porção Oeste de Goiás, Lacerda *et al.* (2021) compilaram algumas informações a respeito de recursos minerais e do potencial metalogenético da porção oeste do Estado de Goiás. A Figura 7.2 traz um recorte do mapa de recursos minerais levantado pelos autores, para a região do Projeto Arenópolis.

No produto, são destacadas áreas com predominância de diferentes tipos de alteração hidrotermal, sendo possível perceber a epidotização em diversos locais, a tremolitização principalmente associada às rochas ultramáficas da unidade Córrego do Santo Antônio e a expressão de áreas hidrotermalizadas com presença de sulfeto associadas principalmente às unidades Gnaiss Arenópolis e Córrego da Onça. Também foram traçadas linhas de diferentes cores que demonstram distintas anomalias geoquímicas advindas de análises de sedimento de

corrente ou de concentrados de bateia, as quais mostram que há anomalias de Cu, Pb, Cr e U no contexto do projeto (Lacerda *et al.* 2021). Por fim, são apresentadas algumas áreas potenciais para: IIb - Níquel, Cobalto, Cromo e vermiculita; IIc - Níquel, Cobalto, Cromo e Cobre; V - Manganês; VIII - Diamante e Ouro; XI - Calcário e XIV - Rocha Ornamental.



**Figura 7.2** - Mapa de Recursos Minerais do Projeto Oeste de Goiás, com destaque para a área de estudo do Projeto Arenópolis. Adaptado de Lacerda *et al.* (2021).

O conceito de sistema mineral compreende os processos mineralizantes através do entendimento da compartimentação geológica local e regional. A importância de se entender os sistemas mineralizantes é cada vez maior, principalmente na indústria mineira, a fim de aumentar a capacidade exploratória de determinada área. Dessa forma, os sistemas minerais serão abordados conforme as afinidades metalogenéticas das ocorrências identificadas, de acordo com a classificação de Robb (2005), em modelos magmático-hidrotermais, hidrotermais (Sistema Aurífero Orogênico e Vulcanogênico) e sistema associado ao magmatismo alcalino.

### **7.2.1. Sistema Magmático-Hidrotermal**

De acordo com Robb (2008), a palavra "*skarn*" é um antigo termo sueco que originalmente se referia às rochas compostas predominantemente por minerais calcissilicáticos, com granada rica em cálcio, piroxênio, anfibólio e epidoto que identificam as associações de alteração bastante incomuns. Atualmente, é amplamente utilizada para se referir à substituição metassomática de rochas carbonáticas (calcário e dolomito) por associações minerais calcissilicáticas durante processos metamórficos de contato ou regionais. Depósitos minerais relacionados a associações mineralógicas do tipo são denominados depósitos de skarn e são tipicamente o resultado de metamorfismo de contato e metassomatismo associados à intrusão de granito em rochas carbonáticas.

No Projeto Arenópolis, foi reconhecida uma associação de rochas calcissilicáticas na extremidade sul do Granito Serra do Iran. Vale ressaltar que a intrusão ocorreu na Sequência MVS Arenópolis-Piranhas, a qual apresenta lentes de mármore em diversas porções. O domínio calcissilicático compreende gnaisses constituídos por uma assembleia mineralógica de alteração hidrotermal com anfibólio, quartzo, epidoto, clorita, biotita, titanita e calcita. Essa mineralogia se assemelha à observada no estágio de alteração retrógrada em sistemas skarníferos, onde o resfriamento do plúton associado e o influxo de fluidos meteóricos geralmente é acompanhado da precipitação de metais. Embora não tenha sido observada mineralização relacionada ao sistema, nas Áreas II e III ocorrem *skarns* com veios de quartzo associados, que podem representar importantes vetores prospectivos para a região mineralizada.

### 7.2.2 Sistema Hidrotermal

O Sistema Aurífero Orogênico é caracterizado por mineralização de Au, comumente acompanhado de Ag, associada à sulfetação em estruturas de segunda ou terceira ordem (geralmente na forma de veios) em relação a zonas de cisalhamento. São sistemas epigenéticos, isto é, cuja metalogênese ocorre em contexto posterior à formação da rocha, como o próprio nome sugere, em deformação relacionada à orogênese. O metamorfismo relacionado a esses sistemas em geral é de fácies xisto verde a anfíbolito, em condições mesocrustais entre 5 e 20 km de profundidade. A área do Projeto Arenópolis é composta por três sistemas anastomosados de zonas de cisalhamento. Assim, a ocorrência de veios de quartzo conectados a essas estruturas podem constituir importantes vetores prospectivos para a descoberta de depósitos desse tipo no projeto.

Outro sistema hidrotermal identificado na área do Projeto Arenópolis refere-se a ocorrência de sulfetos de cobre e malaquita nas rochas máficas da Unidade Córrego do Santo Antônio da Sequência MVS Arenópolis-Piranhas. Tais ocorrências foram identificadas com maior frequência na Área IX. Sulfetos de ferro como pirita e pirrotita foram identificados na unidade Córrego da Onça, associados a rochas metavulcânicas. Essas ocorrências são classificadas como um sistema vulcanogênico do tipo VMS (*volcanogenic massive sulfide*). Segundo Robb (2005), esse sistema geralmente está relacionado com a precipitação de metais a partir de soluções hidrotermais circulantes em ambientes submarinos vulcanicamente ativos.

### 7.2.3 Sistema associado ao magmatismo alcalino

Segundo Nascimento (2018), o Corpo Arenópolis compreende uma associação de rochas alcalinas com afinidade sódica da série ijolítica. Sabe-se que é comum a ocorrência de carbonatitos como parte de um complexo intrusivo alcalino, onde estão associados com sequências de rochas alcalinas silicáticas, incluindo uma variedade expressiva de rochas ultramáficas a félsicas que ocorrem em áreas geologicamente estáveis, em contexto tectônico intraplaca, normalmente associados a movimentação de plumas mantélicas (Nascimento, 2018).

Atualmente, a área ocupada pelo Corpo Arenópolis está em processo de solicitação de lavra em análise para substância ilmenita (Figura 7.3) pela *Terra Goyana Mineradora*. A ilmenita está entre os minerais mais comuns em complexos alcalino-carbonatíticos, juntamente com carbonatos, apatita, magnetita, pirocloro, flogopita, monazita, barita e sulfetos como pirita, pirrotita e calcopirita (Robb, 2005).

#### **7.2.4 Minerais e rochas industriais**

Conforme Ciminelli (2007), minerais e rochas industriais é um termo que engloba todas as rochas e minerais predominantemente não-metálicos, naturais ou sintéticos, aplicados em produtos e processos industriais, como matérias primas, insumos ou aditivos, em diversos segmentos industriais. No qual estes minerais e rochas são altamente aplicados nas indústrias de cerâmicas, vidrarias, fertilizantes, alimentos, siderúrgicas, indústrias químicas e construção civil.

##### ***Mármore***

Na área do Projeto Arenópolis há ocorrências de mármore, principalmente na porção meridional associada à unidade Santo Antônio da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas. Os mármore observados possuem faixas centimétricas avermelhadas e esbranquiçadas, expressando a presença de calcita e quartzo. Observa-se ainda, faixas milimétricas de coloração cinza, com presença de quartzo, calcita, epidoto e anfibólio.

O mármore possui várias aplicações industriais, entre elas, destacam-se o uso na construção civil, usado como matéria-prima na produção de cimento, concreto e argamassa. Além disso, o mármore tem destaque no ramo do agronegócio, sendo uma fonte essencial de cálcio e magnésio para as plantas e usado para neutralizar a acidez do solo, equilibrando o pH. Atualmente, na região do Projeto Arenópolis, esta *commodity* é explorada pela Mineração de Calcário Montividiu que possui concessão de lavra para exploração de calcário e a Votorantim Cimentos está em fase de pesquisa, ambos na Área X do projeto (Figura 7.3).

##### ***Talco***

Em algumas Áreas do Projeto Arenópolis, mais especificamente nas Áreas I, V, VI, IX e X, há ocorrências de talco associadas às rochas metaultramáficas das unidade Córrego do Santo Antônio e Córrego da Onça, da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas. Segundo Luz & Lins (2008), o talco possui diversas aplicações no setor industrial, em destaque para indústrias de cerâmicas, refratários, de produtos asfálticos, plásticos e entre outras que utilizam deste filossilicato como matéria prima devido suas características cristal químicas.

##### ***Areias e seixos***

Ao longo de todas as áreas do Projeto Arenópolis foi observado terraços aluvionares de areias e seixos presentes nas drenagens locais. Estes terraços estão localizados nas margens do Córrego da Areia, Córrego Ribeirão e Córrego da Onça. A extração de areia e seixos possui

aplicações na forma de agregados para construção civil e produção industrial para fabricação de vidros e cerâmicas.

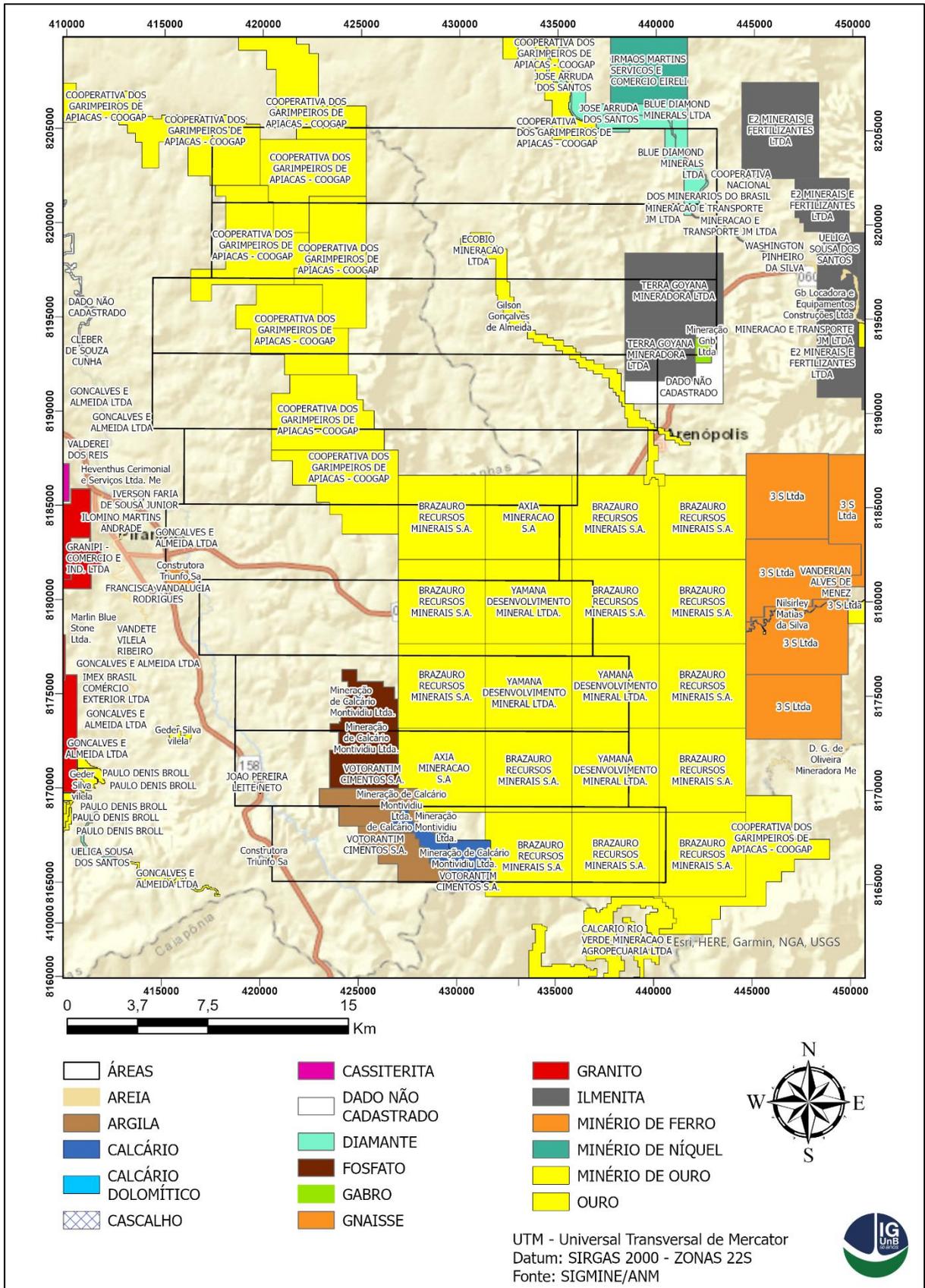
### ***Argilas***

A região do Projeto Arenópolis apresenta potencial para extração de argilas, já que apresenta regiões de baixa declividade e próximas a drenagens (várzeas) que possibilitaram o acúmulo de material argiloso. A extração de argila é importante para produção de cerâmica vermelha (telhas e tijolos) e para fabricação de cimento Portland a partir de argilas pozolânicas.

### ***Rochas ornamentais/revestimento***

Segundo a NBR 15012:2003, rocha ornamental é definida como material rochoso natural, submetido a diferentes graus ou tipos de beneficiamento ou afeiçoamento (bruta, aparelhada, apicoada, esculpida ou polida) utilizado para exercer uma função estética e a mesma norma define rocha de revestimento como rocha natural que, submetida a processos e graus variados de desdobramento e beneficiamento, é utilizada no acabamento de superfícies, especialmente pisos e fachadas, e em obras de construção civil. Conforme Sossai (2006), o Brasil possui forte atuação no setor de produção de rochas ornamentais e/ou revestimentos no mercado mundial, certa prática que tem uma ótima aceitação das matérias primas brasileiras no mercado internacional, especialmente os granitos.

A cerca de 15km de Piranhas (GO), encontra-se a Pedreira Marlin Blue Stone Ltda que possui a finalidade da extração de blocos do Conglomerado Piranhas conhecido comercialmente como Verde Piranhas para fins ornamentais. Atualmente não há empresas explorando as rochas da área do projeto com este fins ornamentais e/ou de revestimento, contudo há potenciais litotipos que se encaixam nos requisitos devido a sua coloração (estética) e seu baixo grau de fraturamento: Granito Serra do Iran localizado no centro das cinco primeiras áreas do projeto, Granito Ribeirão Água Limpa cortando praticamente todas áreas do projeto no extremo ocidente e o Conglomerado Piranhas restrito a Área 6, litologia no qual já possui exploração com finalidade ornamental em outra região dentro do limites de Piranhas no qual a rocha é conhecida como Verde Piranhas.



**Figura 7.3** - Mapa de processos minerários por substância na área do Projeto Arenópolis (Fonte: SIGMINE/ANM, Novembro/2023).

### 7.3 Recursos Minerais da Área IV

O potencial econômico encontrado na Área IV se restringe a rochas para fins ornamentais, utilizadas no revestimento de superfícies, especialmente pisos, paredes e fachadas, e extração de agregados de areias e seixos para usos industriais e na construção civil. Ademais, não foram encontradas mineralizações metálicas nas rochas da quarta área do projeto, sejam mineralizações associadas à disseminação de sulfetos como nas áreas ao sul do projeto ou associadas a processos residuais e sedimentares como *metacherts* ou calcários.

#### *Areias e seixos*

A área próxima ao Córrego da Areia possui muita quantidade de areia presente solo local (Figura 7.4A), este material coluvionar é proveniente de desagregação por lavagem hidráulica de rochas locais como o Granito Rio Caiapó e depositado nas margens desta drenagem formando terraços aluvionares. A areia, em geral, é composta por quartzo, feldspato e grãos líticos, possui uma má seleção, variando desde areia fina até muito grossa com presença de seixos de quartzo (Figura 7.4B). Contudo, esta área possui potencial para extração de areia e seixos com aplicações na forma de agregados para construção civil, ou como material industrial para a fabricação de vidros e na indústria de fundição, dentre outros usos.

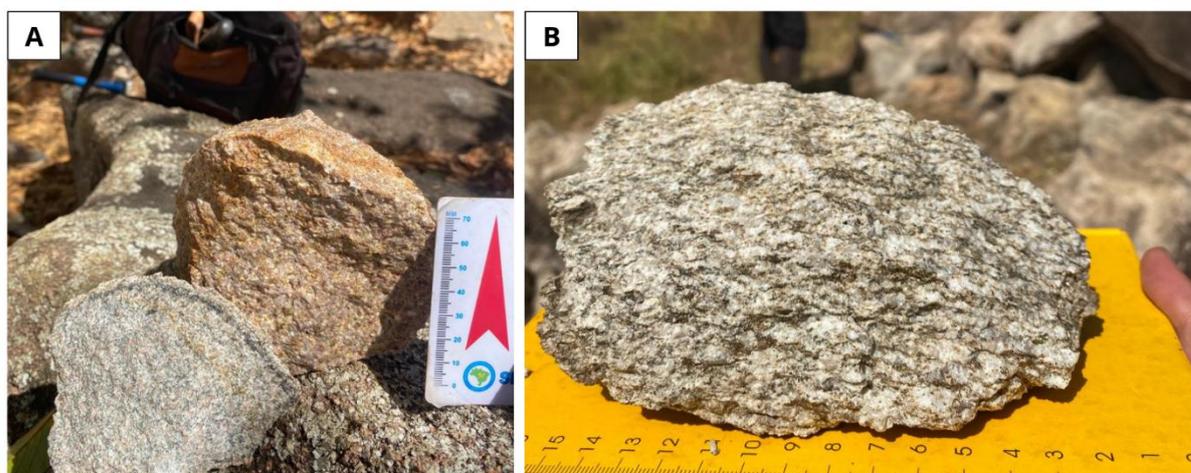


**Figura 7.4** - (A) Terraços aluvionares próximos às margens do Córrego da Areia. (B) Solo arenoso com pequenos grãos de seixos proveniente do Granito Rio Caiapó próximo ao Córrego da Areia.

### ***Rochas ornamentais***

Na área do Projeto, não existe atualmente exploração de rochas ornamentais e/ou de revestimento. As rochas graníticas da Serra do Iran (Figura 7.5A) apresentam potencial para uso em revestimento ou ornamentação, devido essas rochas possuírem tonalidades cinza (fácies de monzogranito) e rosado (fácies de sienogranito), além de tonalidades mais escuras referentes a fácies mais máficas, colorações exóticas para uma ornamentação. Ambas as rochas possuem baixa intensidade deformacional, contendo pouco fraturamento. Além disso, estes granitos contém granulação média a grossa e, por vezes, são encontrados em locais que afloram em um relevo positivo e matacões, e pouco alteradas, tecnicamente favoráveis à lavra. Portanto, essas litologias podem ser classificadas como potenciais rochas para uso artesanal como em muros ou fachadas residenciais.

Outra unidade com grande potencial para exploração ornamental é o Granito Ribeirão Água Limpa, presente no extremo oeste da área, que é representado por diversas fácies variando de biotita-tonalitos a tonalitos, mesocráticos, cinza-claros, esbranquiçados, porfiríticos, isotrópicos e próximo a Zona de Cisalhamento Piranhas milonitizado (Figura 7.5B). Estes granitóides ocorrem como blocos rolados e matacões em meio ao relevo plano, possuem pouco a nulo o grau de fraturamento, quando longe da zona de cisalhamento, assim sendo ótimas litologias para aplicação de rochas para uso ornamental.



**Figura 7.5** – (A) Amostras de mão de monzogranito (coloração cinza) e sienogranito (coloração rosada) em meio a blocos aflorantes da unidade Granito Serra do Iran obtidos na Área IV. (B) Biotita tonalito milonitizado do Ribeirão Água Limpa.

## 8. Evolução tectônica

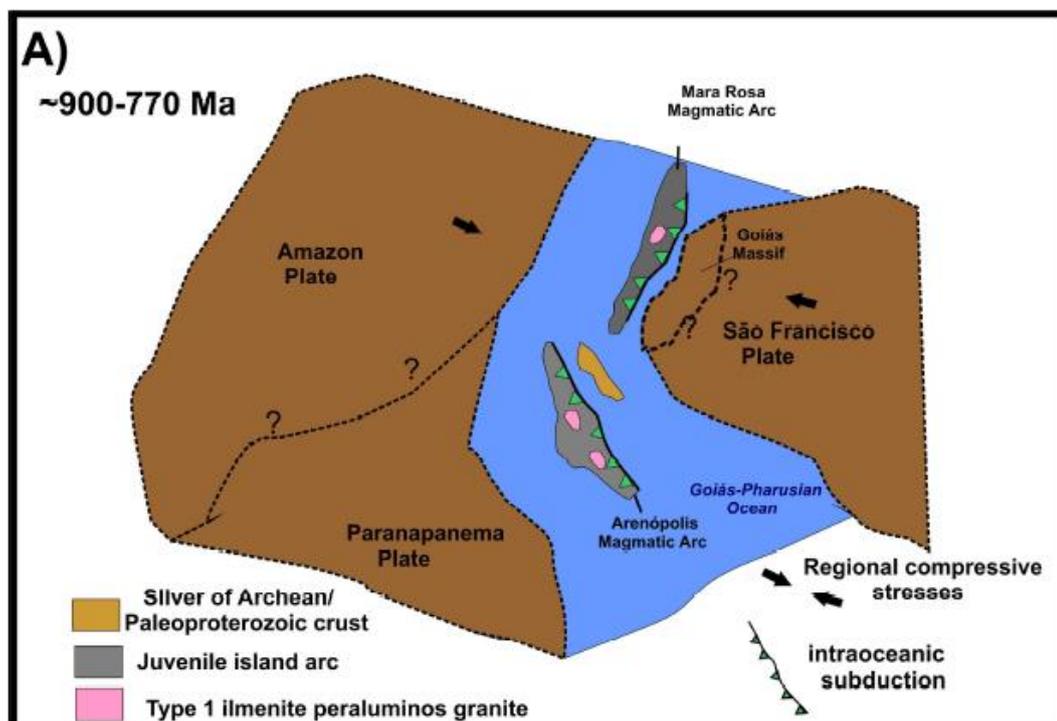
O propósito deste capítulo é introduzir as fases de evolução tectônica das unidades mapeadas no Projeto Arenópolis, utilizando modelos propostos na literatura, em conjunto com os dados estruturais e petrográficos coletados durante a execução do projeto. O enquadramento geotectônico do Projeto Arenópolis está situado na Província Tocantins, no Orógeno Brasília. Essa área tem sua estruturação influenciada pela colisão entre os Crátons São Francisco, Amazônico e Paranapanema, com o desenvolvimento do Lineamento Transbrasiliano (Almeida *et al.*, 1977; Hasui & Almeida, 1970). O desenvolvimento do Orógeno Brasília abrange a evolução do Arco Magmático de Goiás durante o neoproterozóico. Essa evolução inclui estágios de arco intra-oceânico, colisão arco-continente, colisional a pós-colisional e extensional, conforme o modelo proposto por Lacerda Filho *et al.* (2021).

A evolução do Arco Magmático de Goiás é descrita nos segmentos Mara Rosa e Arenópolis através de dois principais eventos magmáticos: o primeiro, em um ambiente de arco intra-oceânico com a geração de magmatismo com idade entre 920 e 800 Ma; e mais tarde, um magmatismo em ambiente de arco continental que ocorreu entre 660 e 630 Ma (Pimentel *et al.*, 2000; Brito Neves *et al.*, 2014).

A evolução tectônica do Projeto Arenópolis (Tabela 8.1) pretende contribuir com entendimento da geodinâmica da região entre Piranhas e Arenópolis, levando em consideração o modelo inicialmente proposto por Pimentel (1985) e posteriormente por Lacerda Filho *et al.* (2021). As interpretações foram realizadas através das observações de campo, análises petrográficas do Projeto Arenópolis, e dados geoquímicos disponíveis no relatório do Projeto Geologia e Metalogenia da Porção Oeste de Goiás (2021) do SGB-CPRM.

### 8.1. Estágio de Arco Intra-Oceânico

A formação do Arco Magmático Goiás é marcada pelo fechamento do Oceano Goiás-Farusiano (Kröner & Cordani, 2003; Caby, 1994; Valeriano *et al.*, 2004). Enquanto a formação do segmento Mara Rosa é iniciada pela aproximação dos Crátons Amazônico e São Francisco, a geração do segmento Arenópolis é iniciada a partir do movimento convergente entre os Crátons Paranapanema e São Francisco, conforme o modelo de Marques (2017) e detalhado na Figura 8.1.



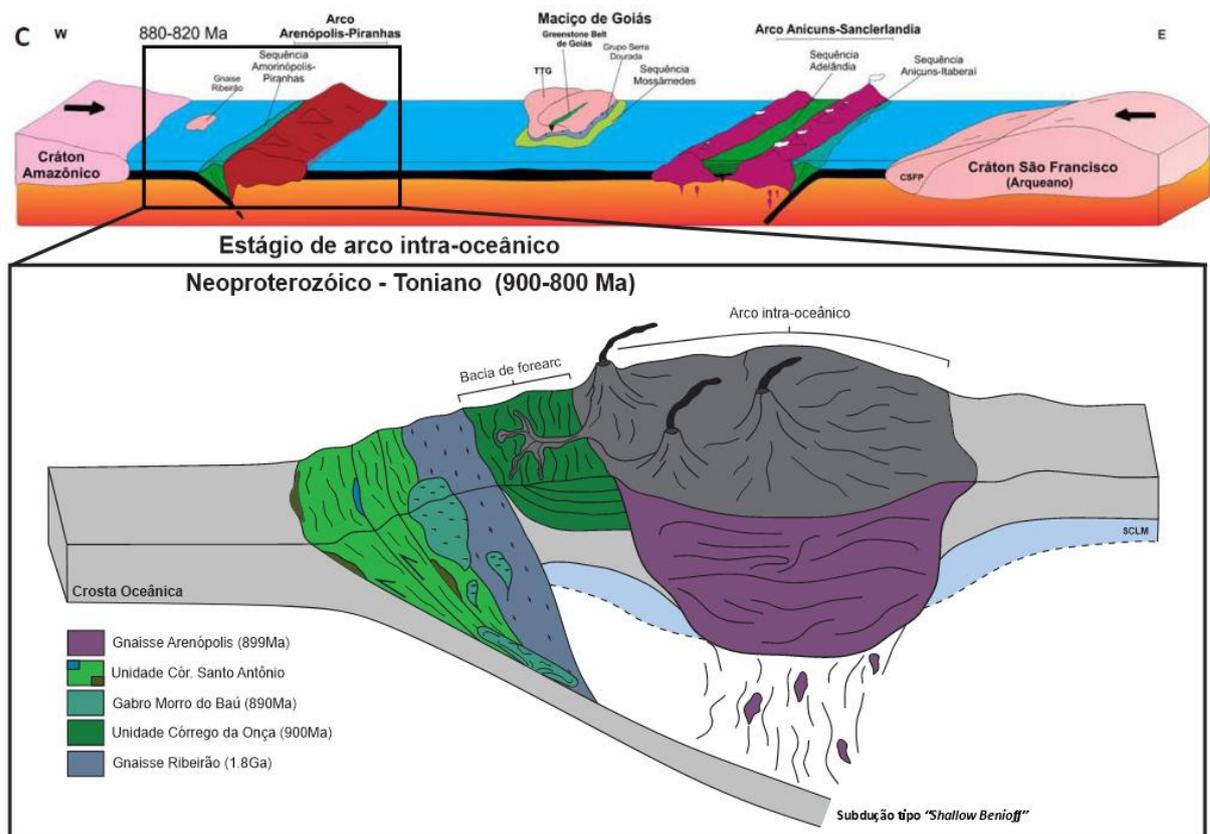
**Figura 8.1** - Fechamento do Oceano Goiás-Farusiano com desenvolvimento das primeiras assembleias de arcos intra-oceânicos (cerca de 900 a 770 milhões de anos). Adaptado de Marques (2017).

De acordo com Laux *et al.* (2005), a história evolutiva do Arco Magmático Goiás se inicia com a geração de arcos intra-oceânicos, o qual é representado por rochas metamáficas com idades entre 890 e 815 Ma e ortognaisses e granitóides com idades entre 821 e 782 Ma. Nesse período, se formaram, primeiro, o arco de Arenópolis-Piranhas, seguido pelo arco de Anicuns-Itaberaí. Associadas a estes arcos, houve o desenvolvimento de bacias do tipo *forearc*, *backarc* e zonas de trincheira, com sedimentação e derrames de rochas vulcânicas.

No cenário do Projeto Arenópolis, o estágio de arco intra-oceânico é representado pelo Gnaisse Arenópolis, o qual foi descrito como ortognaisse metaluminoso de composição tonalítica. A idade de  $899 \pm 7$  Ma (Pimentel *et al.*, 1991) indica que estaria relacionado aos primeiros eventos de formação do arco. Concomitantemente, mais para oeste (na posição atual), tinha a sedimentação na zona de trincheira (Carneiro *et al.*, 2021) que daria lugar à Unidade Córrego Santo Antônio, da Sequência MVS Arenópolis-Piranhas. Os anfíbolitos da Unidade Córrego da Onça poderiam ter sido formados no próprio arco de ilhas (Pimentel, 1985) ou em uma bacia de *forearc*. A obdução de parte dessa crosta oceânica, junto com os sedimentos de trincheira, geraria mais tarde a superposição de lascas de rochas máficas e ultramáficas ao lado de rochas carbonáticas pertencentes a uma provável plataforma carbonática (Figura 8.3).

**Tabela 8.1** - Estágios de evolução tectônica do Arco Magmático de Arenópolis referente às unidades do Projeto Arenópolis.

<b>Estágio Tectônico</b>	<b>Fase Evolutiva</b>	<b>Evidência</b>	<b>Unidade</b>
<b>Paleoproterozóico (2300-2000 Ma)</b>	Bloco Alóctone	Dados isotópicos Rb-Sr e TDM Sm-Nd.	Gnaisse Ribeirão (1816 ± 110 - Rb-Sr)
<b>Arco Intra-Oceânico Neoproterozóico - Toniano (900-800 Ma)</b>	Arco Vulcânico ou Bacia de Forearc	Geoquímica - Anomalia de Sr e Ba (Hattingh, 2020).	Unidade Córrego da Onça (900 ± 8 - U-Pb)
	Prisma de acreção	Rochas típicas de assoalho oceânico (metamorfizadas), justapostas por rochas sedimentares químicas e siliciclásticas (Carneiro et al. 2021; TF 2023).	Unidade Cór. Santo Antônio - Idade máxima de sedimentação ~900Ma
	Equivalente plutônico da SMVS Arenópolis-Piranhas - Edifício de arco de ilhas.	Geoquímica - granitos não-fractionados formados em ambientes pré-colisão de placas com evidência de enriquecimento por subducção (Hattingh, 2020).	Gnaisse Arenópolis (899 ± 7 - U-Pb)
	Contemporâneo ao Gnaisse Arenópolis. Intrudiu o Gnaisse Ribeirão	Geoquímica - Contaminação com crosta continental arqueana (Pimentel et al. 2003).	Gabro Morro do Baú (890 ± 6 - U-Pb)
<b>Arco Continental - Colisional Neoproterozóico - Criogeniano (670-600 Ma)</b>	Arco vulcânico ao estágio colisional	Sistemas de ZC (TF 23); Heterogeneidade isotópica pode indicar contaminação de granitogênese pós tectônica (Pimentel et al. 1985).	Granito Serra do Tatu (692 ± 110 - Rb-Sr)
		Assinatura geoquímica de adakitos: geração de magmas a partir da fusão de crosta oceânica (alto Nb/Yb e Th/Yb) e alojamento em crosta continental (altas razões Th/Yb).	Granito Ribeirão Água Limpa (639 ± 3 - U-Pb)
<b>Colisional a Pós-Colisional Neoproterozóico - Ediacarano (590-560 Ma)</b>	Final do estágio colisional	Geoquímica - razão inicial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de 0.70382 (Pimentel & Fuck, 1987) e $\epsilon\text{Nd}(t)$ entre -4,2 e +1,5 (Hattingh, 2020). Dados sugerem origem mantélica e crustal.	Granito Rio Caiapó (587 ± 20 - U-Pb)
	Pós-Colisional	Geoquímica - $\epsilon\text{Nd}(t)$ de -2.7 a +2.0 (Hattingh, 2019); Caráter bimodal do magmatismo e sem deformação no centro do plúton (TF 23).	Granito Serra do Iran (564 ± 5 - Rb-Sr)
<b>Extensional (Paleozóico - Cambriano)</b>	Bacia Intracratônica	Formação Furnas e Ponta Grossa; Conglomerado Piranhas (TF 23).	Grupo Paraná
<b>Intraplaca Mesozóico - Cretáceo (135-63 Ma)</b>	Pluma ou soerguimento do manto	Datação - idades entre 94 ± 5 e 74.3 ± 1.6 Ma (Sonoki and Garda, 1988). Complexo alcalino carbonatítico Arenópolis (Danni, 1976; TF 23)	Complexo Arenópolis (94 ± 5 - K-Ar)



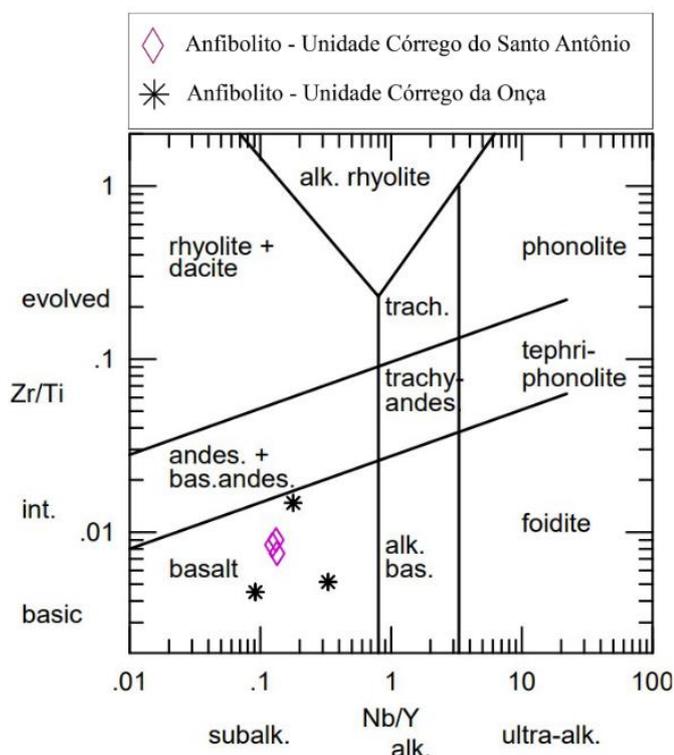
**Figura 8.2** - Modelo evolutivo do estágio de arco intra-oceânico na região entre Piranhas e Arenópolis, com destaque para o modelo proposto por Lacerda-Filho *et al.* (2021).

Dados litogeoquímicos mostram uma classificação na série cálcio-alcalina e no campo destinado aos granitos não-fracionados formados em ambientes pré-colisão de placas com evidência de enriquecimento por subducção (Hattingh, 2020). Dados compilados por Rodrigues *et al.* (1999) de diferentes ortognaisses do Segmento Arenópolis, mostram um caráter metaluminoso (Pimentel & Fuck 1992b, Viana *et al.* 1995). Na Figura 8.4 evidencia-se o caráter metaluminoso do Gnaiss Arenópolis.

O modelo proposto pelo Projeto Arenópolis inclui as rochas da Unidade Córrego da Onça em um ambiente de bacia de *forearc*, uma vez que foram mapeadas rochas metavulcânicas máficas e intermediárias intercaladas com rochas metassedimentares. O diagrama de Pearce (1996) permite a classificação dos protólitos de anfibólitos, pertencentes às unidades da Sequência MVS Arenópolis-Piranhas, como basaltos toleíticos (Figura 8.2).

O fato de ter sequências de trincheiras, junto com espessa sequência de basaltos intercalados com rochas sedimentares, principalmente químicas, atentam para um modelo de *Shallow "Benioff Style Subduction"* (Chelle-Michou *et al.*, 2022), que tem em conta que a placa oceânica entra em subducção com um ângulo aproximado de 45°. Essa interpretação corrobora

com o modelo inicialmente proposto por Pimentel (1985) e posteriormente por Carneiro *et al.* (2021).



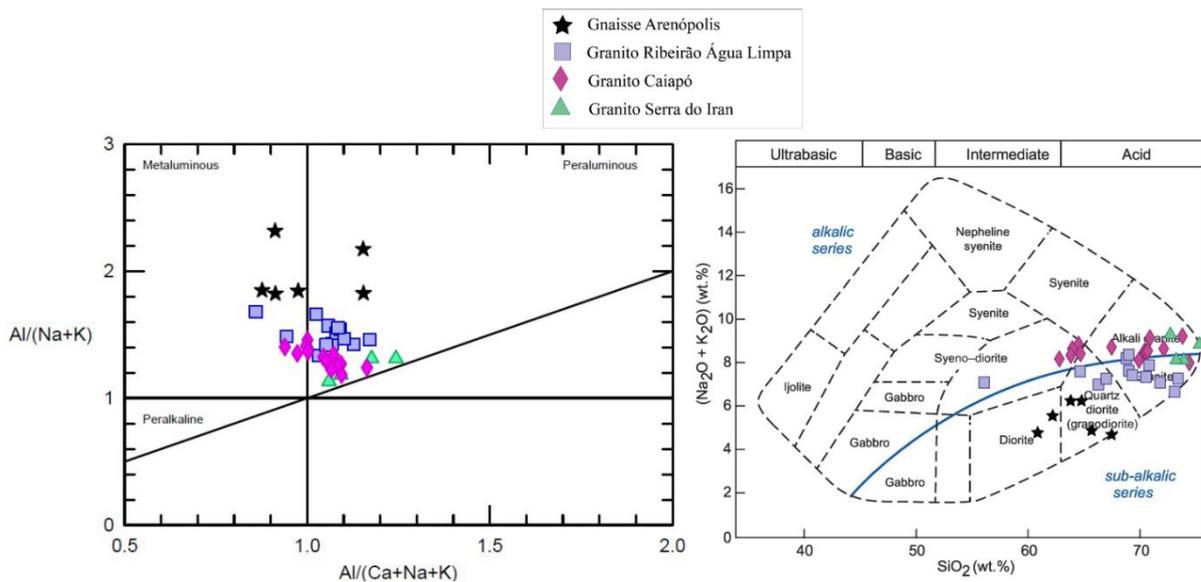
**Figura 8.3** - Diagrama ternário de Pearce (1996) para classificação dos anfibolitos das unidades Córrego da Onça e Córrego Santo Antônio. Fonte: SGB-CPRM (2021).

O Gabro Morro do Baú tem uma idade de cristalização de  $890 \pm 6$  Ma (Pimentel *et al.*, 2003). A idade indica que esta intrusão é contemporânea, ou um pouco mais jovem que as rochas vulcânicas da Unidade Córrego da Onça. No Projeto Arenópolis, o Gabro Morro do Baú aflora na área X, em aparente contato intrusivo com o Gnaiss Ribeirão e Gnaiss Arenópolis a leste e com a Unidade Córrego Santo Antônio a oeste.

A composição isotópica de Nd do Gabro do Morro do Baú,  $T_{DM}$  de 2.8 Ga e  $\epsilon_{Nd}$  negativo de  $-9.7$ , indica forte contaminação com material síalico arqueano (Pimentel *et al.* 2003). No Projeto Arenópolis, o Gabro Morro do Baú foi mapeado em contato com o Gnaiss Ribeirão e com a Unidade Córrego Santo Antônio. Dessa forma, e considerando a idade de  $1816 \pm 110$  (Pimentel *et al.*, 1992), no modelo proposto (Figura 8.3), o Gnaiss Ribeirão é uma das unidades encaixantes do Gabro Morro do Baú e pode ser a origem da fonte de contaminação observada através dos dados Sm-Nd.

Considerando todas as informações mencionadas, é proposto, assim como Lacerda Filho *et al.* (2021), uma subducção no estágio de arco intra-oceânico com mergulho para leste.

Pimentel (1985) propõe um mergulho para leste em base ao metamorfismo crescente na Unidade Córrego Santo Antônio para oeste. As unidades Córrego Santo Antônio e Córrego da Onça representam a zona de trincheira e bacia *forearc*, respectivamente. O Gabro Morro do Baú, representa um corpo plutônico intrudido e associado a este estágio, enquanto o Gnaiss Arenópolis representa o próprio edifício vulcânico. É interessante destacar que o Gnaiss Arenópolis também foi identificado a oeste do Gnaiss Ribeirão. Até o momento não existem idades mais acuradas e geoquímica destes dois gnaisses para colocá-los em um contexto mais preciso dentro desta evolução.



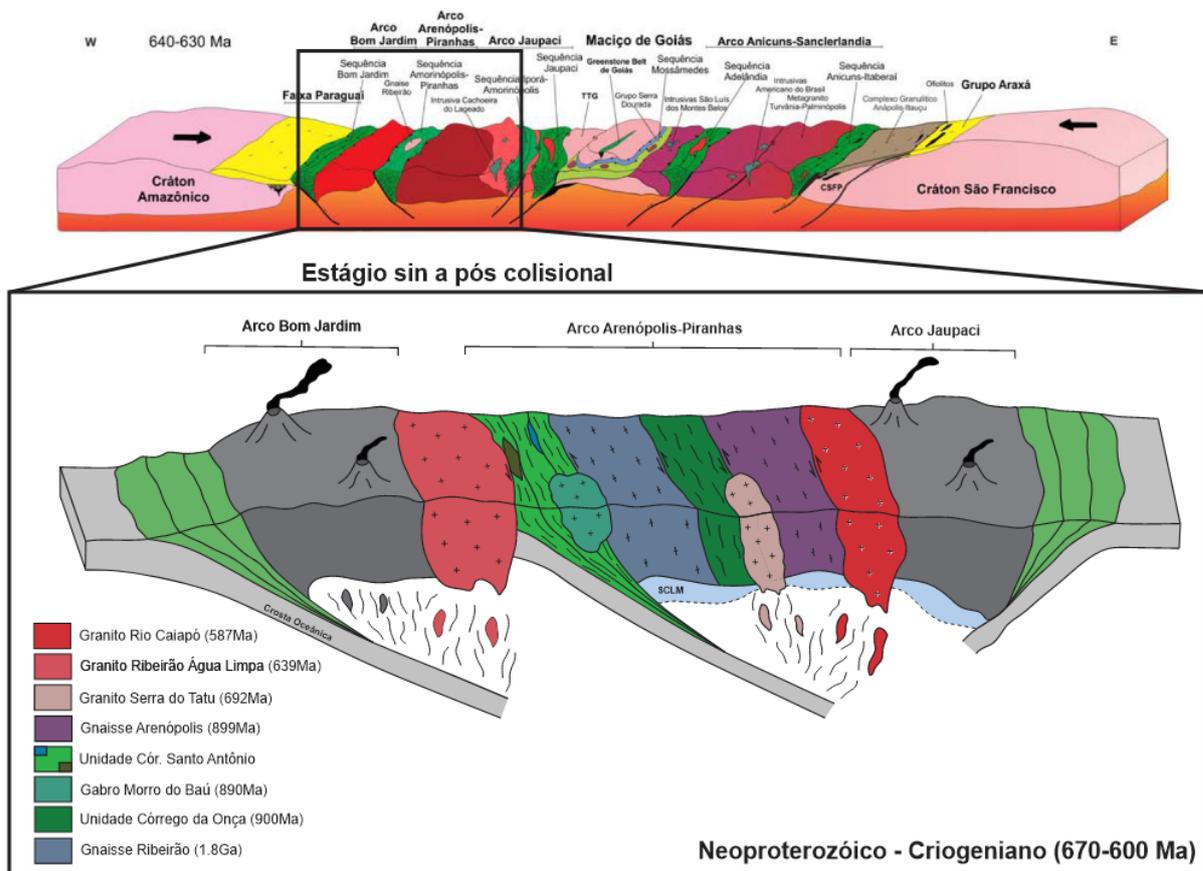
**Figura 8.4** - Diagrama de classificação do índice de Shand (alumina-saturação) à esquerda e diagrama TAS para todas as unidades plutônicas e metaplutônicas do Projeto Arenópolis à direita. Fonte: SGB-CPRM (2021).

## 8.2. Estágio Arco Continental - Colisão Continente-Continente

O estágio Arco continental-Colisão Continente-Continente é caracterizado por magmatismo misto de fontes juvenis e crustais por volta de 670 a 600 Ma. Nessa fase de acreção do AMG é observado o aumento de fases calci-alcálicas, peraluminosas, com aumento de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{K}_2\text{O}$ , além de diagramas multielementares e padrões de ETR condizentes com contaminação crustal, sendo também obtidos valores de  $\epsilon_{\text{Nd}}$  cada vez mais negativos (Frasca, 2015).

No contexto do Projeto Arenópolis, as unidades que representam o magmatismo relacionado a esse estágio são o Granito Serra do Tatu, o Granito Ribeirão Água Limpa e o Granito Rio Caiapó, conforme mostra o modelo proposto na Figura 8.5. O Granito Serra do Tatu representa um granito tipo-S de caráter peraluminoso, com uma idade incerta de  $690 \pm 110$  Ma, obtido pelo método Rb-Sr por Pimentel (1985). Uma característica deste é que está fortemente milonitizado. Já o Granito Ribeirão Água Limpa constitui rochas metaplutônicas

graníticas a tonalíticas milonitizadas. Hattingh *et al.* (2021) obtiveram, pelo método U-Pb, uma idade de  $692 \pm 3$  Ma para a unidade. Os resultados geoquímicos indicam que são rochas calcialcalinas e peraluminosas, com padrão de ETR e razão  $K_2O/Na_2O$  que permitem classificá-las como adakitos de alto K, além de apresentarem baixas concentrações de HFSE em padrões ETR normalizados para condrito. Essas características foram consideradas pelos autores para interpretar que o Granito Ribeirão Água Limpa tem uma fonte profunda mantélica, em contexto de extremo espessamento crustal e consequente fusão parcial da quilha eclogítica delaminada. O entendimento dos autores contribui com o modelo proposto pelo Projeto Arenópolis, permitindo estabelecer a formação da unidade em uma fase avançada de subducção em ambiente de arco continental.



**Figura 8.5** - Modelo evolutivo do estágio de arco continental na região entre Piranhas e Arenópolis, com destaque para o modelo proposto por Lacerda-Filho *et al.* (2021).

Seguindo o modelo apresentado por Lacerda Filho *et al.* (2021), o Granito Ribeirão Água Limpa representaria o Arco Continental do Arco Bom Jardim, localizado a oeste. Fica ainda a esclarecer, em função da idade, se o Granito Serra do Tatu é um dos representantes deste estágio no Arco de Arenópolis-Piranhas. Diversos corpos gabro-dioríticos e graníticos com e sem deformação foram encontrados durante o mapeamento. Possivelmente eles estejam

relacionados com este momento da evolução, mas não existem até o presente dados isotópicos e geoquímicos para fazer essa correlação. Não obstante, o Estágio de Arco Continental parece ter sido muito restringido no tempo para o Arco Arenópolis-Piranhas.

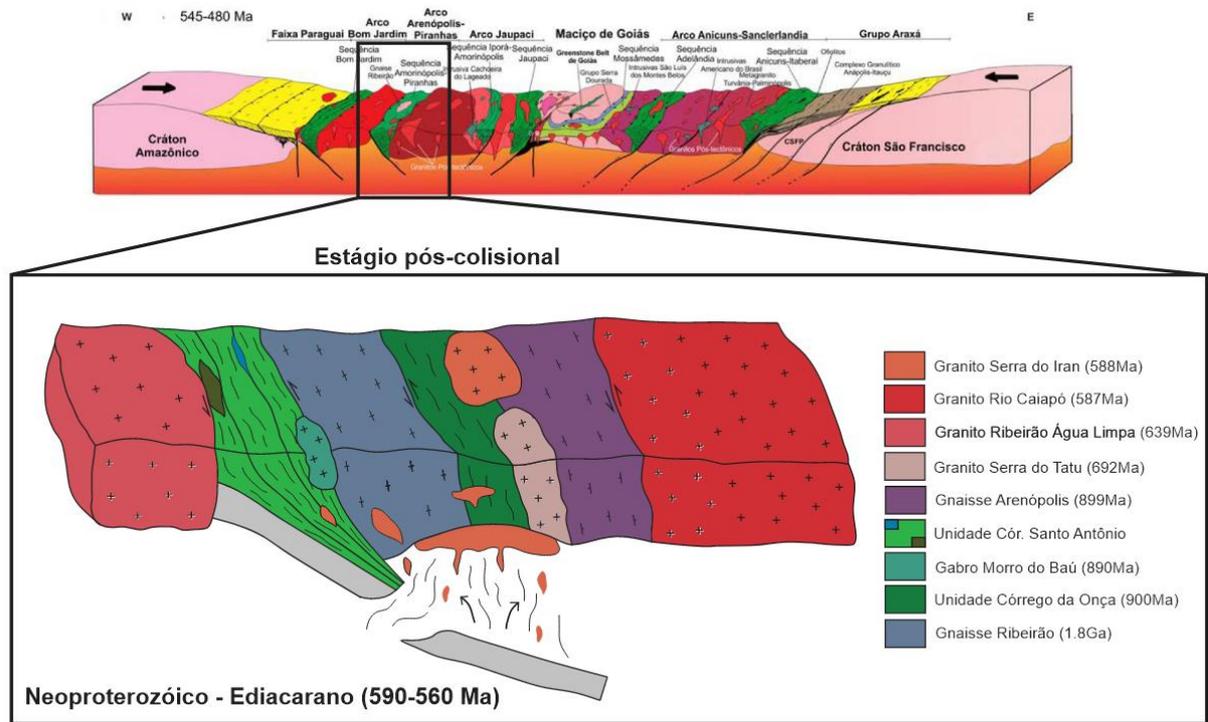
No presente modelo (Figura 8.5), o Granito Rio Caiapó foi colocado no estágio final da colisão continente-continente. Ele tem uma idade de  $587 \pm 17$  Ma (Pimentel & Fuck 1994) e características geoquímicas de granitos tipo-I, típicas de arco. Não obstante a idade, o erro analítico poderia indicar que este granito é mais antigo, descartando a sua relação o magmatismo granítico bimodal pós-Brasiliano mais antigo (entre ca. 590 a 560 Ma, Pimentel *et al.*, 1987b, 1996b e 1999). As evidências de campo, como zonas de cisalhamento, foliação e evidências de deformação em microestruturas em amostras tanto das bordas quanto no centro do corpo, apoiam a hipótese de que o mesmo estaria relacionado aos estágios finais da colisão continente-continente e não ao ambiente pós-colisional.

### **8.3. Estágio Pós Colisional: magmatismo bimodal em ambiente transicional**

A evolução do Arco Magmático Goiás se deu através do fechamento do Oceano Goiás-Farusiano e está correlacionada com a amalgamação do continente Gondwana. Este então, é seguido pelo desenvolvimento de mega-cisalhamento denominado Lineamento Transbrasiliiano (Schobbenhaus, 1975), o qual é composto por diversas zonas de cisalhamentos que se estendem até a base da litosfera (*sub-continental lithospheric mantle* - SCLM). O Lineamento, então, atua como uma série de condutos para a ascensão, estocagem e posteriormente, anatexia. Com isso, se dá origem ao magmatismo bimodal e granitos do tipo-A (Vauchez & Tommasi, 2003; Pirajno, 2010).

Segundo Pimentel *et al.* (1987b, 1996b e 1999), o magmatismo granítico bimodal pós-Brasiliano pode ser resumido em dois eventos distintos: (i) um mais antigo entre ca. 590 a 560 Ma e (ii) um mais recente entre ca. 508 a 485 Ma. Ambos os episódios apresentam grupos de granitóides metaluminosos, contendo razões  $K_2O/Na_2O > 1$ , bem como afinidades transicionais entre cálcio-alcalinas a cálcio-alcalinas de alto-K. O grupo de granitóides de idades mais antigas são similares a granitos do tipo-I, ao passo que os mais jovens seriam comparáveis a granitos do tipo-A. Além disso, ambos os grupos apresentam razões isotópicas de Sr e Nd com razões iniciais de Sr entre 0.703-0.710 e  $\epsilon_{Nd}(T)$  entre -4.6 a +3.0, compatíveis com fusão de granitóides e rochas metavulcânicas de arco mais antigo. Ainda, Pimentel *et al.* (1999) atribuem a origem deste magmatismo bimodal a uma fusão crustal acarretada por intensa produção de calor, possivelmente relacionada a um episódio de *underplate* de magmas mantélicos na base da

crosta continental. No modelo tectônico proposto (Figura 8.6), tal evento seria promovido por um mecanismo de *slab-breakoff* (Davies & Blanckenburg, 1995; Atherton & Ghani, 2002), após os últimos estágios da Orogenia Brasileira. Este mecanismo de *slab-breakoff* é responsável pelas denominadas “janelas astenosféricas”, ou seja, a subida do manto astenosférico, decompressão, fusão parcial e *underplating* e magmas na base da crosta.



**Figura 8.6** - Modelo evolutivo do estágio pós-colisional na região entre Piranhas e Arenópolis, com destaque para o modelo proposto por Lacerda-Filho *et al.* (2021).

As unidades que estão inseridas nesses contextos e presentes no Projeto Arenópolis correspondem ao Granito Serra do Iran. Vale ressaltar que, embora o Granito Rio Caiapó ( $587 \pm 17$  Ma, Pimentel & Fuck 1994) e o Granito Serra do Iran ( $588 \pm 17$  Ma, Pimentel & Fuck 1994) tenham idades próximas, o erro analítico, a geoquímica e as relações de campo observadas durante o mapeamento permite interpretar que os dois corpos não foram alojados no mesmo momento da evolução no estágio *tardi* a pós tectônico.

Enquanto o Granito Rio Caiapó apresenta zonas de cisalhamento, foliação e evidências de deformação em microestruturas em amostras, tanto das bordas, quanto no centro do corpo, o Granito Serra do Iran se mostra com características predominantemente isotrópicas no centro do corpo. Dessa forma, as zonas de cisalhamento desenvolvidas apenas nas bordas indicam alojamento do plúton nos últimos estágios da etapa pós-colisional. Conforme Pimentel *et al.* (1985), o Granito Serra do Iran se destaca pelo caráter isotrópico da trama, ao contrário do Granito

Rio Caiapó, e constitui um pequeno plúton no qual se desenvolveu uma auréola termal na sequência xistosa encaixante.

Por fim, ao longo dos estágios finais de transpressão sinistral ao longo da região, entende-se que houve a nucleação de um domínio transtrativo de mesma cinemática. A atuação de tectônica distensiva geraria então, ao longo da Unidade Córrego da Onça e do Granito Serra do Tatu, o equivalente a uma bacia do tipo *pull-apart* com rampas extensionais com direção E-W a WNW-ESE em um cisalhamento NNW-SSE. Tal deformação seria então responsável pela geração e principalmente, intrusão de diques riolíticos, paralelos ao cisalhamento NNW-SSE. De maneira subordinada, ao longo dos sítios extensionais nesta bacia, houve a colocação de diques riolíticos de menor escala, com direção E-W. Desse modo, compreende-se que a extensão E-W gerada atuou como sistema de encanamento para ascensão de magma ácido. Sendo assim, pela ausência de deformação presente ao longo dos diques, é possível afirmar que a unidade Córrego do Horácio foi gerada no final do evento deformacional transpressivo. Isto se dá em função da presença apenas de estruturas de fluxo localizadas e domínios não deformados relacionados a um resfriamento tardio.

#### **8.4. Estágio Extensional**

O estágio extensional se trata do mais recente evento na área de estudo, de idade fanerozóica, tendo ocorrido após o estágio compressivo e o soergimento do orógeno. Nesse estágio, há o predomínio de falhas e juntas, que ocorrem a partir de reativações de estruturas mais antigas, do embasamento, em direção preferencial aproximadamente N-S, o que gerou feições como grábens e bacias marginais (Lacerda Filho *et al.* 2021). Esse estágio inicial de gráben, com o aporte de material oriundo do Arco Magmático de Goiás, foi o que deu origem à Formação Piranhas (Pimentel, 2016). Esta formação é representada no presente projeto pelo Conglomerado Piranhas, que aflora em uma estreita faixa de direção N-S em um gráben inserido no Granito Ribeirão Água Limpa. A sua gênese está relacionada a deposição molássica em decorrência de um aulacógeno ordoviciano (Faria *et al.*, 1975).

A deposição da Bacia do Paraná também está relacionada a esse estágio, tendo ocorrido durante o Ordoviciano-Siluriano, em que as reativações de estruturas do embasamento gerou depressões alongadas, que controlaram a deposição dos sedimentos da Bacia do Paraná, primeiro os sedimentos do Grupo Rio Ivaí, e depois dos arenitos da Formação Furnas e transição gradual para os sedimentos mais finos da Formação Ponta Grossa (Devoniano) em

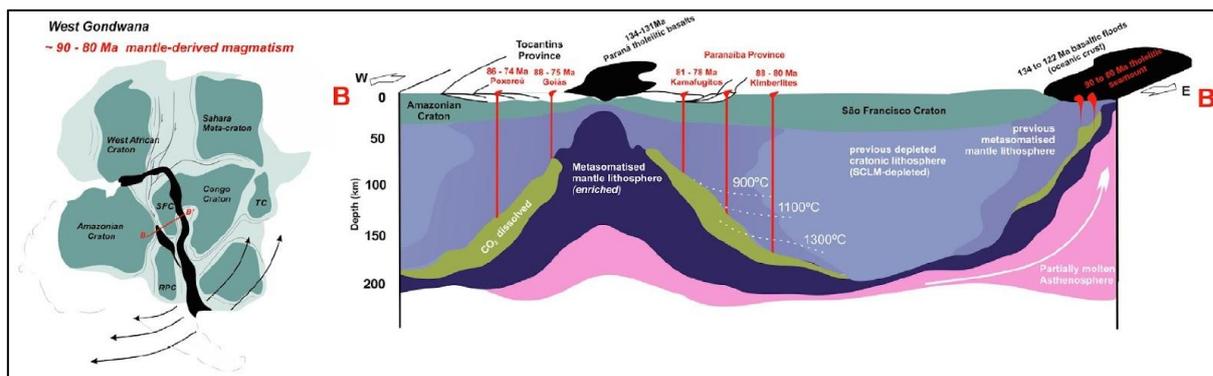
ciclos transgressivo-regressivo, ambas presentes no sul da área do Projeto Arenópolis (Lacerda Filho *et al.*, 2021).

Em relação às estruturas rúpteis presentes na área de estudo, elas podem ser correlacionadas ao Lineamento AZ 125°. Essas estruturas foram o lugar de ascensão de magmas básicos relacionados a Pluma Trindade há cerca de 90 Ma, que é o evento responsável pelos corpos alcalinos da Suíte Alcalina Arenópolis, presentes na área de estudo (Crough *et al.*, 1980; Gibson *et al.*, 1995b, 1997b; Thompson *et al.*, 1998).

### **8.5 Magmatismo alcalino**

Uma das teorias sugeridas na petrogênese do magmatismo alcalino cretáceo no Brasil decorre do modelo de plumas mantélicas, apoiando-se em evidências geofísicas (e.g Gibson *et al.*, 1999). De acordo com este modelo, a Província Alcalina de Goiás representa um local com intrusões alcalinas ao longo de uma trilha direcionada para sudeste, também chamada de Lineamento Azimute 125. Nesta interpretação, a pluma foi desviada para sul em direção à litosfera mais fina, onde gerou a Província Serra do Mar entre 85 e 55 milhões de anos (Thompson *et al.*, 1998).

Entretanto, novos modelos sugerem a origem de magmas alcalinos a partir do soerguimento do manto litosférico subcontinental metassomatizado em processo de rifteamento. De acordo com Ferreira *et al.* (2022), a fusão derivada do manto pode ser consequência de episódios de rifteamento e células convectivas do manto, ou seja, a incidência de um ponto quente ou um ponto de fusão do manto não seria necessária. Os autores propõem que a extensão litosférica pode ser o modelo mecânico mais aplicável para a geração do magmatismo alcalino e toleítico do Mesozóico na América do Sul. Esse mecanismo inclui a reativação de estruturas profundas herdadas da colagem orogênica do Neoproterozóico, atuando assim como condutos de magma ou reservatórios temporários, conforme o modelo proposto pelos autores na Figura 8.7. A colocação das províncias alcalinas em terrenos formados por processos anteriores de subducção e colagem orogênica, teriam enriquecido o manto de forma mais eficiente em CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e elementos incompatíveis (Ferreira *et al.* 2022).

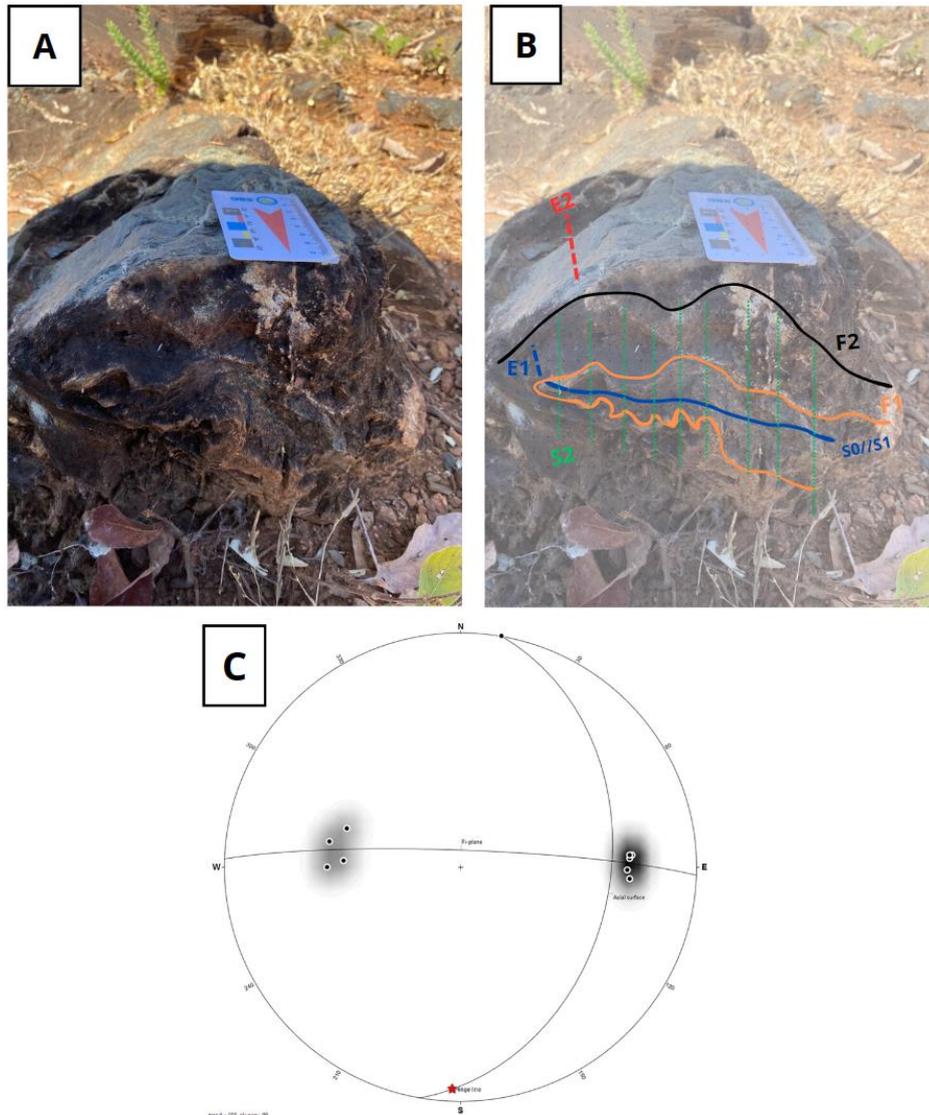


**Figura 8.7** - Modelo proposto por Ferreira *et al.* (2022) para a evolução da litosfera facilitando a colocação dos magmas toleíticos e alcalinos de aproximadamente 130 milhões e 80 milhões de anos. Adaptado de Ferreira *et al.* (2022).

### 8.6 Fases de deformação e metamorfismo

Um dos aspectos que ficaram evidentes durante o trabalho de campo do Projeto Arenópolis diz respeito a natureza polideformada da região, envolvendo feições estruturais complexas, como sobreposições, estilos de dobramentos variados, distintas gerações de foliações, lineações e fraturas. Deste modo, por meio da integração das informações de campo, foi possível construir uma concepção de eventos metamórficos e deformacionais e, logo, relacioná-los com as fases da evolução tectônica na escala do mapeamento.

O estágio de Arco Intra-oceânico (Figura. 9.3) é vislumbrado a partir de uma fase ( $D_{n-1}$ ) de natureza compressional e orientação geral E-W, responsável por gerar sistemas de empurrões, falhas oblíquas e dobramentos através do surgimento das primeiras zonas de subducção. Este cenário é estabelecido em um regime dúctil-rúptil sob condições metamórficas de fácies xisto-verde. Além disso, as superfícies iniciais ( $S_0$ ) de deposição das camadas vulcanossedimentares e edifícios vulcânicos experienciaram um primeiro evento ou fase de dobramentos ( $F_1$ ), gerando foliações plano-axiais ( $S_1$ ). Estas são então redobradas por um segunda fase de dobramentos ( $F_2$ ) que transpõe e paraleliza as superfícies  $S_0$  e  $S_1$ . Os elementos desta primeira fase de deformação são de difícil identificação em campo, porém em alguns casos é possível abstraí-los pela exibição de dobras apertadas, recumbentes, com eixos horizontais, se manifestando entre planos dos dobramentos  $F_2$  (Figura 8.9).



**Figura 8.9** - (A) Afloramento de anfibolito dobrado pertencente a Unidade Córrego do Santo Antônio (416244E/8190590S), evidenciando (B) o padrão de interferência de dobra  $F_2$  com dobra  $F_1$  e as relações de sobreposição das gerações de foliações. A foliação plano-axial  $S_2$  compõe a foliação predominante na área do projeto, enquanto a foliação  $S_1$  se mostra transposta e incluída nos planos de  $F_2$ . (C) Estereograma mostrando os pólos dos flancos da dobra  $F_2$ , bem como o seu perfil e superfície axial, além do eixo.

Ainda na fase de deformação  $D_{n-1}$ , ocorreria a amalgamação com outros sistemas de arcos intra-oceânicos, relacionados às demais sequências metavulcanossedimentares do Arco Magmático Arenópolis, e a eventual instalação de um ambiente de arco vulcânico, aqui retratado como estágio de arco continental (Figura 8.5). As condições metamórficas neste cenário conteriam padrões barrovianos mais distribuídos, com condições de facies xisto-verde a xisto-verde transicional nas frentes de subducção, podendo atingir fácies anfibolito nas porções próximas as raízes do arco continental.

Em termos estruturais, este estágio também é caracterizado pela transposição da foliação  $S_1$  a partir da interferência da fase de dobramentos ou redobramentos  $F_2$  anteriormente mencionada. Sistemas de empurrões e falhas oblíquas continuam a se manifestar devido à permanência dos esforços compressivos de direção E-W advindos das zonas de subducção em evolução. Os elementos deformacionais típicos dessa fase de dobramentos são caracterizados pela presença de foliações plano-axiais  $S_2$ , lineações em planos de falhas (*slickensides*) de caráter frontal ou oblíquo, dobras assimétricas fechadas a abertas com planos axiais normais a inclinados e eixos horizontais a fortemente inclinados. Vale ressaltar que grande parte dos estilos de dobramentos evidenciados em campo são referentes a esta fase.

Ao estágio colisional é creditado o pico metamórfico da região, onde as condições de fácies anfíbolito se tornam predominantes. Tal cenário é condizente com o principal evento tectono-metamórfico do Ciclo Brasileiro ao redor de *ca.* 630 Ma (Pimentel *et al.*, 1991a; Pimentel *et al.*, 1999) interpretado como resultante dos episódios colisionais entre o Cráton Amazônico e o Cráton do São Francisco, que a esta altura já estaria soldado ao Bloco Paraná. Além disso, esta etapa inaugura eventos transcorrentes de direção NW-SE com a implantação da fase de deformação  $D_n$  em um regime de caráter mais dúctil. A trama NW-SE é referente a principal estruturação da área do Projeto Arenópolis, onde ocorre a superposição e aproveitamento dos planos de falhamentos das fases  $F_1$  e  $F_2$  por extensas zonas de cisalhamento de caráter transcorrente associadas ao Lineamento Transbrasiliano a oeste (Lacerda-Filho *et al.*, 2021; Curto, 2015). Deste modo, as zonas de cisalhamento Piranhas, Ribeirão e Córrego da Areia seriam nucleadas neste evento. Os elementos atribuídos a esta etapa são foliações miloníticas ( $S_3$ ), dobras apertadas a isoclinais com flancos rompidos, lineações de estiramento mineral e transposição das foliações  $S_1$  e  $S_2$ .

Ao final do estágio colisional, mais precisamente na etapa de transição para o pós-colisional (Figura 8.6), se inicia um regime de natureza tardi-tectônica, com a fase de deformação  $D_{n+1}$ , caracterizada pelo início do arrefecimento termal e, conseqüentemente, a incidência de um retro-metamorfismo de fácies xisto-verde. Neste período, as zonas de cisalhamento principais iniciam a nucleação de fraturas de cisalhamento transcorrentes sintéticas e antitéticas (R e R'). Estas fraturas de cisalhamento ou falhas transcorrentes são responsáveis por imprimir a estruturação subsidiária E-W evidenciada na área do Projeto Arenópolis. Além disso, dobramentos tardios na forma de crenulações com eixos de direção aproximada NNE, afetam os planos de foliação  $S_2$  e  $S_3$ .



**Figura 8.10** - Modelo proposto para a região do Projeto Arenópolis. Destaca-se o cisalhamento regional sinistral com falhas antitéticas e sintéticas e as respectivas direções de encurtamento e estiramento.

Por fim, ao final do estágio pós-orogênico ocorreria um regime rúptil extensional  $D_{n+2}$ , com episódios de soerguimento e erosão, além da instalação da Bacia do Paraná. Neste estágio são nucleadas falhas normais e falhas direcionais.

## 9. Considerações finais

O mapeamento realizado na escala de 1:25.000 na região entre as cidades de Piranhas e Arenópolis teve como objetivo acrescentar, em maior detalhe, os aspectos petrográficos, estruturais, metalogenéticos e tectônicos da região em relação aos trabalhos desenvolvidos anteriormente. O mapeamento, no âmbito da Área IV do projeto, consistiu no detalhamento de oito unidades litológicas e suas distribuições espaciais, contribuindo para um refinamento da cartografia geológica da região.

No que diz a respeito à evolução tectônica-estrutural da área, o modelo proposto por Lacerda Filho et al. (2021) e Ferreira et al. (2022) referente a evolução do Arco Magmático Arenópolis, é espelhado na área do projeto pela deformação e magmatismo produzidos nos estágios de arco intra-oceânico (900-800 Ma), colisão arco-continente (670-600 Ma), colisional a pós-colisional (590-560 Ma) e extensional (cambriano). Os estágios de maior destaque, no âmbito da Área IV do projeto, são o de Arco Intra-oceânico, responsável pela fase Dn-1, o colisional caracterizado pela fase Dn, referente a principal estruturação, gerando a trama marcante NW-SE. Além disso, o estágio tardi-colisional a pós-colisional é o terceiro evento tectônico de importância local, que resulta na implicação na deformação Dn+1 produzindo a estruturação subsidiária E-W, bem como pela colocação do magmatismo granítico que marca as etapas finais do ciclo orogênico.

A importância de se entender os processos de sistemas formadores de minérios é cada vez maior, principalmente na indústria mineira, a fim de identificar possíveis alvos exploratórios em uma determinada área. Nesse contexto, o potencial metalogenético do Projeto Arenópolis está associado a um sistema magmático-hidrotermal. A respeito desse sistema, temos dois potenciais tipos de depósitos no âmbito do Projeto Arenópolis.

O primeiro potencial seria um possível depósito do tipo *skarn* onde foi reconhecida uma associação de rochas calcissilicáticas na extremidade sul do Granito Serra do Iran, na Área VI. Essas rochas podem ser oriundas de uma troca metassomática da intrusão do Granito Serra do Iran com rochas da Sequência MVS Arenópolis-Piranhas que apresentam lentes de mármore em diversas porções. Além disso, há ocorrências de veios de quartzo em *skarns* nas Áreas II e III que podem representar importantes vetores prospectivos para a região mineralizada, entretanto ainda não foi observada mineralização neste corpo o que vale uma investigação mais profunda a respeito desta ocorrência.

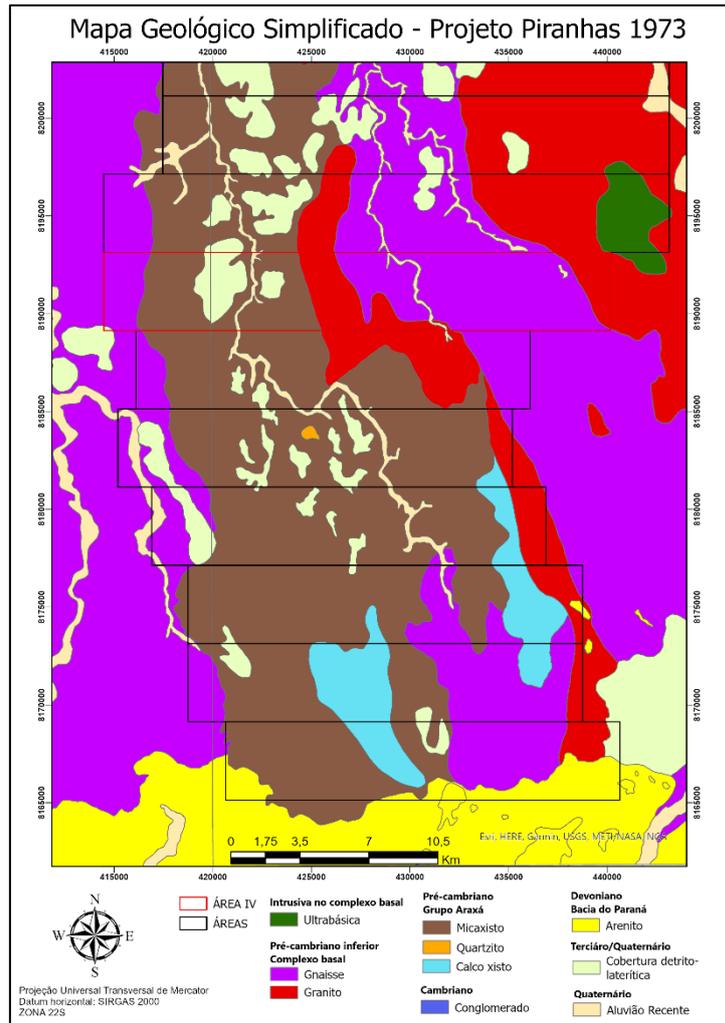
O segundo potencial seria de um depósito polimetálico do tipo VMS (volcanogenic massive sulfide) associado às ocorrências de sulfetos de ferro e pirrotita nas rochas da unidade

Córrego da Onça com maior frequência na Área IX. Recomenda-se que sejam efetuados estudos complementares com foco em anomalias e cartografia de detalhe destas ocorrências, visando investigar o seu potencial mineral. Ainda, no foco desse sistema magmático-hidrotermal, foi realizado o método Quantitative Evaluation of Minerals by Scanning Electron Microscopy (QEMSCAN) com intuito analisar de forma mais detalhada a lâmina do ponto 189 da Área IV para confirmar os componentes mineralógicos desta litologia com objetivo de localizar possíveis minérios associado a esta alteração hidrotermal. Porém, a análise constatou que não há potenciais minérios localizados nesta lâmina desta unidade hidrotermal atuante na porção oriental da Área IV.

Outro potencial econômico que vale destaque nas áreas do projeto está ligado à aplicação de minerais e rochas em produtos e processos industriais, como matérias primas, insumos ou aditivos. Nesse contexto, o Projeto Arenópolis possui mármore, talco, areias, seixos, argilas e potenciais rochas para ornamentação, como as unidades graníticas e o embasamento da Bacia do Paraná (Conglomerado Piranhas).

Em suma do objetivo principal deste mapeamento, houve uma significativa mudança na cartografia geológica da área de interesse, onde o Projeto Arenópolis realizou alterações expressivas comparado com as bases cartográficas geológicas locais preexistentes, como a do Trabalho Final de Mapeamento Geológico de 1973 – Projeto Piranhas (Fig. 9.1) de Pimentel (1985) e Lacerda Filho *et al* (2021). Entre essas alterações, o mapeamento do Projeto Arenópolis (2023) conseguiu produzir um detalhamento significativo, onde houve um aumento na diferenciação das fácies e mudanças mais precisas nas delimitações das unidades aflorantes comparado com a referência mais recente a respeito da geologia local: o mapa produzido da CPRM de direção por Lacerda Filho (Fig 9.2).

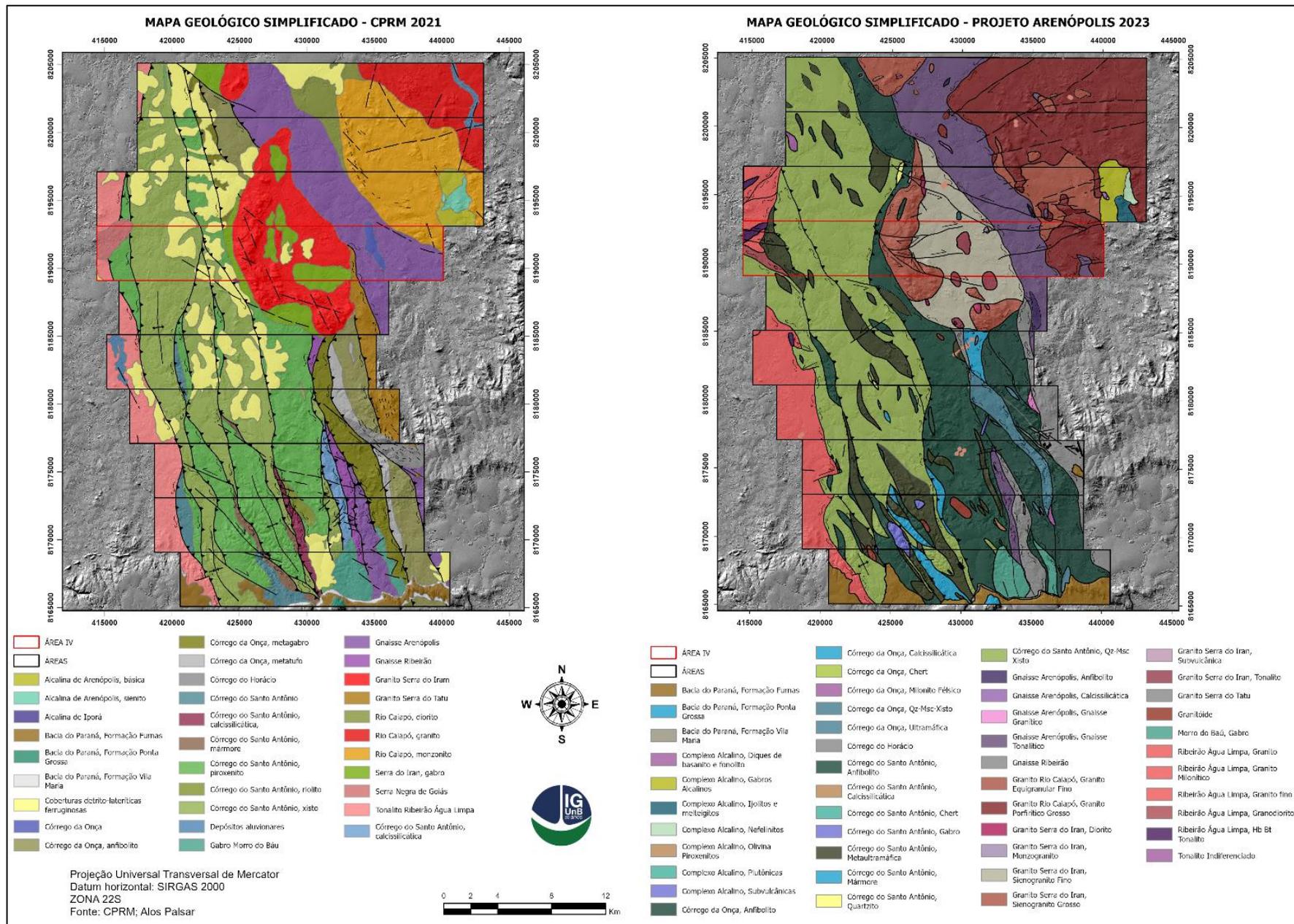
O mapa produzido pela Projeto Piranhas de 1973 (Fig. 9.1) possui menos variedades litológicas que o atual projeto, os granitos presentes não estavam bem demarcados e nem separados por unidades, a Sequência MVS Arenópolis-Piranhas estava em conjunto com o Gnaiss Arenópolis e não havia a separação de suas unidades, o Granito Ribeirão Água Limpa é denominado como gnaiss e as demais unidades não contém o atual detalhe dado como as diferenciação das fácies além que não há menções em mapa dessas litologias.



**Figura 9.1** – Mapa litológico simplificado do Projeto de Mapeamento Final (1973) com foco nas áreas do Projeto Arenópolis (2023).

O mapa geológico de Lacerda Filho (2021) apresenta o Granito Serra do Iran com apenas duas fácies, enquanto o Projeto Arenópolis diferenciou este corpo granítico em três fácies: félsica (sienogranito fino, sienogranito grosso e monzogranito), intermediária (diorito e tonalito) e subvulcânica (dacito e riolito), onde estas fácies são bastante evidentes nesta quarta área do projeto. Além disso, todas as outras unidades receberam mais detalhamento resultando no diferenciamento de fácies. A carta destes autores tem registrado a ocorrência da unidade Granito Serra Negra na parte ocidental da Área IV, mas em campo não houve registros que trouxessem evidências dessa rocha ígnea na porção oeste da Área IV em contato com o Granito Ribeirão Água Limpa. A partir do exposto, é possível ver que existem divergências em alguns aspectos litológicos. Portanto, para aprimoramento das delimitações das unidades presentes recomenda-se: a realização de estudos com maior nível de detalhamento petrogenético, além de métodos geofísicos e uma caracterização da assinatura de mais detalhe

geoquímica/geocronológica das rochas pertencentes aos diferentes estágios do Arco Arenópolis. Realizando estas técnicas não apenas se terá conhecimento petrográfico e evolutivo da região, como também sobre o potencial econômico investigando de forma mais profunda estes possíveis alvos exploratórios.



**Figura 9.2** – Comparação entre o mapa gerado pela CPRM (Lacerda Filho et al, 2021) e o mapa confeccionado pelo Projeto Arenópolis da mesma área.

## 10. Referências Bibliográficas

- 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.
- ATHERTON, M. P.; GHANI, A. (2002). Slab breakoff: A model for Caledonian, Late Granite syn-collisional magmatism in the orthotectonic (metamorphic) zone of Scotland and Donegal, Ireland. *Lithos*. 62. 65-85. 10.1016/S0024-4937(02)00111-1.
- BARBOSA, Márcia Ferreira. Exploração de rochas ornamentais no município de Piranhas-GO. Orientador: Nelson Ribeiro Gomes. (2010). 35 f. TCC (Graduação) - Curso de Geografia. Universidade Estadual de Goiás, UnU – Iporá.
- BATISTA, J.; Arcanjo, A. (2011). FOTOGEOLOGIA Conceitos, métodos e aplicações. (pp. 13-135)
- 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.
- BRITO NEVES, B. B. (2002). Main Stages of the Development of the Sedimentary Basins of South America and their Relationship with the Tectonics of Supercontinents, *Gondwana Research*, v. 5, p. 175-196, ISSN 1342-937X.
- BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R.A.; PIMENTEL, M.M. 2014. The Brasiliano collage in South America: a review. *Brazilian Journal of Geology*, v. 44(3), p. 493-518.
- CAMPOS-NETO M.C. (2000). Orogenic systems from southwestern Gondwana. In: U.G. Cordani, E.J. Milani, A. Thomaz Filho, D.A. Campos. eds. 2000. *Tectonic evolution of South America*. Rio de Janeiro, 31st Int. Geol. Congr. p. 335-365.
- CARNEIRO, J. S. M.; MENEGHINI, P. F. V. B. (2020). Carta Geológica, Folha Piranhas. Escala 1:100.000. Serviço Geológico do Brasil - CPRM. Programa Novas Fronteiras - Levantamento Geológico e Potencial de Novas Fronteiras. Projeto Oeste de Goiás. Mapa col.
- CARNEIRO, J.; Fuck, R.; Dantas, E. L. (2021). Arenópolis sequence, evolution of a marginal basin in the Neoproterozoic Goiás magmatic arc, Central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, Volume 106, 2021, 103033, ISSN 0895-9811.

CARNEIRO, J. S. M. (2019). Sequência Arenópolis-Piranhas: evolução de bacia marginal ao Arco Magmático de Goiás. (2019). Dissertação (Mestrado em Geologia) — Universidade de Brasília, Brasília.

CORDANI, J. U.; SATO, K.; TEIXEIRA, W.; TASSINARI, C. C. G.; BASEI, M. A. S. (2000). Crustal Evolution of South America Platform. 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.

Cordani, U.; Brito-Neves, B.; D'Agrella-Filho, M.S. (2002). From Rodinia to Gondwana: A Review of the Available Evidence from South America. *Gondwana Research*. 6. 275-283. 10.1016/S1342-937X (05)70976-X.

Cordani, U.; D'Agrella-Filho, M.S.; & Brito-Neves, B.; Trindade, R. (2003). Tearing-up Rodinia: the Neoproterozoic paleogeography of South American cratonic fragments. *Terra Nova*. 15. 350 - 359. 10.1046/j.1365-3121.2003.00506. x.

Cordani, U.; & Neves, B.B. (1982). The geologic evolution of South America during the Archean and Early Proterozoic. *Revista Brasileira de Geociências*. 12. 78-88.

CURTO, B. C. M. J. (2015) O Lineamento Transbrasileiro na Bacia do Paraná: Compartimentação Crustal do Embasamento e Reativações Fanerozóica. Dissertação (Doutorado em Geologia) — Universidade de Brasília, Brasília.

DANNI, J. C. M.; FUCK, R. A.; LEONARDOS, O. H. (1976). Geologia e petrografia da Intrusão Ultramáfica-Alcalina de Arenópolis, Goiás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29., Ouro Preto. Anais [...] Ouro Preto: SBG, 1976. v. 2, p. 265-271.

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.

DAVIES, J. & BLANCKENBURG, F. (1995). Slab breakoff: A model of lithosphere detachment and its test in the magmatism and deformation of collisional orogens. *Earth and Planetary Science Letters*. 129. 85-102. 10.1016/0012-821X (94)00237-S.

Dendith, M., & Mudge, S. (2014). *Geophysics for the Mineral Exploration Geoscientist*. Cambridge: Cambridge University Press (pp. 85-127). doi:10.1017/CBO9781139024358.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Súmula das 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).

FARIA, A. de; FUCK, R.A.; VELOSO, J.A.V.; HIRSON, J. da R.; MARINI, O.J.; ANDRADE, G.F. de; FONSECA, M.R.C.B. (1975). Projeto Piranhas. Convênio DNPM/FUB, Brasília, v. 1, 143 p.

FARIA, A.; FUCK, R. A.; VELOSO, J. A. V.; HIRSON, J. R.; MARINI, O. J.; ANDRADE, G. F.; FONSECA, M. R. C. B. Projeto Piranhas. Relatório final. (1975). 143 p. Trabalho Final de Graduação - – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília.

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

FERREIRA, A.C.D; CONCEIÇÃO, R.V; MIZUSAKI, A.M.P. (2022). Magmatismo alcalino e toleítico do Mesozoico ao Cenozoico relacionado à ruptura e dispersão de Gondwana Ocidental. *Gondwana Research* 106 (2022) 15–33.

Fonseca, M. A; Dardenne, M. A; Uhlein, A. (1995). Faixa Brasília Setor Setentrional: Estilos Estruturais e Arcabouço Tectônico. *Revista Brasileira de Geociências*. 25(4):267-278, dezembro de 1995.

FRASCA, A.A.S. (2015). Amálgamas do W-Gondwana na província Tocantins. Tese de Doutorado.

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

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

GUY, H. Quelques principes et quelques experieuces sur la methodologie de la photo-interpretation. In: SYMPOSIUM INTERNATIONAL DE PHOTO--INTERPRETATION, 2, 1966, Paris. Acte... Paris: |s.n.|, 1966 p.21-41.

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

HATTINGH, K. Magmatismo com tendência adakítica de alto K no Arco Magmático de Arenópolis. XI Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia. XVII Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos. 26 a 29, Maio 2019, Bento Gonçalves - RS - Brasil

- INPE, 2023. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. CBERS. Disponível em < <http://www.cbbers.inpe.br/sobre/cbbers04a.php>>. Acesso em 19 dezembro 2023.
- Isles, David and Rankin, Leigh R. (2013). Geological Interpretation of Aeromagnetic Data. Australian Society of Exploration Geophysicists. E-book (pp. 25-176).
- JACQUES A.L., WELLMAN P., WHITAKER A., WYBORN D. (1997). High-resolution Geophysics in Modern Geological Mapping. AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics, 17(2): 159- 173.
- JAXA/METI ALOS PALSAR RT1. (2007). Accessed through ASF DAAC 19 Dec 2023.
- JUNQUEIRA-BROD, T. C.; ROIG, H. L.; GASPAR, J. C.; BROD, J. A.; MENESES, P. R. A. (2002). Província Alcalina de Goiás e a Extensão do seu Vulcanismo Kamafugítico. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 32, n. 4, p. 559-566.
- JUNQUEIRA, B. T. C.; ROIG, H. L.; GASPAR, J. C.; BROD, J. A.; MENESES, P. R. A. Província Alcalina de Goiás e a Extensão do seu Vulcanismo Kamafugítico. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 32, n. 4, p. 559-566, 2002.
- Korb, A. R., Dybwad, P., Wadsworth, W., and Salisbury, J. W. (1996). Portable FTIR spectrometer for field measurements of radiance and emissivity: Applied Optics, v. 35, p. 1679-1692.
- LACERDA FILHO, J. V.; SANTOS, D. R. V.; MENEGHINI, P. F. V. B.; MARTINS, F. R.; SOUZA, J. O.; CARNEIRO, J. S. M.; GOLLMAN, K. (2021). Programa Levantamentos Geológicos e de Potencial Mineral de Novas Fronteiras. Projeto Geologia e Metalogenia da Porção Oeste de Goiás (Projeto Oeste de Goiás).
- LASA, 2004. Levantamento Aerogeofísico do Estado de Goiás – 1ª Etapa – Convênio SGM/TM / MME / SIC / SGM / FUNMINERAL – Arco Magmático de Arenópolis – Relatório Final do Levantamento e Processamento dos dados Magnetométricos e Gamaespectrométricos – Volume I – Texto Técnico – 2004. LASA Engenharia e Prospecções. 57p.
- LUZ, A. B.; Lins, F. A. F. (2008). Rochas & Minerais Industriais. 2.Ed. - Rio de Janeiro: CETEM/MCT.
- MENESES, P.R.; Almeida, T. (2012). Introdução ao processamento de imagens de Sensoriamento Remoto. 1. ed. Brasília: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 2012. v. 1. 266p.
- MILANI, E. J. (1997). Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental. 1997. 2 v. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MILANI, E.; Ramos, V. (1998). Orogenias paleozóicas no domínio sul-ocidental do Gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*. 28. 473–484. 10.25249/0375-7536.1998473484.

MILANI, E.; Rangel, H.; Bueno, G.; Stica, J.; Winter, W.; Caixeta, J.; Neto, O. (2007). Bacias Sedimentares Brasileiras - Cartas Estratigráficas. *Boletim de Geociências da Petrobras*. 15. 183-205.

MILANI, E. (2004). Comentários sobre a origem e a evolução tectônica da Bacia do Paraná. In: Mantesso-Neto V., Bartorelli, a., Carneiro C.D.R., Brito-Neves B.B. (org). *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flavio Marques de Almeida*. São Paulo. 265-279.

NASCIMENTO, E. L. C. (2018). Geologia, geoquímica e mineralogia do Complexo Carbonatítico Morro Preto-GO. 2018. 204 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, UnB, Brasília.

NASA LP DAAC (2015). ASTER Level 1 Precision Terrain Corrected Registered At-Sensor Radiance V003 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center. [https://doi.org/10.5067/ASTER/AST\\_L1T.003](https://doi.org/10.5067/ASTER/AST_L1T.003)

NEVES, B. B.; FUCK, R. A. (1981). Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth-Science Reviews*, 17(1-2), 1-29. p.195-229. Paulo, BECA, p. 487-536. (Cap. 29).

PENA, G. S.; FIGUEIREDO, A. J. A. (1972) Projeto Alcalinas – Relatório Final. Goiânia: DNPM/CPRM, 1972. 143 p. (Conv. DNPM/CPRM).

PEREIRA, E.; CARNEIRO, C. D.; BERGAMASCHI, S.; ALMEIDA, F. F. M. (2010). Evolução das Sinécleses Paleozóicas: Províncias Solimões, Amazonas, Parnaíba e Paraná. In: HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D.; ALMEIDA, F. F. M.; BARTORELLI, A. (eds.). *Geologia do Brasil*, 2010. p. 374-395.

PIMENTEL M.M., FUCK R.A., JOST H., FERREIRA FILHO C.F., ARAÚJO S.M. (2000). The basement of the Brasília fold belt and the Goiás Magmatic Arc. In: Cordani U.G., Milani E.J., Thomaz Filho A., Campos D.A. (eds.) *Tectonic Evolution of South America*. International Geological Congress, 31st, Rio de Janeiro, p. 195-230.

PIMENTEL, M. M. (1985). A Sequência Vulcano-sedimentar de Arenópolis-GO: petrologia ígnea e metamórfica, contexto geotectônico e considerações metalogenéticas preliminares. 1985. 188 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília – UnB, Brasília.

PIMENTEL, M. M., FUCK, R. A., JOST, H., FERREIRA FILHO, C. F., ARAÚJO, S. D. (2000). The basement of the Brasília fold belt and the Goiás magmatic arc. In *Tectonic*

Evolution of South America. 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro (Vol. 195-229).

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

PIMENTEL, M. M.; DARDENNE, M. A.; FUCK, R. A.; VIANA, M. G.; JUNGES, S. L.; FISCHER, D. P., SEER, H. J.; DANTAS, E. L. (2001). Nd isotopes and provenance of the detrital sediments of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil. *Journal South America Earth Science*, v. 14, n. 6, p. 571-585.

PIMENTEL, M. M.; FUCK, R. A. (1994). Geocronologia Rb-Sr da porção Sudoeste do Maciço de Goiás. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 104-111.

PIMENTEL, M. M.; FUCK, R. A. (1986). Geologia da Sequência Vulcano-sedimentar de Arenópolis (GO). *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 16, n. 2, p. 217-223.

PIMENTEL, M. M.; FUCK, R. A. (1987b). Late Proterozoic Granitic Magmatism in Southwestern Goiás, Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 17, n. 4, p. 415-425.

PIMENTEL, M. M.; FUCK, R. A. (1987a). Origem e evolução das rochas metavulcânicas e metaplutônicas da região de Arenópolis (GO). *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 2-14.

PIMENTEL, M. M.; FUCK, R. A.; ALVARENGA, C. J. S. (1996b). PostBrasiliano (Pan-African) high-K granitic magmatism in Central Brazil: the role of Late Precambrian-early Palaeozoic extension. *Precambrian Research*, v. 80, p. 217-238.

PIMENTEL, M. M.; FUCK, R. A.; BOTELHO, N. F. (1999). Granites and the geodynamic history of the neoproterozoic Brasília belt, Central Brazil: a review. *Lithos*, v. 46, n. 3, p. 463-483.

PIMENTEL, M. M.; FUCK, R. A.; CORDANI, U. G.; KAWASHITA, K. (1985). Geocronologia de rochas graníticas e gnáissicas da região de Arenópolis-Piranhas, Goiás. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 15, n. 1, p. 3-8.

PIMENTEL, M. M.; HOLLANDA, M. H. B. M.; ARMSTRONG, R. (2003). Shrimp U-Pb age and Sr-Nd isotopes of the Morro do Baú mafic intrusion: implications for the evolution of the Arenópolis volcano-sedimentary sequence, Goiás Magmatic Arc. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 75, n. 3, p. 331-339.

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. (2000a). Geology of the central part of the Tocantins Province: Implications for the geodynamic history of the Brasília belt. In: Cordani, U.G.; Milani, E.J.; Thomaz Filho, A.; Campos, D.A. (Eds), *Tectonic Evolution of South America*. 31st International Geological congress. Rio de Janeiro.

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

REIS, Humberto & Alkmim, Fernando & Fonseca, Renato & Nascimento, Thiago & Suss, João & Prevatti, Lúcio. (2017). The São Francisco Basin. In: *Tectonic Genealogy of a Miniature Continent*, 11-143.

REIS, H.; Alkmim, F. (2015). Anatomy of a basin-controlled foreland fold-thrust belt curve: The Três Marias salient, São Francisco basin, Brazil. *Marine and Petroleum Geology*. 10.1016/j.marpetgeo.2015.07.013. *Rev. Bras. Geociências* 19 (1): 6-26.

ROBB, L. (2005) *Introduction to Ore-Forming Processes*. Blackwell Publishing, Hoboken.

RODRIGUES, J. B.; GIOIA, S. M. C. L.; PIMENTEL, M. M. (1999) Geocronologia e Geoquímica de ortognaisses de Região entre Iporá e Firminópolis: Implicações para a Evolução do Arco Magmático de Goiás. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 29, n. 2, p. 207-216.

SILVA, M. G. (2014) *Metalogênese das províncias tectônicas brasileiras / Organizadores Maria da Glória da Silva, Manoel Barretto da Rocha Neto, Hardy Jost [e] Raul Minas Kuyumjian*. – Belo Horizonte: CPRM, 2014. 589 p.

Teixeira A.L., Gaucher C., Paim P.S.G., Fonseca M.M.da, Parente C.V., Silva Filho W.F.da, Almeida A.R.de. (2004). Bacias do estágio da transição da Plataforma Sul-Americana. In: Mantesso-Neto V., Bartorelli NA., Carneiro C.D.R., Brito-Neves B.B.B. (orgs.) 2004. *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*.

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: PANKHURST, R. J.; TROUW, R. A. J.; BRITO NEVES, B. B.; DE WIT, M. J. (eds.) West Gondwana: Precenozoic Correlations across the South Atlantic Region. London: Geological Society, 2008.p. 197-210. (Special Publications, 294).

Weinberg, R.; Vernon, R.; Schmeling, H. (2021). Processes in Mushes and Their Role in the Differentiation of Granitic Rocks. Earth-Science Reviews. 220. 10.1016/j.earscirev.2021.103665.

Código da Lâmina: TF-IV-201

Unidade: Granito Rio Caiapó

Coordenadas: 22S 439657E 8192164S

### Descrição macroscópica

Esta amostra tem textura inequigranular (porfírica), por vezes granular com granulometria média a grossa e isotrópica. Os sienogranitos são compostos por cristais centimétricos de feldspato potássico (podendo alcançar até 5 centímetros) em uma matriz composta por quartzo, plagioclásio, biotita e pouco anfibólio. Contém um veio alcalino cortando a amostra.

### Foto Macroscópica



### Descrição microscópica

#### Minerais Essenciais (%)

Quartzo	15%
Plagioclásio	20%
Feldspato	40%
Biotita	7%
Hornblenda	3%
Muscovita	5%

#### Minerais Acessórios (%)

Zircão e titanita	2%
Opacos	3%

#### Minerais Secundários (%)

Sericita	5%

### Descrição Microscópica

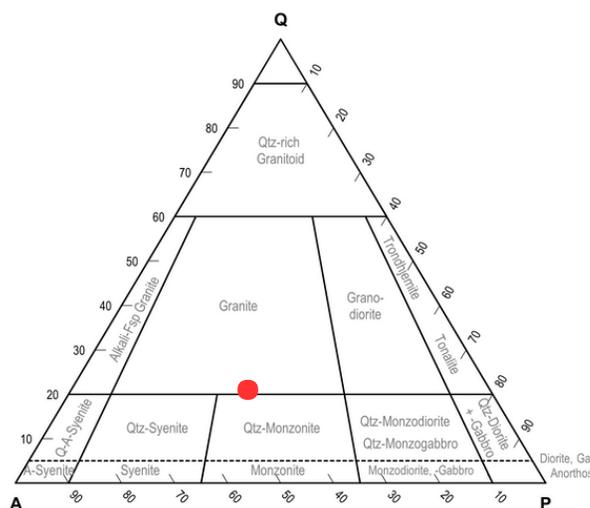
Orientada

A matriz da rocha é de granulometria média e apresenta um padrão em mosaico interconectado, com contatos suturados, migração de bordas de grãos, bordas irregulares e alteradas, indicando um estado de deformação sobreposto a textura magmática.

O feldspato alcalino presente como fenocristais é o microclínio (30%) e ortoclásio (10%). O microclínio apresenta, frequentemente, lamelas de exolução de plagioclásio, formando micropertitas, bem como frequentes inclusões deste mineral, além de quartzo e placas de sericita. As inclusões de plagioclásio geralmente apresentam bordas de alteração. O ortoclásio é um mineral de aspecto límpido e apresenta geminação simples do tipo carlsbard.

O plagioclásio (20%) está presente na matriz da rocha e contém sua típica geminação polissintética e se apresentam intensamente alterados, com aspecto sujo e inclusões de mica fina. Assim como no feldspato alcalino, é comum observar bordas alteradas para sericita nesses minerais. Os cristais de quartzo (15%) são distinguidos dos de plagioclásios pela ausência do aspecto turvo e pela extinção ondulante não raramente observada. Ocorrem, também, disseminados na matriz da rocha, muscovita com bordas alteradas (5%) e clorita (5%), esta última interpretada como produto de alteração de biotita. Além disso, é observado epidoto ocorrendo de forma intersticial. Os minerais acessórios são basicamente minerais opacos (3%), zircão e titanita (2%).

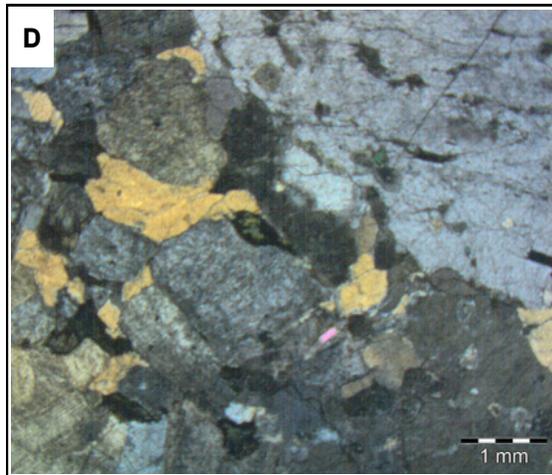
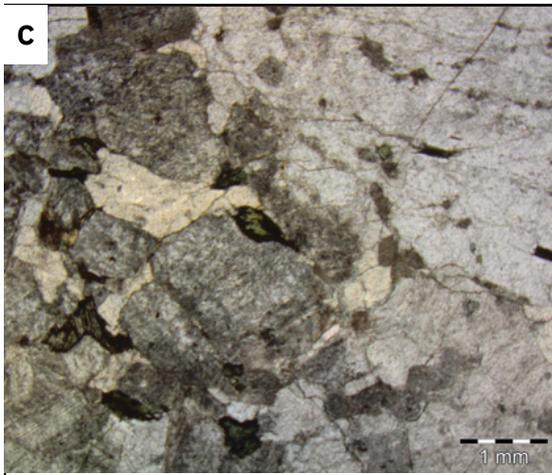
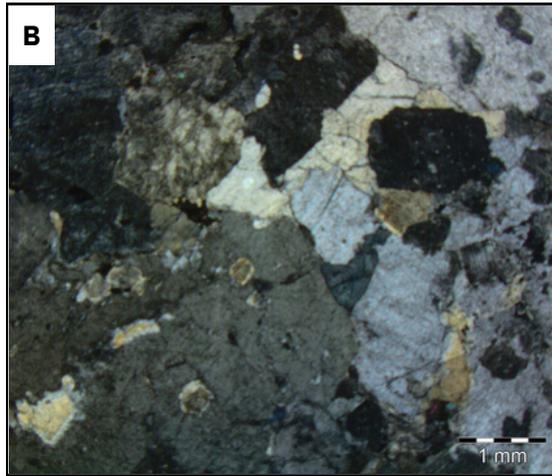
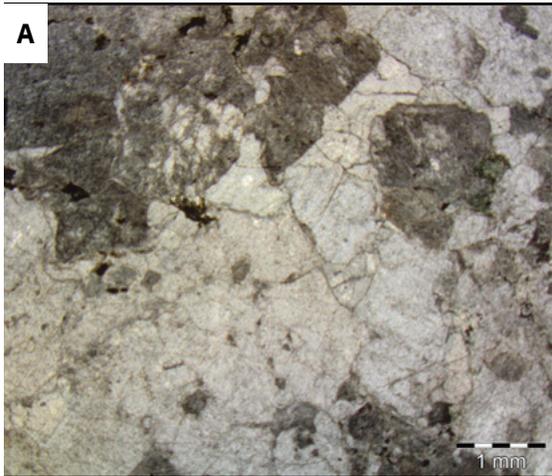
### Diagrama Composicional



**Classificação da Rocha:** Sienogranito



## Micrografias



### Legenda Micrografias

**A** - Fotografia a nicóis paralelos sobre a lente de 4x.

**B** - Fotografia a nicóis paralelos sobre a lente de 4x.

**C** - Fotografia a nicóis paralelos sobre a lente de 4x.

**D** - Fotografia a nicóis cruzados sobre a lente de 4x.

## Interpretações

Tem textura petítica que se apresenta de modo que o plagioclásio está dentro do Kf. Esta é uma reação de exsolução entre a albita e o Kf onde a baixa a temperatura e faz a separação do domínio rico em Na e do K, onde uma fase deixa de ser miscível na outra.

A hornblenda está alterando para a biotita pelo processo de biotitização.



**Código da Lâmina:** TF23-IV-P67

**Unidade:** Granito Serra do Iran

**Coordenadas:** 22S 426964E 8190316S

**Descrição macroscópica:**

Esta amostra é uma rocha ígnea plutônica que contém textura granular, coloração cinza, fanerítica, holocristalina, mesocrática com granulação média. Composto por quartzo, plagioclásio, hornblenda, piroxênio e biotita. É possível ver que os cristais de hornblenda e piroxênio estão bastante alterados.

**Foto Macroscópica**



**Descrição microscópica**

**Minerais Essenciais (%)**

**Minerais Acessórios (%)**

**Minerais Secundários (%)**

Minerais Essenciais (%)		Minerais Acessórios (%)		Minerais Secundários (%)	
Quartzo	5	Opacos	10		
Plagioclásio	40				
Biotita	20				
Hornblenda	5				
Ortopiroxênio	20				

**Descrição Microscópica**

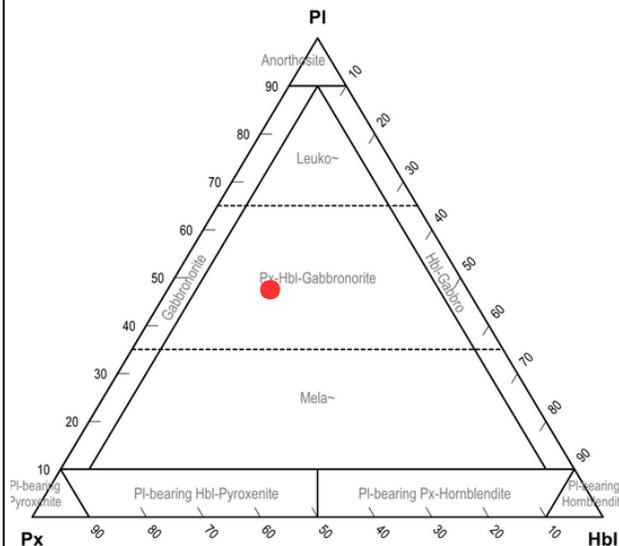
**Orientada**

Rocha máfica, equigranular de textura granular, granulometria fina a média, holocristalina. É caracterizada pela presença de cristais de plagioclásio pobremente alinhados em uma massa alterada de clinopiroxênio intersticial, indicando a presença de uma textura subofítica reliquiar. Cristais de biotita e mais subordinadamente hornblenda e quartzo, também são observados compondo o arcabouço intergranular da rocha.

Os cristais de plagioclásio (40%, An45-60) são xenomórficos a hipidiomórficos, compõe a maioria dos grãos do arcabouço da rocha e apresentam geminações polissintéticas e zonamentos composicionais com núcleos sericitizados, conferindo-lhes um característico aspecto turvo. O piroxênio (20%) é interpretado como augita, devido as altas cores de interferência, pleocroísmo verde a marrom pálido e extinção inclinada. Os cristais são, na maioria, xenomórficos e mais raramente granulares, apresentando um aspecto sujo de alteração que mascaram as clivagens. Porém, em algumas seções basais é possível identificar as clivagens de 90.º típicas dos piroxênios.

A biotita (20%) apresenta um caráter mais hipidiomórfico, com hábitos placosos e distinto pleocroísmo em tons de marrom. Além disso, é frequente apresentarem inclusões de quartzo, plagioclásio e opacos, indicando que estes minerais provavelmente atingiram suas etapas finais de crescimento antes das biotitas. A hornblenda (5%) são cristais xenomórficos, ocorrem de forma subordinada e associada as biotitas, inclusive contendo inclusões destas. Raramente é observado o quartzo (5%) e quando o é, geralmente este ocorre como inclusões em outros minerais ou como grãos xenomórficos interconectados com o plagioclásio. Os minerais acessórios são titanitas e opacos, como a magnetita (10%).

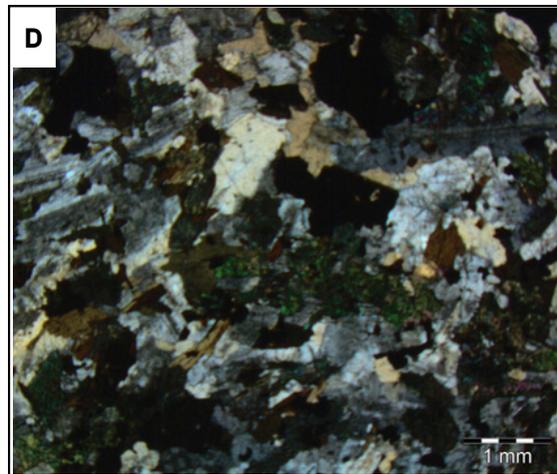
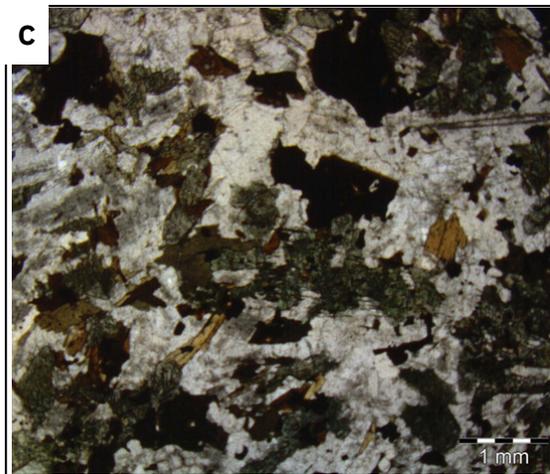
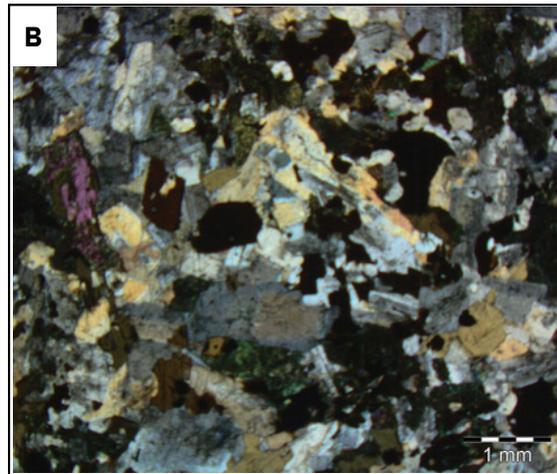
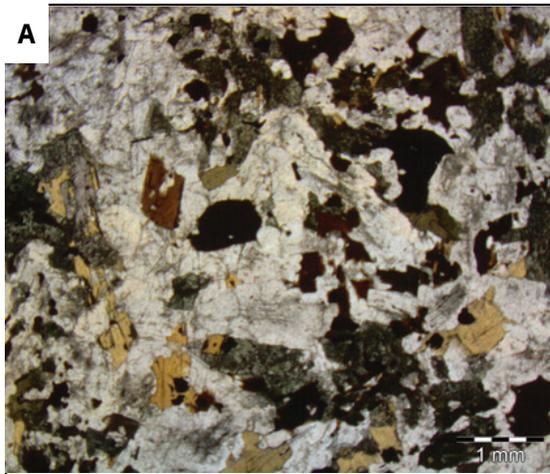
**Diagrama Composicional**



**Classificação da Rocha:** Piroxênio hornblenda gabro



## Micrografias



### Legenda Micrografias

- |   |
|---|
| <b>A</b> - Fotografia a nicóis paralelos sobre a lente de 4x. |
| <b>B</b> - Fotografia a nicóis cruzados sobre a lente de 4x.  |
| <b>C</b> - Fotografia a nicóis paralelos sobre a lente de 4x. |
| <b>D</b> - Fotografia a nicóis paralelos sobre a lente de 4x. |

## Interpretação e Discussão

A rocha está em desequilíbrio químico onde é possível observar a biotita originada de hornblenda (avermelhada) e a biotita ígnea (mais amarelada).

O mineral de birrefringência alta trata-se de um clinopiroxênio que alterou por meio de uralitização e está sofrendo processo de biotitização (é possível encontrar cristais castanhos de biotita no meio dessa alteração). Há hornblenda que também está passando pro processos de alteração.

Os piroxênios prismáticos estão englobam ripas de plagioclásio.

Os contatos entre a fração quartzo-feldspática e o piroxênio são, no geral, irregulares, mostrando a interferência entre bordas com altas energias superficiais dos cristais durante as suas etapas finais de crescimento. Já os contatos com as bordas das placas de biotita e hornblenda, preservam mais as características das suas faces planares, refletindo a suas relativas baixas energias superficiais durante o crescimento no líquido.



**Código da Lâmina:** TF23-IV-P78

**Unidade:** Granito Serra do Iran

**Coordenadas:** 22S 424981E 8189686S

**Descrição macroscópica:**

Rocha subvulcânica de coloração cinza, textura porfírica e matriz de granulação fina determinada por fenocristais de plagioclásio e biotita imersos em uma matriz fina de quartzo e plagioclásio.

**Foto Macroscópica**



**Descrição microscópica**

**Minerais Essenciais (%)**

**Minerais Acessórios (%)**

**Minerais Secundários (%)**

Plagioclásio	45%	Opacos	5%		
Quartzo	35%				
Biotita	5%				
Hornblenda	5%				
Feldspato	5%				

**Descrição Microscópica**

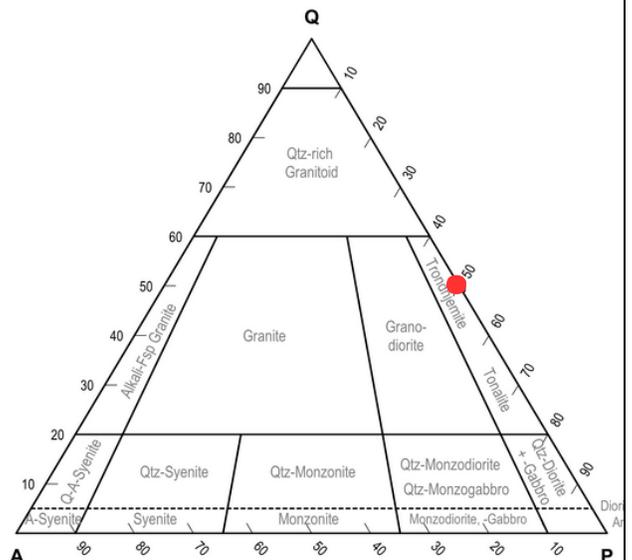
**Orientada**

Rocha de textura porfírica (inequigranular bimodal) com fenocristais de plagioclásio zonado, alguns com geminação polissintética, saussuritização com até 0,5 cm de comprimento. A granulação é fina e a matriz composta predominantemente por cristais xenomórficos de quartzo e plagioclásio. As vezes tem alguns cristais de plagioclásio com a geminação albita-carlsbad com zonação na margem (parte sódico no centro e cálcico na margem).

O plagioclásio (45%, An 20-30) ocorre como fenocristais prismáticos e como cristais xenomórficos na matriz. Os fenocristais de plagioclásio frequentemente apresentam zonação composicional e geminação polissintética e se encontram com bordas corroídas, podendo estar saussuritizados no centro.

O quartzo (35%) é o principal componente da matriz, ocorrendo como cristais xenomórficos com bordas irregulares. A hornblenda (5%) se apresenta como cristais irregulares xenomórficos, frequentemente oxidados e ocorrem disseminados na matriz, mas também como aglomerados de cristais granulares com pleocroísmo verde a verde-pálido. Em conjunto com a a hornblenda, ocorrem biotita (5%) bastante oxidadas de coloração avermelhada. O feldspato potássico (5%) ocorre disseminado na matriz e é de difícil identificação devido à baixa presença de geminações. Minerais opacos (5%) também são observados de forma disseminada.

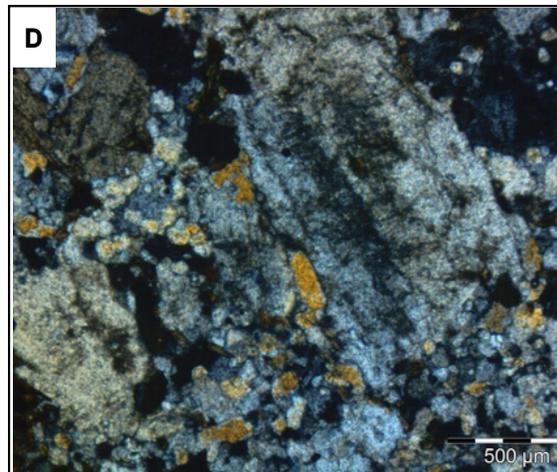
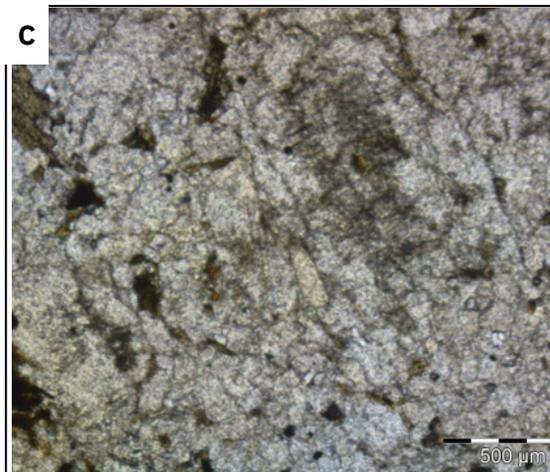
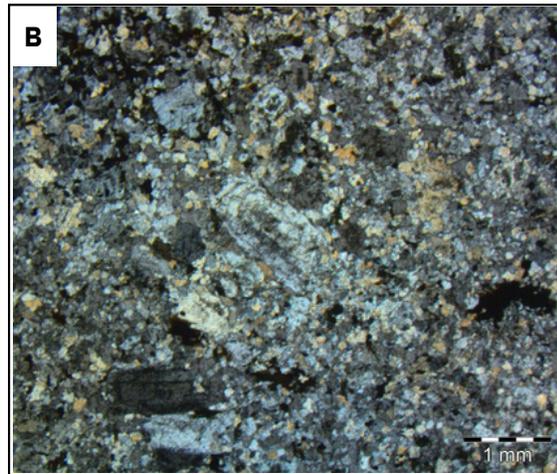
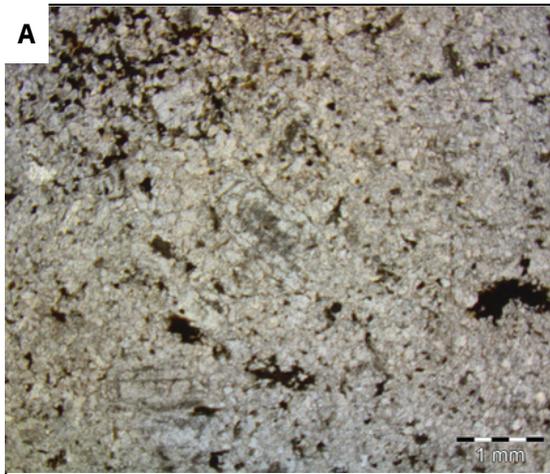
**Diagrama Composicional**



**Classificação da Rocha:** Subvulcânica de composição tonalítica



## Micrografias



Legenda Micrografias

**A** - Fotografia a nicóis paralelos sobre a lente de 1.25x.

**B** - Fotografia a nicóis paralelos sobre a lente de 1.25x.

**C** - Fotografia a nicóis paralelos sobre a lente de 4x.

**D** - Fotografia a nicóis cruzados sobre a lente de 4x.

## Interpretação e Discussão

A rocha trata-se de uma rocha subvulcânica devido a presença de fenocristais de tamanho centimétrico de plagioclásio em uma matriz de granulação fina.

A intensa saussuritização nas porções de centro em contraste com o aspecto límpido das porções externas destes fenocristais, podem indicar um núcleo mais cálcico envolto por frações de composição mais sódica que por sua vez apresentam uma borda de reação mais externa.



**Código da Lâmina:** TF23-AIV-P65

**Unidade:** Serra do Iran

**Coordenadas:** 22S 427197E 8189407S

**Descrição macroscópica:**

A amostra é um granito leucocrático, textura equigranular, rosado, isótropo, de granulação fina a média, composto por quartzo, feldspato potássico, plagioclásio e biotita.

**Foto Macroscópica**



**Descrição microscópica**

**Minerais Essenciais (%)**

**Minerais Acessórios (%)**

**Minerais Secundários (%)**

Plagioclásio	20%	Titanita	3%	Clorita	3%
Feldspato	40%	Apatita	1%		
Quartzo	20%				
Biotita	10%				
Hornblenda	5%				

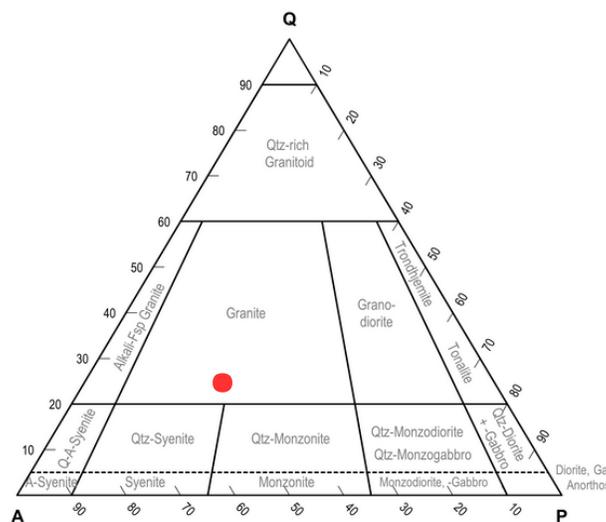
**Descrição Microscópica**

**Orientada**

Rocha plutônica, holocristalina, textura equigranular com granulometria variando de média a fina, cujo o arcabouço é composto por kf micropertítico. O contato entre os grãos são, geralmente, interconectados.

O feldspato alcalino é classificado como microclínio (40%). Contém micropertitas e mais raramente geminação cruzada (tartan). Alguns mostram inclusões de plagioclásio e quartzo, indicando que tais minerais inclusos podem ter atingido seus estágios finais de crescimento antes dos cristais hospedeiros, no caso, os microclínios. O plagioclásio (20%, An 30-50) se encontra em estado de alteração avançado com aspecto turvo, inclusões de mica branca, mostram zonação composicional com núcleos sericitizados e geminação possilistética. O quartzo (20%) é um dos minerais do mosaico granular da rocha e ocorrem interconectados ao feldspato. Já a biotita (10%) e a hornblenda (5%) ocorrem como pequenas placas isoladas e intersticiais em meio ao mosaico quartzo-feldspático e geralmente estão em processo de alteração para a clorita (3%). Titanita (3%) e apatita (1%) ocorrem como minerais acessórios.

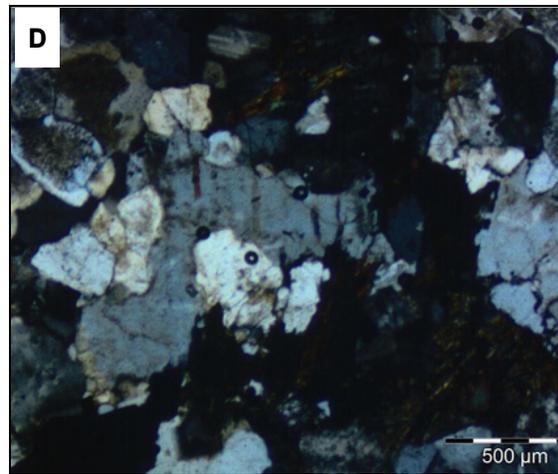
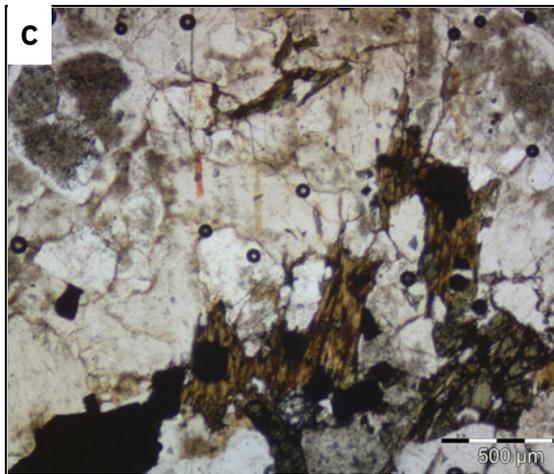
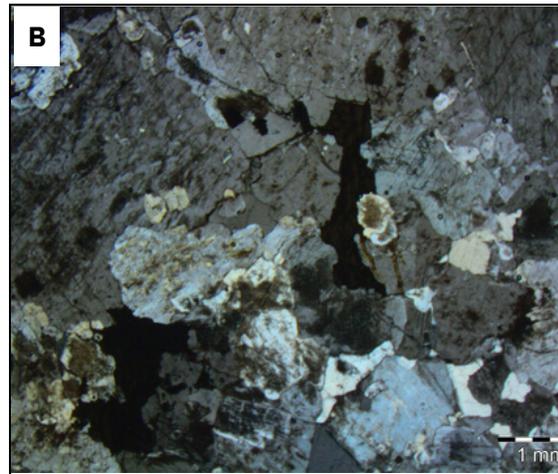
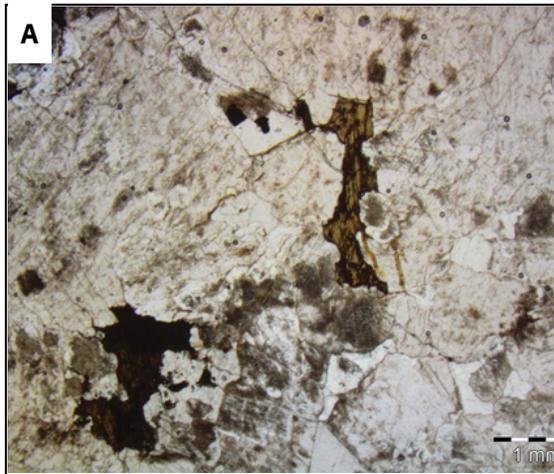
**Diagrama Composicional**



**Classificação da Rocha:** Sienogranito



## Micrografias



Legenda Micrografias

**A** - Fotografia a nicóis paralelos sobre a lente de 1.25x.

**B** - Fotografia a nicóis cruzados sobre a lente de 1.25x.

**C** - Fotografia a nicóis paralelos sobre a lente de 4x.

**D** - Fotografia a nicóis cruzados sobre a lente de 4x.

## Interpretação e Discussão

Os cristais desse mosaico granular são interconectados por contatos irregulares, com bordas lobadas e embainhamentos, indicando mútua interferência entre cristais individuais durante as etapas finais de cristalização que, por sua vez, impediram o desenvolvimento de faces planares e poligonais.



**Código da Lâmina:** TF-IV-189

**Unidade:** Alteração hidrotermal

**Coordenadas:** 22S 437475E 8190262S

**Descrição macroscópica:**

Rocha de coloração cinza de granulação fina e textura nematoblástica. É composta por anfibólio, plagioclásio, epidoto e clorita. É possível observar venulações de epidoto e clorita permeado a matriz da rocha.

**Foto Macroscópica**



**Descrição microscópica**

**Minerais Essenciais (%)**

**Minerais Acessórios (%)**

**Minerais Secundários (%)**

Minerais Essenciais (%)		Minerais Acessórios (%)		Minerais Secundários (%)	
Plagioclásio	20	Titanita	5	Clorita	20
Hornblenda	25				
Epidoto	30				
Quartzo	10				

**Descrição Microscópica**

**Orientada**

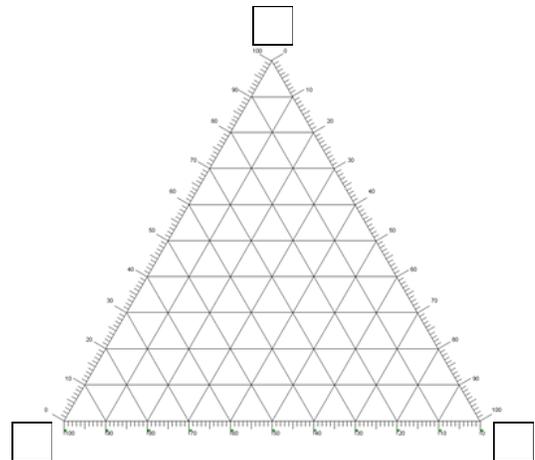
Amostra de granulometria média a fina e textura nematoblástica. O arcabouço da rocha é composto por um mosaico de plagioclásio e quartzo intesamento brechado, sobrepostos por por um gama de minerais de alteração como clorita e epidoto. As fraturas são preenchidas por epidoto, formando venulações deste mineral que cortam toda a rocha.

A hornblenda (25%), apresenta seu típico hábito prismático e clivagens relativamente bem preservadas, apesar do estado de alteração da rocha. O plagioclásio (20%) é o segundo constituinte mais importante do mosaico brechado da rocha. A maioria dos cristais se apresentam sericitizados, sendo que poucos mostram geminação polissintética. O quartzo (10%) se encontra junto com o plagioclásio dentro do arcabouço fraturado. A clorita (10%), geralmente ocorre nas paredes e bordas das fraturas.

Apresentam pleocroísmo verde-claro e cores de interferência em um azul anômalo, indicando uma composição mais rica em magnésio.

O epidoto (30%) é um mineral essencialmente pervasivo na rocha, determinando variados tipos de textura nas venulações discordantes. Forma uma massa fina nas paredes das brechas e mosaicos poligonais no seu interior. Apresenta relevo alto, coloração creme pálida com aspecto turvo, além de cores de interferências diversas, podendo chegar até o início da terceira ordem. Os minerais acessórios são a titanita e opacos (5%).

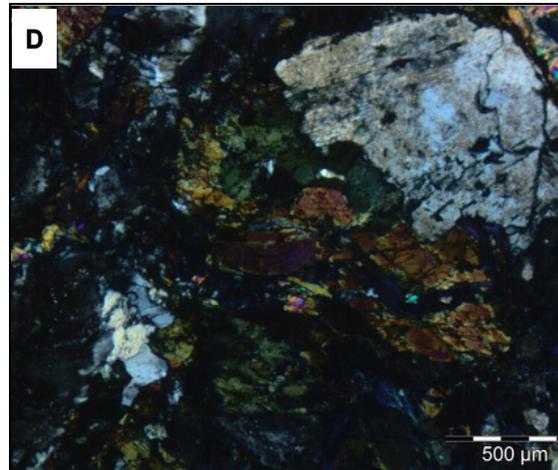
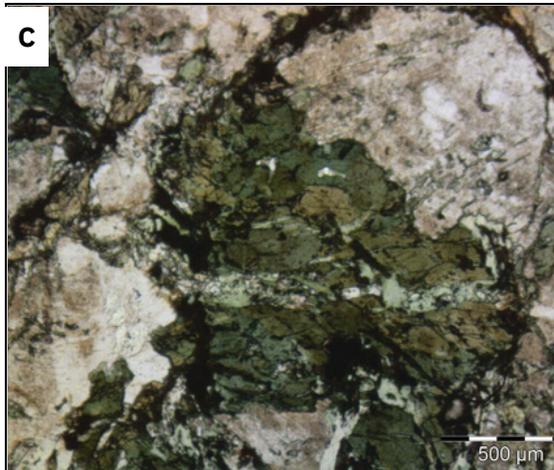
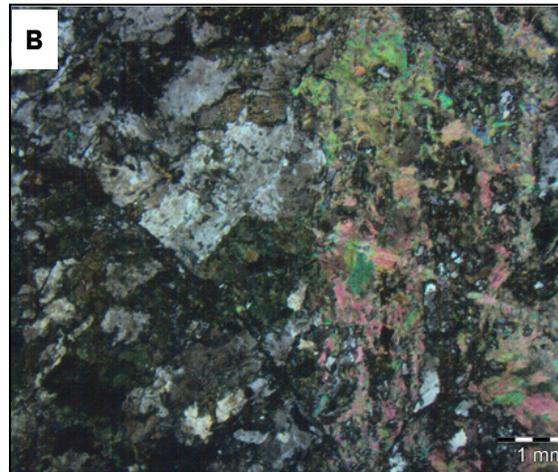
**Diagrama Composicional**



**Classificação da Rocha:** Hidrotermalito ou anfibolito alterado



## Micrografias



Legenda Micrografias

**A** - Fotografia a nicóis paralelos sobre a lente de 1.25x.

**B** - Fotografia a nicóis cruzados sobre a lente de 1.25x.

**C** - Fotografia a nicóis paralelos sobre a lente de 4x.

**D** - Fotografia a nicóis paralelos sobre a lente de 4x.

## Interpretação e Discussão

É uma rocha produto de alteração hidrotermal, onde o epidoto está preenchendo a rocha por meio de venulações e a clorita está substituindo os minerais da matriz por meio de alteração.

O plagioclásio está alterando pelo processo de sericitização.

A rocha trata-se de um anfibolito que sofreu processo de uma alteração hidrotermal com potencial para ser uma alteração propilítica.



**Código da Lâmina:** TF-IV-48

**Unidade:** Ribeirão Água Limpa

**Coordenadas:** 22S 417099E 8189564S

**Descrição macroscópica:**

Rocha de coloração esbranquiçada de granulação fina a média e textura nematoblástica. É composta por bastante quartzo, seguido por plagioclásio, feldspato, e biotita.  
 Nota-se um foliação na amostra, ressaltada pelo filossilicato.

**Foto Macroscópica**



**Descrição microscópica**

**Minerais Essenciais (%)**

**Minerais Acessórios (%)**

**Minerais Secundários (%)**

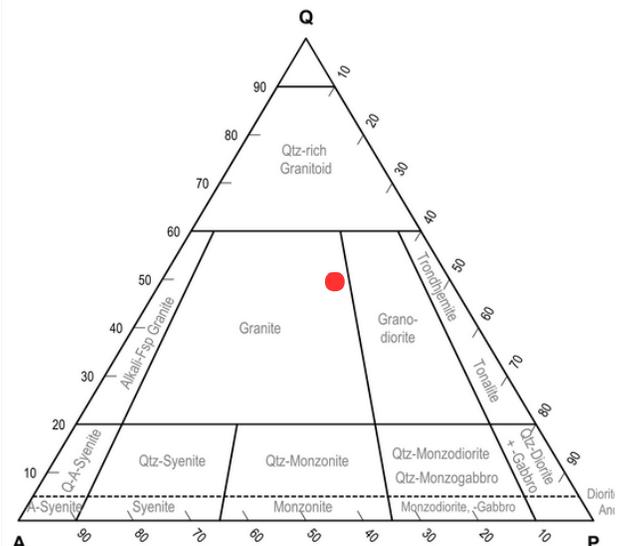
Minerais Essenciais (%)		Minerais Acessórios (%)		Minerais Secundários (%)	
Plagioclásio	25	Granada	2		
Feldspato	15	Opacos	2		
Quartzo	40	Titanita	1		
Biotita	15				

**Descrição Microscópica**

**Orientada**

Rocha de granulação fina a média, textura, no geral, granoblástica com porções nemotablástica. Os cristais de quartzo (40%) apresentam, no geral, contatos lobados com embainhamentos indicando migração de borda, bem como extinção ondulante e subgrãos, atestando para processos de recristalização e recovery. O feldspato alcalino é o microclínio (10%), distinguidos pela típica geminação cruzada (tartan), micropertitas e texturas mirmequíticas. Ortoclásio (5%) com geminação do tipo carlsbard, também é observado. O plagioclásio (25% e An 30-40) é identificado pelas suas geminações polissintéticas e zonamentos composicionais. A biotita (15%) é evidenciada de forma disseminada e balizando os agregados quartzo-feldspáticos formando delgado filmes placosos. Estes filmes são, geralmente, subparalelos a foliação, mas podem também contornar os agregados adjacentes de forma subcircular. Os minerais acessórios são a granada (2%), titanita e opacos (3%).

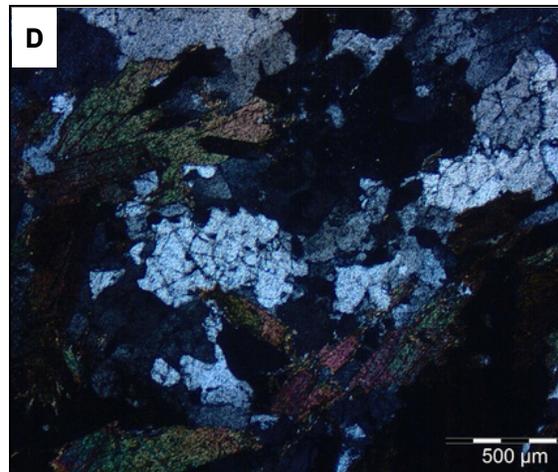
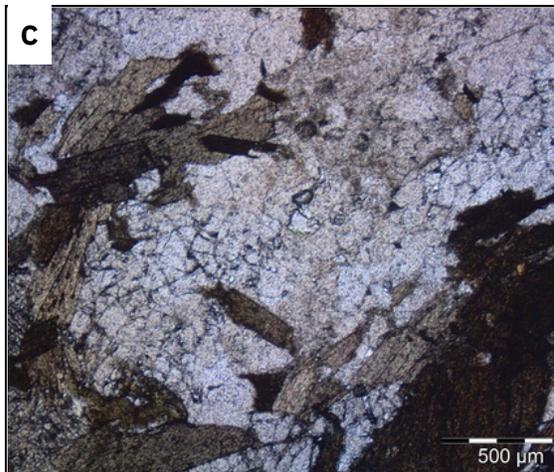
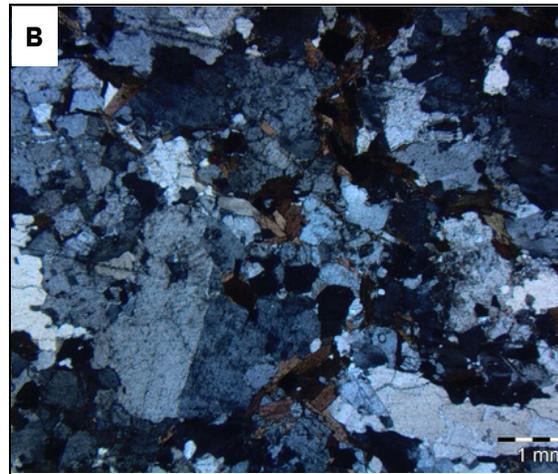
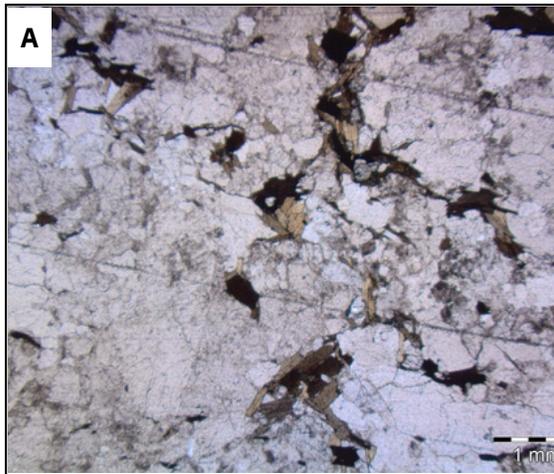
**Diagrama Composicional**



**Classificação da Rocha:** Granodiorito



## Micrografias



Legenda Micrografias

**A** - Fotografia a nicóis paralelos sobre a lente de 4x.

**B** - Fotografia a nicóis cruzados sobre a lente de 4x.

**C** - Fotografia a nicóis paralelos sobre a lente de 1.25x.

**D** - Fotografia a nicóis paralelos sobre a lente de 1.25x.

## Interpretação e Discussão

Os contatos entre os grãos do arcabouço quartzo-feldspático são lobados e interdigitados, muitos com embainhamentos, indicando migração de borda de grãos e recristalização. Outra feição característica do arcabouço é o intercrescimento de feldspato alcalino e plagioclásio, formando texturas mirmequíticas, o que aponta para situações de reequilíbrio entre fases a profundidades relativamente rasas. Além disso, os filmes de biotita contornam frequentemente aglomerados recristalizados dos domínios quartzo-feldspáticos em padrões semicirculares, desviando da tendência subparalela da foliação.