



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

**RELATÓRIO DE MAPEAMENTO GEOLÓGICO FINAL
PROJETO ARENÓPOLIS
ÁREA III**

Carlos Eduardo dos Reis Santos - 180052174

Tiago Pedrosa Lyra - 180028413

Brasília - DF

2023



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

Carlos Eduardo dos Reis Santos - 180052174

Tiago Pedrosa Lyra - 180028413

**RELATÓRIO DE MAPEAMENTO GEOLÓGICO FINAL
PROJETO ARENÓPOLIS
ÁREA III**

Relatório apresentado como produto da disciplina de Mapeamento Geológico Final realizada no ano de 2023, referente ao mapeamento geológico em escala 1:25.000 da região entre Arenópolis e Piranhas.

Professores Orientadores

Prof^a. Dra. Natalia Hauser (Coordenadora)

Prof. Dr. Elton Luiz Dantas

Prof. Dr. Luis Gustavo Ferreira Viegas

Prof. Dr. Caio Arthur Santos

Dr. Ítalo Lopes de Oliveira

Prof^a. Dra. Julia Curto Ma

Prof. Dr. Henrique Llacer Roig

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

Carlos Eduardo dos Reis Santos - 180052174

Tiago Pedrosa Lyra - 180028413

PROJETO ARENÓPOLIS
ÁREA III

Trabalho de mapeamento geológico final do curso de graduação em Geologia apresentado ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Geologia.

Prof. Dr. Luis Gustavo Ferreira Viegas
Membro Interno

Prof. Dr. Paulo Roberto Meneses
Membro Externo 1

Prof. Dr. Tiago Jalowitzki
Membro Externo 2

Brasília/DF
2023

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço imensamente aos meus pais, Ricardo e Cláudia, ao meu irmão, Rodrigo, e à minha namorada, Isadora. O amor, incentivo e compreensão de vocês foram alicerces fundamentais ao longo de toda a minha graduação.

À coordenadora do Projeto Arenópolis, Natalia Hauser, minha mais profunda gratidão. Sem seu empenho e liderança, esse projeto não teria se materializado. Agradeço também aos professores Gustavo, Elton e Caio, cuja orientação e suporte foram essenciais durante todo o ano.

Não poderia deixar de mencionar a contribuição das professoras Catarina e Suzan. A oportunidade de participar de projetos científicos sob a orientação de vocês foi um privilégio que enriqueceu significativamente minha formação acadêmica. Agradeço, também, à professora Adalene e ao professor Tiago pelas conversas e dicas que contribuíram para a conclusão deste trabalho.

Agradeço a todas as amigas que iniciaram ao longo desses anos, em especial ao Miguel, Lucas, Humberto, Cauê e Heitor. Tenho certeza de que essas conexões perdurarão para o resto da vida. Um agradecimento especial ao Carlos, meu parceiro de TF e grande amigo que possibilitou a conclusão desse trabalho da melhor forma possível.

Por fim, não posso deixar de expressar minha gratidão à toda a equipe de mineração da Ciplan, em particular ao José Matteo. Sua paciência e generosidade ao compartilhar conhecimentos contribuíram significativamente para o meu crescimento profissional.

Tiago Pedrosa Lyra

Gostaria de expressar a minha gratidão a todos que contribuíram de alguma forma com a minha trajetória ao longo da graduação.

Em especial à minha família, pelo apoio incondicional. Neuza, Weyller, Felipe e Joyce, saibam que, sem vocês, não seria possível. Obrigado por todo o amor, mas também pelos problemas e perrengues que superamos juntos.

À Professora Natalia Hauser e à sua excelente equipe que nos guiou com muita atenção e carinho durante o projeto.

Aos amigos que fiz nesta longa caminhada, e que foram essenciais para que fosse da melhor - e a única - forma possível. Tiago, um irmão e companheiro de TF do tipo que não se pode esperar nada melhor. Miguel, Humberto, Lucas, Cauê e Heitor, obrigado pelos anos de diversão e comprometimento. Sei que posso contar com vocês, e o futuro promete.

Carlos Eduardo dos Reis Santos

RESUMO

O Projeto Arenópolis representa o Trabalho Final de Graduação em Geologia do ano de 2023, executado pelo Instituto de Geociências da Universidade de Brasília. O trabalho teve como principal objetivo o mapeamento geológico em escala 1:25.000 da região entre os municípios de Arenópolis-GO e Piranhas-GO, localizados na porção oeste do estado de Goiás. A área mapeada compreende cerca de 900 km² divididos em 10 subáreas. O presente relatório corresponde aos resultados da Área III. O Projeto Arenópolis está inserido no domínio do Arco Magmático Goiás, Segmento Arenópolis, com evolução durante o neoproterozoico. As unidades mapeadas na Área III incluem a Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas, cujas unidades são separadas em Córrego do Santo Antônio e Córrego da Onça, Gnaiss Arenópolis, Granito Ribeirão Água Limpa, Granito Rio Caiapó, Granito Serra do Iran e Complexo Alcalino Arenópolis. Os dados adquiridos em campo, correlacionados com análises petrográficas e estruturais, permitiram a interpretação de cinco estágios evolutivos para a área, sendo três associados à formação do Arco Arenópolis-Piranhas, seguido por um evento extensional e pelo magmatismo alcalino que originou a Província Alcalina de Goiás. Também foi possível identificar as paragêneses metamórficas correspondentes a um pico do metamorfismo em fácies anfíbolito, e caracterizar alguns potenciais metalogenéticos para a região. Em comparação a mapeamentos anteriores na região, destaca-se o detalhamento de fácies associadas, principalmente, aos Granitos Serra do Iran e Rio Caiapó, além das unidades da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas. A delimitação de três sistemas de cisalhamento, bem como as fases de deformação, representam uma contribuição deste trabalho que proporciona melhor entendimento acerca da evolução tectônica da área.

Palavras Chave: Arco Magmático de Goiás, Segmento Arenópolis, Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas, Complexo Alcalino Arenópolis.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1:** Mapa de localização e vias de acesso do Projeto Arenópolis.
- Figura 1.2:** Gráfico apresentando as condições climatológicas anuais do município de Piranhas. Fonte: Climatempo (2023).
- Figura 1.3:** Mapa de Uso e Cobertura do Solo do Projeto Arenópolis. Fonte: MapBiomias (2022).
- Figura 1.4:** Tabela quantitativa do Uso e Cobertura do Solo para o Projeto Arenópolis.
- Figura 1.4:** Mapa Hidrográfico da região do Projeto Arenópolis. Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA), 2017.
- Figura 1.5:** Mapa Geomorfológico Simplificado da região do Projeto Arenópolis. O relevo sombreado contido no mapa auxilia no destaque da compartimentação de relevo de Morros e Colinas em porções mais elevadas. Fonte: SIC-GO, 2006.
- Figura 1.6:** Mapa Pedológico Simplificado com as unidades pedológicas através de dois níveis categóricos na região do Projeto Arenópolis, na escala 1:250.000. Fonte: EMATER, 2017.
- Figura 2.1:** Mapa geológico regional do Orógeno Brasília com destaque para a área do Projeto Arenópolis. (Adaptada de Fuck, 2017).
- Figura 2.2:** Mapa Geológico do Arco de Arenópolis, com destaque para as Sequências Metavulcanossedimentares, ortognaisses e intrusões tardias graníticas (Marques, 2017).
- Figura 2.3:** Unidades Geológicas inseridas na região do Projeto Arenópolis e entorno, segundo a CPRM (Folhas Caiapônia e Piranhas, 2020).
- Figura 2.4:** Geocronologia das unidades geológicas inseridas no Projeto Arenópolis, segundo as folhas Piranhas e Caiapônia (Lacerda Filho *et al.*, 2021) associadas aos principais eventos no período geológico.
- Figura 3.1:** Mapa de Pontos adquiridos em campo pela Área III.
- Figura 4.1:** Regiões do espectro óptico (Arcanjo, 2011).
- Figura 4.2:** Comparação entre as bandas dos sensores Landsat 1-5 (MSS), Landsats 4 e 5 (TM), Landsat 7 (ETM+) e Landsats 8 e 9. Fonte: NASA.
- Figura 4.3:** Fluxograma de processamento dos produtos de sensoriamento remoto para o Projeto Arenópolis.
- Figura 4.4:** Composições coloridas CBERS 4A. A) Composição RGB-123. B) Composição RGB-432. C) Composição RGB-423. D) Composição RGB-412.
- Figura 4.5:** Composições coloridas LANDSAT 9 OLI/TIRS. A) Composição RGB-741. B) Composição RGB-457. C) Composição RGB-564. D) Composição RGB-432.
- Figura 4.6:** Mapa de Relevo Sombreado da região do Projeto Arenópolis.
- Figura 4.7:** Mapa de Lineamentos Morfoestruturais.
- Figura 4.8:** Mapa Altimétrico da região do Projeto Arenópolis.
- Figura 4.9:** Mapa de Declividade da região do Projeto Arenópolis.
- Figura 4.10:** Mapa Base da Área III do Projeto Arenópolis.
- Figura 4.11:** Localização da área do Projeto Aerogeofísico e do Projeto Arenópolis. Fonte: adaptado de CPRM (2004).
- Figura 4.12:** Fluxograma de processamento dos produtos do método magnetométrico gerados a partir dos dados de levantamento aerogeofísicos disponíveis para o Projeto Arenópolis.
- Figura 4.13:** Fluxograma de processamento dos produtos do método gamaespectrométrico gerados a partir dos dados de levantamento aerogeofísicos disponíveis para o Projeto Arenópolis.
- Figura 4.14:** Produtos magnetométricos do Projeto Arenópolis com destaque para a Área III.
- Figura 4.15:** Mapa de lineamentos magnéticos do Projeto Arenópolis com destaque na Área III, exibidos no mapa de Primeira Derivada Vertical (1DV).
- Figura 4.16:** Mapa de domínios magnéticos do Projeto Arenópolis, com destaque para a Área III, exibidos no mapa de Amplitude do Sinal Analítico (ASA).
- Figura 4.17:** Produtos gamaespectrométricos do Projeto Arenópolis, com destaque para a Área III.
- Figura 4.18:** Mapa de domínios gamaespectrométricos do Projeto Arenópolis com destaque para a Área III, exibidos no mapa Ternário (RGB).
- Figura 5.1:** Mapa Geológico Simplificado do Projeto Arenópolis.

Figura 5.2. Feições de deformação no Gnaiss Ribeirão, observadas no afloramento-tipo, inserido na área VIII (Coordenadas: 22S 434053 E 8173182 N). Em A, foliação anastomosada, truncada por fraturas; em B, leucossomas rompidos; em C, leucossomas em migmatito exibindo pinch-and-swell incipiente na porção inferior da imagem; já em D, foliação S-C, onde as linhas amarelas representam o plano S, ao passo que as linhas em vermelho representam o plano C; em E, megaporfiroblasto de quartzo rotacionado, evidenciando cinemática sinistral; por fim, em F, migmatito com leucossomas concordantes à foliação, recortados por dique leucocrático de quartzo e feldspato.

Figura 5.2. (A) Rocha alterada de coloração vermelha-amarelada e granulação média a grossa, textura lepidoblástica, foliação do tipo xistosidade. Composta por quartzo, muscovita, granada e pseudomorfos de estauroilita: TF23-X-106 430682E 8166457S. (B) Afloramento in situ evidenciando foliação: TF23-X-181 428702E 81680537S.

Figura 5.4. Afloramento tipo de anfíbolito do Córrego da Onça exibindo foliação subvertical de direção N-S. Área VI, ponto 187 (X: 434722,9973; Y: 8181581,737).

Figura 5.5. Área VI, ponto 120 (X:431498,7736; Y: 8182539,859). Afloramento em lajedo mostrando gnaisses calcissilicáticos afetados pela Zona de Cisalhamento Ribeirão.

Figura 5.6. (A) TF23-X-12 432984E 8166649S: Aspecto de afloramento da unidade Gabro Morro do Baú no corpo arredondado. (B) TF23-X-12 432984E 8166649S: Detalhe do gabro deformado com bandamento centimétrico e veios leucocráticos discordantes. (C) TF23-X-13 433304E 8166548S: Gabro Morro do Baú com textura cumulática.

Figura 5.7. Área III - TF23-AIII-P106 (Coordenadas X: 434953,57; Y: 8193673,35). A - Afloramento em lajedo no leito do Córrego da Areia composto por gnaiss tonalítico milonitizado. B - Detalhe da foliação milonítica apresentada pela unidade.

Figura 5.8. (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 (X: 434548,8895; Y: 8184140,845). (B) Afloramento em lajedo de biotita granito milonítico do Granito Serra do Tatu. Área VI, ponto 102 (X: 434548,8895; Y: 8184140,845). (C) Área VII - TF23-VII-79 (X: 437028; Y: 8179502). Afloramento em blocos rolados e em lajedo de biotita granito.

Figura 5.9. Afloramentos do Granito Ribeirão Água Limpa. (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.

Figura 5.10. (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 textura equigranular. (C - D) Feições de mixing-mingling em afloramento em blocos métricos da Unidade Granito Serra do Iran no ponto (TF23-AV-P141, coordenadas: 431309E 8187001S).

Figura 5.11. TF23-AIII-P15 (Coordenadas X: 439660,33; Y: 8195281,30) - (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 5.12. Diques sin-plutônicos ao tonalito, hospedados pela fácies granito porfirítico grosso, observados no ponto TF23-II-27 (Coordenadas X: 432888; Y: 8199463).

Figura 5.13. Derrames riolíticos característicos da unidade, com afloramento-tipo (A e B) localizado na área VII (Coordenadas: 22S 434487 E 8177659 N). (A) Derrame riolítico avermelhado, sob anfíbolito 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) (Coordenadas: 22S 435676 E 8177906 N), diques decimétricos de riolito cortando tonalito milonitizado do Granito Serra do Tatu. Em D (Coordenadas: 22S 437572 E 8176637 N), afloramento de riolito alterado para caulinita, com texturas primárias de fluxo fracamente preservadas.

Figura 5.14. (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 437339E 8166225N). (C) Arenito fino com estratificação cruzada (Ponto TF23-X-79 431804E 8164059N).

Figura 5.15. Em A, blocos submétricos a métricos alinhados de basanita em pasto, indicando a presença de dique alcalino na Área VII (Coordenadas X: 431410; Y:8177514). Em B, dique alcalino cortando anfíbolitos máficos da Unidade Córrego da Onça (Coordenadas: 22S 434922 E 8177863 N).

Figura 5.16. (A) Foto panorâmica destacando o relevo encontrado no Complexo Arenópolis. Os melhores afloramentos encontram-se nos morros, enquanto que a porção arrasada é dominada por pasto e plantações com perfis de solo avermelhado. (B) Afloramento com esfoliação esferoidal em nefelinolito (TF23-AIII-P8 Coordenadas X: 440273,5; Y: 8194759,3). (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.

Figura 6.1: Mapa Geológico Simplificado da Área III.

Figura 6.2: Localização da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas na Área III.

Figura 6.3: A - Fotografia panorâmica ilustrando as unidades Granito Serra do Iran, destacado pela Serra da Margarida, e unidade Córrego Santo Antônio da Sequência MVS Arenópolis-Piranhas. A linha tracejada amarela representa o contato entre as duas unidades.

Figura 6.4: A (TF23-AIII-P97 - Coordenadas X: 423631,24; Y: 8196346,87) e B (TF23-AIII-P96 - Coordenadas X: 423842,33 Y: 8196355,66) Afloramentos escassos e altamente intemperizados dificultaram uma melhor caracterização dos corpos máfico-ultramáficos da Unidade Córrego Santo Antônio. Os exemplos mostram as ocorrências mais comuns dessas rochas na Área III.

Figura 6.5: Diagrama composicional ACF para a lâmina TF23-AIII-P228 considerando a origem metamórfica para os clinopiroxênios, indicando uma fácies anfíbolito superior.

Figura 6.6: Amostras e petrografia de anfíbolitos da unidade Córrego Santo Antônio na Área III. A - Amostra de mão na qual observa-se o bandamento composicional entre assembléias quartzo-feldspáticas e minerais máficos, além do veio discordante com a foliação. B (TF23-AIII-P228 - Coordenadas X: 414985,42; Y: 8195084,14) Destaque para o veio de quartzo em lâmina com polarizadores cruzados. C - Fotomicrografia a nicóis paralelos mostrando a presença de grãos de quartzo recristalizados, hornblenda em textura nematoblástica orientada e porfiroclastos de plagioclásio.

Figura 6.7: A e B (TF23-AIII-P228 - Coordenadas X: 414985,42; Y: 8195084,14) - Fotomicrografia com polarizadores paralelo e cruzado, respectivamente, destacando, no centro das imagens, um cristal de clinopiroxênio reliquiar, parcialmente reabsorvido e alterado. Dentre as gerações de hornblenda identificadas em lâmina, acredita-se que uma delas seja proveniente da hidratação do piroxênio.

Figura 6.8: A (TF23-AIII-P98 - Coordenadas X: 423566,52; Y: 8196345,83) - Afloramento comum de se identificar os mica-xistos da Unidade Córrego Santo Antônio da Sequência MVS Arenópolis-Piranhas. B - Amostra de mão com coloração avermelhada devido ao alto teor em óxidos e hidróxidos de ferro e lamelas esbranquiçadas que podem representar uma alteração de aluminossilicatos como cianita e/ou sillimanita.

Figura 6.9: Localização do Gnaiss Arenópolis na Área III, bem como a sua resposta gamaespectrométrica em contrastante com as unidades adjacentes.

Figura 6.10: A - Fotografia panorâmica de oeste para leste destacando a Serra do Retiro Velho, sobre a qual aflora o Granito Rio Caiapó. A região mapeada como Gnaiss Arenópolis representa uma área com relevo aplainado. B (TF23-AIII-P104 - Coordenadas X: 433262,36; Y: 8193759,02) e C (TF23-AIII-P106 - Coordenadas X: 434953,57; Y: 8193673,35) - Tipos de afloramentos da unidade que ocorrem na Área III.

Figura 6.11: A (TF23-AIII-P43 - Coordenadas X: 431232,95; Y: 8196187,65) - Perfil de solo de baixa espessura e saprolito com feições de dobras apertadas e isoclinais com flancos de alto ângulo de mergulho. B (TF23-AIII-P106 - Coordenadas X: 434953,57; Y: 8193673,34) e C (TF23-AIII-P46 - Coordenadas X: 429869,06; Y:8195789,38) - Veios preenchidos por quartzo concordantes com a foliação são comuns na unidade. D (TF23-AIII-P105 - Coordenadas X: 433382,34; Y: 8193879,79) - Amostra de mão com granulação média e bandamento bem definido, com predominância de bandas quartzo-feldspáticas sobre as bandas máficas.

Figura 6.12: A e B (TF23-AIII-P107 - Coordenadas X: 435025,93; Y: 8193694,78) - Fotomicrografias a nicóis paralelos e cruzados, respectivamente, na quais é possível observar as bandas quartzo-feldspáticas e bandas máficas dominadas por hornblenda, embora também ocorra a presença de plagioclásio em menor quantidade. C e D - Fotomicrografias a nicóis paralelos e cruzados, respectivamente, da mesma lâmina, porém outra seção, em que destaca-se o veio preenchido majoritariamente por epidoto.

Figura 6.13: A (TF23-AIII-P108 - Coordenadas X: 435082,88; Y: 8193831,32) - Afloramento na beira do Córrego da Areia, no qual há anfibolitos com evidências de hidrotermalismo na unidade do Gnaiss Arenópolis. B - Destaque para a estrutura do veio discordante com a foliação principal. C - Assembleia hidrotermal esverdeada, composta por epidoto, feldspato potássico e ocasionalmente sulfetos.

Figura 6.14: Localização do Granito Ribeirão Água Limpa na Área III.

Figura 6.15: Afloramentos mais comuns na região do Granito Ribeirão Água Limpa. A (TF23-AIII-P70 - Coordenadas X: 415314,92; Y: 8195726,50) - Alguns pontos, o granito apresenta sinais de migmatização com estruturas, texturas e composições típicas. B (TF23-AIII-P211 - Coordenadas X: 414791,02; Y: 8193785,13) - Grandes blocos que variam de escala métrica a decamétrica. C (TF23-AIII-P227 - Coordenadas X: 415189,55; Y: 8194912,54) e D (TF23-AIII-P231 - Coordenadas X: 414937,03; Y: 8195512,75) - Afloramentos em lajedo.

Figura 6.16: A (TF23-AIII-P70 - Coordenadas X: 415314,92; Y: 8195726,50) e B (TF23-AIII-P208 - Coordenadas X: 415432,93; Y: 8193703,34) - Estruturas dos leucossomas com arranjos irregulares, granulação mais grossa e composição mais félsica e potássica.

Figura 6.17: A (TF23-AIII-P218 - Coordenadas X: 414030,30; Y: 8194257,72) - Amostra com forte foliação, muito comum nos pontos visitados na região da Área III. Acredita-se que esteja relacionada às zonas de cisalhamento observadas nas proximidades. B (TF23-AIII-P226 - Coordenadas X: 415106,10; Y: 8194870,53) - Amostra com foliação menos penetrativa.

Figura 6.18: A e B (TF23-AIII-P228 - Coordenadas X: 414985,42; Y: 8195084,14) - Fragmentos de anfibolitos, classificados como xenólitos, em meio ao Granito Ribeirão Água Limpa. C e D - Destaque para os xenólitos intensamente cortados por veios quartzo-feldspáticos esbranquiçados. E - Estrutura bandada e fraturamento intenso. F - Sigmóide de plagioclásio com caudas de recristalização mostrando uma cinemática sinistral.

Figura 6.18: A e B (TF23-AIII-P228 - Coordenadas X: 414985,42; Y: 8195084,14) - Fragmentos de anfibolitos, classificados como xenólitos, em meio ao Granito Ribeirão Água Limpa. C e D - Destaque para os xenólitos intensamente cortados por veios quartzo-feldspáticos esbranquiçados. E - Estrutura bandada e fraturamento intenso. F - Sigmóide de plagioclásio com caudas de recristalização mostrando uma cinemática sinistral.

Figura 6.19: Localização do Granito Rio Caiapó na Área III, associado a sua resposta gamespectrométrica.

Figura 6.20: (TF23-AIII-P122 - Coordenadas X: 436957,5; Y: 8193951,07) A - Afloramento com a presença de enclaves, foliação de fluxo magmático, e estruturas do tipo *schlieren*. B e C - Ênfase nos enclaves máficos e nas estruturas do tipo *schlieren*. D - Enclave máfico com foliação de fluxo magmático envolvendo-o.

Figura 6.21: Aspectos gerais do Granito Rio Caiapó (A1-P75 Coordenadas UTM: 8198247,142; 456834,2163). A - Agregados de hornblenda e biotita, com a hornblenda constantemente nos núcleos dos agregados com biotita ao redor. B - Cristal de feldspato potássico com textura perfitica, marcada por lamelas em cordões. Notar a diferença no tamanho do cristal com relação ao quartzo em contato, definindo a textura localmente porfirítica. C - Cristais de Titanita euédricos com hábito losangular típico. D - Cristal de titanita parcialmente englobado por cristal de hornblenda.

Figura 6.22: A (TF23-AIII-P114 - Coordenadas X: 435836,90; Y: 8193673,70) - Amostra de mão representativa classificada como um biotita granodiorito. B - Fotomicrografia a nicóis cruzados destacando a ocorrência de biotita, plagioclásio e quartzo. C e D - Fotomicrografia a nicóis paralelos e cruzados, destacando o aspecto dos fenocristais de plagioclásio.

Figura 6.23: TF23-AIII-P86 - Coordenadas X: 426237,91; Y: 8195977,82 - Fotografia panorâmica de leste para oeste mostrando ao fundo a Serra do Retiro Velho, seu contato com o Gnaisse Arenópolis e, para oeste, o Granito Serra do Iran. A foto foi registrada em uma das porções da Serra da Margarida.

Figura 6.24: Localização do Granito Serra do Iran na Área III e as suas respectivas respostas gamaespectrométricas no mapa ternário e equivalente de tório..

Figura 6.25: Destaque para a granulação distinta entre as fácies que exerce um controle geomorfológico na região. As rochas de granulação grossa sustentam o relevo formado pela Serra da Margarida.

Figura 6.26: A (TF23-AIII-P157 - Coordenadas X: 427450,29; Y: 8194110,78) - Amostra de mão representativa da fácies félsica e classificada como um sienogranito de granulação grossa. B - Fotomicrografia a nicóis paralelos destacando a ocorrência de biotita e titanita. C e D - Fotomicrografia a nicóis cruzados destacando o aspecto dos microclínios em granulação grossa e média, respectivamente, além das exsoluções denominadas de pertitas.

Figura 6.27: A (TF23-AIII-P48 - Coordenadas X: 428967,96; Y: 8196436,98) - Amostra de mão de granodiorito, um dos representantes da fácies intermediária do Granito Serra do Iran. B e C - Fotomicrografia a nicóis paralelos e cruzados destacando a ocorrência de biotita, clorita, plagioclásio e opacos. D e E - Fotomicrografia a nicóis paralelos e cruzados destacando a ocorrência de hornblenda, ortoclásio e biotita.

Figura 6.28: Amostra de mão do diorito mapeado nas proximidades da Serra da Margarida e em contato com a fácies félsica do Granito Serra do Iran.

Figura 6.29: A e B (TF23-AIII-P196 - Coordenadas X: 425551,36; Y: 8193852,32) - Afloramentos em blocos próximos a drenagem com rochas rosadas, fenocristais de feldspatos e matriz fina. C e D - Fotomicrografia a nicóis cruzados com destaque para os fenocristais de quartzo, com bordas de engolfamento, e plagioclásio. E - Matriz felsítica composta por quartzo e plagioclásio, parcialmente recristalizada e com alguns grãos de anfibólio. F - Agregados compostos por hornblenda e biotita ao longo da lâmina.

Figura 6.30: Fotomicrografias a nicóis paralelos e cruzados, respectivamente, destacando a textura principal da rocha, com a ocorrência de granada englobando cristais de diopsídio.

Figura 6.31: A (TF23-AIII-P247 - Coordenadas X: 429491,27; Y: 8195271,08) e B (TF23-AIII-P155 - Coordenadas X: 427713,39; Y: 8194244,75) - Paragênese hidrotermal composta por epidoto e feldspato potássico em granitos gerando um aspecto brechado às rochas. C (TF23-AIII-P69 - Coordenadas X: 415716,93; Y: 8195598,41) e D (TF23-AIII-P208 - Coordenadas X: 415432,93; Y: 8193703,33) - Paragênese hidrotermal composta predominantemente por epidoto e feldspato potássico.

Figura 6.32: Localização do Complexo Alcalino Arenópolis na Área III e as suas respectivas respostas magnetométricas e gamaespectrométricas no Gradiente Horizontal Total e no Mapa Ternário RGB.

Figura 6.33: A - Melteijito composto predominantemente por titanogaugita, com porção sienítica intersticial, cortado por um veio carbonatítico. B - Brecha carbonática com fragmentos de clinopiroxenos cimentados por material sienítico.

Figura 6.34: A (TF23-AIII-P258 - Coordenadas X: 441173,18; Y: 8194610,84) - Fotografia com destaque para os morros mapeados como gabros alcalinos em contato com a porção mais arrasada. B (TF23-AIII-P7 - Coordenadas X: 440198,37; Y: 8194903,93) - Afloramento em blocos soltos ao longo de um dos morros em destaque.

Figura 6.35: A e B (TF23-AIII-P168 - Coordenadas X: 429798,10; Y: 8193589,43) - Fotomicrografia em nicóis paralelos e cruzados, respectivamente, destacando a presença de olivina e flogopita. C e D - Fotomicrografia em nicóis paralelos e cruzados, respectivamente, destacando a textura sub-ofítica dos plagioclásios.

Figura 6.36: A e B (TF23-AIII-P261 - Coordenadas X: 441002,25; Y: 8193113,17) - Fotomicrografia em nicóis paralelos e cruzados, respectivamente, destacando a presença de olivina, flogopita e titanogaugita.

Figura 6.37: A e B (TF23-AIII-P8 - Coordenadas X: 440273,49; Y: 8194759,30) - Fotomicrografia em nicóis paralelos e cruzados, respectivamente, destacando a presença da titanogaugita e flogopita em

agregados granulares e cristais de nefelina ao redor em maior quantidade. C e D - Fotomicrografia em nicóis cruzados destacando alguns agregados glomeroporfíricos de plagioclásio, por vezes em textura sub-óptica.

Figura 6.38: A (TF23-AIII-P258 - Coordenadas X: 441156,24; Y: 8194748,89) - Afloramento em lajedo composto por rochas ultramáficas alcalinas. B e C - Destaque para os clinopiroxenitos compostos essencialmente por titanogaugita e flogopita, localmente com nefelina e plagioclásio ocupando os espaços intersticiais.

Figura 6.39: A e B - Fotomicrografia a nicóis paralelos e cruzados, respectivamente, com destaque para a zonação composicional da titanogaugita. C - Fotomicrografia a nicóis paralelos, com destaque para a textura poiquilítica em titanogaugitas e o plagioclásio intersticial alterado. D - Fotomicrografia a nicóis cruzados com destaque para a olivina intensamente fraturada e forma arredondada.

Figura 6.40: A e B (TF23-AIII-P7 - Coordenadas X: 440198,37; Y: 8194903,93) - Blocos in situ evidenciando os enclaves de gabros e sienitos em meio aos diques porfíricos. C e D - Nota-se que os enclaves apresentam uma composição mais félsica, indicando que os diques representam fases posteriores.

Figura 6.41: A (TF23-AIII-P184 - Coordenadas X: 426455,65; Y: 8193302,10) e B (TF23-AIII-P185 - Coordenadas X: 426439,23; Y: 8193365,63) - Blocos de diques alcalinos. Nota-se a facilidade de se identificar os fenocristais de piroxênio através da rugosidade na superfície da rocha. C (TF23-AIII-P9 - Coordenadas X: 440393,38; Y: 8194860,09) - Destaque para as bordas de alteração em alguns exemplos de piroxênio.

Figura 6.42: A e B - Dique alcalino que corta o Granito Rio Caiapó. Próximo ao dique, em contato com o granito porfírico, há uma zona de granulação fina, classificada como zona de fenitização.

Figura 7.1: Mapa Estrutural Integrado do Projeto Arenópolis.

Figura 7.2: Estereogramas referentes ao domínio estrutural Arenópolis. (Sn) Contornos de probabilidade relativos aos polos das foliações, destacando a orientação preferencial de direção N-S; e (Ln) Representação das medidas de lineação destacando a principal direção N-S.

Figura 7.3: Estereogramas referentes ao domínio estrutural Caiapônia. (Sn) Contornos de probabilidade relativos aos polos das foliações, destacando a orientação preferencial de direção NW-SE; e (Ln) Representação das medidas de lineação destacando a principal direção NW-SE e baixo caimento.

Figura 7.4: Estereogramas referentes ao domínio estrutural Caiapônia. (Sn) Contornos de probabilidade relativos aos polos das foliações, sem uma orientação preferencial bem definida devido a contribuição dos pontos ao norte da área; e (Ln) Representação das medidas de lineação destacando a principal direção NW-SE e médio caimento.

Figura 7.5: Estereogramas referentes às medidas de diferentes foliações caracterizadas em cada unidade. A - Estereograma geral da Área III. B - Estereograma de foliações miloníticas. C - Estereograma de foliações do tipo xistosidade. D - Estereograma de foliações tipo bandamento composicional.

Figura 7.6: A - Representação da trama dúctil (foliação milonítica) no Gnaiss Arenópolis. B - Lineação de estiramento mineral em quartzo com orientação NW-SE. C - Sigmóide de quartzo com cinemática dextral. D - Sigmóide de feldspato com cinemática sinistral. E - Zona de cisalhamento em escala de afloramento.

Figura 7.7: A - Estereograma com todas as medidas de lineação da Área III. B - Estereograma com as medidas de lineação extraídas no Gnaiss Arenópolis na Área III. C - Estereograma com as medidas de lineação extraídas no Granito Rio Caiapó na Área III.

Figura 7.8: Diagrama de roseta com todas as medidas de fratura da Área III.

Figura 7.9: A e B - Representação geral das fraturas em pares conjugados da Área III. C - Falha centimétrica com movimento sinistral. D - Blocos de quartzo associados a zonas de falha no Granito Serra do Iran.

Figura 7.10: Utilização do Modelo Digital de Elevação ALOS PALSAR para a extração de fraturas..

Figura 7.11: A - Fotomicrografia em nicóis cruzados destacando a textura principal da rocha, com grãos recristalizados de quartzo (0,1 - 0,8 mm) e alguns porfiroclastos de feldspato (~1,2 mm). B -

Fotomicrografia em nicóis cruzados destacando a textura granoblástica de grãos de quartzo (~1 mm) com contatos retos e agregados policristalinos. C - Fotomicrografia em nicóis cruzados destacando porfiroclastos de feldspato rotacionados amoldados por *ribbons* de quartzo e matriz fina recristalizada. D - Fotomicrografia em nicóis cruzados destacando a matriz fina recristalizada composta predominantemente por biotita.

Figura 8.1: Mapa geológico esquemático do Orógeno Brasília com os principais depósitos minerais do Arco Magmático Goiás (extraído de Marques et al. 2019, modificado de Fuck et al. 1994; Dardenne, 2000).

Figura 8.2: Mapa de Recursos Minerais do Projeto Oeste de Goiás, com destaque para a área de estudo do Projeto Arenópolis. Modificado de Lacerda et al. (2021).

Figura 8.3: Mapa de processos minerários por substância na área do Projeto Arenópolis (Fonte: SIGMINE/ANM, Novembro/2023).

Figura 8.4: (TF23-AIII-P107 - Coordenadas X: 435025,93; Y: 8193694,78) - Fotomicrografia a luz refletida e aumento em 10x. Destaque para a ocorrência de calcopirita, pirita e magnetita de forma disseminada e associados ao sistema aurífero orogênico do Projeto Arenópolis.

Figura 8.5: Modelo esquemático para a metalogênese associada à intrusão e reação do Granito Serra do Iran com as lentes carbonáticas da Unidade Córrego Santo Antônio para a formação de *skarn*. Modificado de Forster (2008).

Figura 8.6: (TF23-AIII-P61 - Coordenadas X: 441002,25; Y: 8193113,17) - Fotomicrografia a luz refletida e aumento em 5x. Destaque para a ocorrência de pirita, magnetita e hematita no gabro alcalino em textura granular.

Figura 9.1: 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 9.2: Diagrama ternário de Pearce (1996) para classificação dos anfibolitos das unidades Córrego da Onça e Córrego Santo Antônio. Fonte: SGB-CPRM (2021).

Figura 9.3: 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 9.4: 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 9.5: 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 9.6: 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 9.7: 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 9.8: (A) Afloramento de anfibolito dobrado pertencente a Unidade Córrego do Santo Antônio (Coordenadas - X: 416244; Y:8190590 - TF23-AIV), 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 9.9: 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 10.1: Evolução do mapeamento geológico da região do projeto.

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Compilado de dados geocronológicos e estratigráficos das unidades compreendidas no contexto do Projeto Arenópolis.

Tabela 3.1: Cronograma das atividades do Projeto Arenópolis durante o ano de 2023.

Tabela 4.1: Características das bandas espectrais da Câmera WPM do satélite CBERS 4A. Fonte: INPE.

Tabela 4.2: Características das bandas espectrais dos sensores do Landsat 9. Fonte: NASA.

Tabela 4.3: Dados utilizados para o processamento.

Tabela 4.4: Parâmetros que nortearam a execução do levantamento. Fonte: CPRM (2004).

Tabela 4.5: Características dos domínios magnetométricos do Projeto Arenópolis.

Tabela 4.6: Características dos domínios gamaespectrométricos do Projeto Arenópolis.

Tabela 9.1: Estágios de evolução tectônica do Arco Magmático de Arenópolis referente às unidades do Projeto Arenópolis.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMG	Arco Magmático de Goiás
An	Anortita
ASA	Amplitude do Sinal Analítico
Aug	Augita
Bt	Biotita
Cco	Calcopirita
Chl	Clorita
CMA	Campo Magnético Anômalo
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
Cpx	Clinopiroxênio
Di	Diopsídio
ETR	Elementos Terras Raras
GHT	Gradiente Horizontal Total
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
Grt	Granada
Hb	Hornblenda
HFSE	<i>High Field Strength Element</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Ilm	Ilmenita
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
KF	Feldspato Potássico
LMNB	Lineamento Moiporá-Novo Brasil
LTB	Lineamento Transbrasiliano
Mag	Magnetita
MDE	Modelo Digital de Elevação
MVS	Metavulcanossedimentar

NASA	National Aeronautics and Space Administration
Nph	Nefelina
OI	Olivina
OLI	Operational Land Imager
Or	Ortoclásio
PAGO	Província Alcalina de Goiás
Phl	Flogopita
Pl	Plagioclásio
Py	Pirita
Qz	Quartzo
SCLM	<i>Sub-continental lithospheric mantle</i>
SHRIMP	<i>Sensitive High Resolution Ion Microprobe</i>
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
TIRS	<i>Thermal Infrared Sensor</i>
Ttn	Titanita
UnB	Universidade de Brasília
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
UTM	Universal Transversa de Mercator
VMS	Sulfetos Maciços Vulcanof
WPM	Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura
ZCCA	Zona de Cisalhamento Córrego da Areia
ZCP	Zona de Cisalhamento Piranhas
ZCR	Zona de Cisalhamento Ribeirão

SUMÁRIO

1. Introdução	21
1.1. Objetivos.....	22
1.2. Localização e Vias de Acesso.....	22
1.3. Aspectos Fisiográficos.....	23
1.3.1. Clima e Vegetação.....	23
1.3.2. Hidrografia.....	26
1.3.3. Geomorfologia.....	27
1.3.4. Pedologia.....	28
2. Geologia Regional	31
2.1. Província Tocantins e o Orógeno Brasília.....	31
2.2. Arco Magmático de Goiás.....	34
2.3. Segmento Arenópolis.....	35
2.4. Unidades inseridas no Projeto Arenópolis.....	38
2.4.1. Gnaiss Ribeiro.....	41
2.4.2. Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas.....	42
Unidade Córrego do Santo Antônio.....	42
Unidade Córrego da Onça.....	42
2.4.3. Gnaiss Arenópolis.....	43
2.4.4. Gabro Morro do Baú.....	44
2.4.5. Granito Serra do Tatu.....	44
2.4.6. Granito Ribeirão Água Limpa.....	44
2.4.7. Vulcânicas Córrego do Horácio.....	45
2.4.8. Granito Serra do Iran.....	46
2.4.9. Granito Rio Caiapó.....	46
2.4.10. Granito Serra Negra.....	46
2.4.11. Bacia do Paraná.....	47
Formação Vila Maria.....	48
Formação Furnas.....	48
Formação Ponta Grossa.....	49
2.4.12. Província Alcalina de Goiás (PAGO).....	49
3. Materiais e Métodos	50
3.1. Etapa Pré-Campo.....	51
3.2. Etapa Campo.....	51
3.3. Etapa Pós-Campo.....	54
4. Sensoriamento Remoto e Geofísica	54
4.1. Sensoriamento Remoto.....	55
4.1.1. Natureza dos Dados.....	56
CBERS 4A.....	56
Landsat 9 OLI/TIRS.....	57
Modelo Digital de Elevação (MDE).....	58

4.1.2. Processamento dos Dados.....	58
CBERS 4A.....	59
LANDSAT 9 OLI/TIRS	60
Modelo Digital de Elevação (MDE)	60
4.1.3. Produtos e Interpretações.....	61
CBERS 4A.....	61
Landsat 9 OLI/TIRS	62
Modelo Digital de Elevação (MDE)	64
Mapa Base.....	69
3.1. Aerogeofísica.....	71
Magnetometria.....	72
Gamaespectrometria	72
3.1.1. Natureza dos Dados	73
3.1.2. Processamentos	74
Método Magnetométrico	74
Método Gamaespectrométrico.....	75
3.1.3. Produtos e Interpretações.....	76
Magnetometria.....	76
Gamaespectrometria	80
5. Geologia do Projeto Arenópolis.....	84
5.1. Embasamento: Gnaiss Ribeirão	85
5.2. Arco Magmático de Goiás.....	87
5.2.1. Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas	87
Unidade Córrego do Santo Antônio	87
Unidade Córrego da Onça	88
Gabro Morro do Baú	90
5.2.2. Gnaiss Arenópolis.....	92
5.2.3. Intrusões sin-tectônicas	92
Granito Serra do Tatu	93
Granito Ribeirão Água Limpa	94
5.2.4. Intrusões tardi-tectônicas.....	95
Granito Serra do Iran	96
Granito Rio Caiapó.....	97
Vulcânicas Córrego do Horácio.....	99
5.3. Bacia do Paraná	100
5.4. Província Alcalina de Goiás	101
6. Geologia Local e Petrografia da Área III.....	103
6.1. Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas	105
6.1.1. Unidade Córrego Santo Antônio	105
Corpos máficos e ultramáficos	106
Rochas Metassedimentares.....	109

6.2. Gnaiss Arenópolis.....	110
Ortognaisses Tonalíticos	112
Anfibolitos	114
6.3. Granito Ribeirão Água Limpa.....	115
Biotita Granodiorito	117
Hornblenda-Biotita Tonalito	118
6.4. Granito Rio Caiapó	120
6.4.1. Fácies Félsica	122
Sienogranito Fino.....	123
Granodiorito	123
6.5. Granito Serra do Iran	125
6.5.1. Fácies Félsica	126
6.5.2. Fácies Intermediária	129
6.5.4. Fácies Subvulcânica	131
6.6. Rochas hidrotermais	134
6.7. Província Alcalina de Goiás (PAGO)	135
6.7.1. Fácies Plutônica.....	138
6.7.2. Fácies Vulcânica.....	144
7. Geologia Estrutural	146
7.1. Domínios Estruturais.....	148
7.2. Arcabouço Estrutural Dúctil.....	151
7.3. Arcabouço Estrutural Rúptil	154
7.4. Microestruturas	156
8. Geologia Econômica.....	159
8.1. Potencial Metalogenético do Arco Magmático Goiás.....	159
8.2. Potencial Econômico do Projeto Arenópolis	161
8.2.1. Sistemas Magmático-Hidrotermais	165
8.2.2. Sistemas Hidrotermais	166
8.2.3. Sistema associado ao magmatismo alcalino	166
8.2.4. Minerais e rochas industriais	167
Mármore.....	167
Talco	167
Areias e seixos.....	168
Argilas	168
Rochas ornamentais/revestimento	168
8.3. Potencial Metalogenético da Área III	169
Sistema Aurífero Orogênico.....	169
Sistema Magmático-Hidrotermal.....	170
Sistema associado ao magmatismo alcalino	171
Minerais e Rochas Industriais.....	172
9. Evolução Tectônica do Projeto Arenópolis	173

9.1. Estágio de Arco Intra-Oceânico	176
9.2. Estágio de Colisão Arco-Continente	179
9.4. Estágio Extensional	184
9.5. Magmatismo Alcalino	185
10. Conclusões	189
10.1. Discussões.....	191
11. Referências Bibliográficas	193

1. Introdução

Esse trabalho apresenta o Relatório Final de graduação em Geologia pela Universidade de Brasília. O trabalho foi desenvolvido pela Área III que concerne à disciplina de Trabalho de Mapeamento Geológico Final, denominado Projeto Arenópolis, pelo Instituto de Geociências. O projeto foi realizado por um grupo de 21 estudantes, dividido em 10 áreas, sob orientação de 5 professores. A disciplina foi coordenada pela Profa. Dra. Natalia Hauser e co-coordenada pelo Professor Dr. Gustavo Viegas. A equipe de orientadores foi composta pelos Professores Drs. Elton Dantas, Caio Arthur Santos, Julia Curto Ma e Henrique Llacer Roig da Universidade de Brasília e Dr. Ítalo Lopes da Universidade Federal de Uberlândia.

O Projeto Arenópolis trata de um mapeamento geológico em escala 1:25.000 realizado no sudoeste do estado de Goiás, inserido nos Municípios de Piranhas/GO e Arenópolis/GO. A área total de mapeamento se resume a uma poligonal com cerca de 900 km², com áreas variando entre 80 e 115 km².

A região do Projeto está situada no setor sudoeste do Orógeno Brasília, na porção sul do Arco Magmático de Goiás, conhecido como Segmento Arenópolis. Além disso, na área do projeto, há deposições sedimentares que fazem parte da porção norte da Bacia do Paraná. O Segmento Arenópolis é caracterizado por ortognaisses e intrusões sin a pós-orogênicas, expostos em terrenos com direções NNW e NNE, situados entre as sequências metavulcano-sedimentares (Pimentel & Fuck, 1992). A área compreende grande parte da Sequência Metavulcanossedimentar (MVS) Arenópolis-Piranhas, que carece de detalhamento cartográfico para o entendimento do ambiente relacionado ao desenvolvimento do Segmento Arenópolis. Na região do projeto também ocorrem corpos alcalinos orientados na direção N30W, que fazem parte da Província Alcalina de Goiás (PAGO), cuja importância é vista tanto do ponto de vista científico quanto econômico.

O projeto se justifica pela carência de cartografia geológica em escala 1:25.000 dessa região. A disponibilidade de dados geofísicos regionais, como levantamentos aerogeofísicos, e a importância geotectônica da área motivaram a escolha do mapeamento na área.

Este relatório tem foco especificamente na Área III, proporcionando uma análise detalhada das descobertas e observações feitas durante o mapeamento geológico. Ao longo do relatório serão destacadas as características geológicas e sua

relevância para o entendimento da evolução tectônica e potencial econômico da região estudada.

1.1. Objetivos

O principal objetivo do Projeto Arenópolis foi conduzir um mapeamento geológico em escala 1:25.000 na região do Arco Magmático de Goiás, especificamente no Segmento Arenópolis. Este projeto visou produzir um mapa detalhado da geologia da área de estudo e elaborar um relatório técnico abrangente que descrevesse as atividades realizadas, os resultados obtidos e as interpretações feitas para cada unidade geológica.

Dentre os objetivos, buscou-se identificar os diferentes tipos e formas de contatos entre as unidades geológicas presentes, delimitar os domínios estruturais, realizar análises petrográficas e aplicar modelos de evolução tectônica adequados para a área de estudo, com base nos modelos já reconhecidos na literatura para o Segmento Arenópolis. Além disso, também identificou-se as ocorrências minerais e o potencial metalogenético da área. De maneira mais específica, um dos objetivos do Projeto Arenópolis foi reconstruir o ambiente tectônico em que ocorreu a deposição da sequência metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas, das diferentes unidades relacionadas aos estágios de evolução do arco magmático, até as intrusões pós orogênicas.

O Projeto Arenópolis visa, ainda, fornecer uma compreensão mais detalhada da geologia da região, contribuindo para o conhecimento geológico da área e suas implicações tectônicas.

1.2. Localização e Vias de Acesso

A área do projeto localiza-se entre os municípios de Piranhas e Arenópolis, no estado de Goiás, região centro-oeste do Brasil, localizada no Fuso 22S pela Projeção UTM (Universal Transversa de Mercator), como mostra a Figura 1.1. Além disso, a área mapeada está inserida na porção sul do Arco Magmático Goiás, definido por Fuck & Pimentel (1994) como uma compartimentação do Orógeno Brasília, e em parte na Bacia do Paraná.

A cidade de Piranhas/GO, local utilizado para hospedagem durante a etapa de campo, situa-se a cerca de 550 km de distância de Brasília. Partindo da Universidade de Brasília, a sede Municipal de Piranhas/GO possui acesso através da rodovia BR-

060 sentido sudoeste e, posteriormente, pela via GO-060, passando pela capital Goiânia e pelo município de Iporá até o destino.

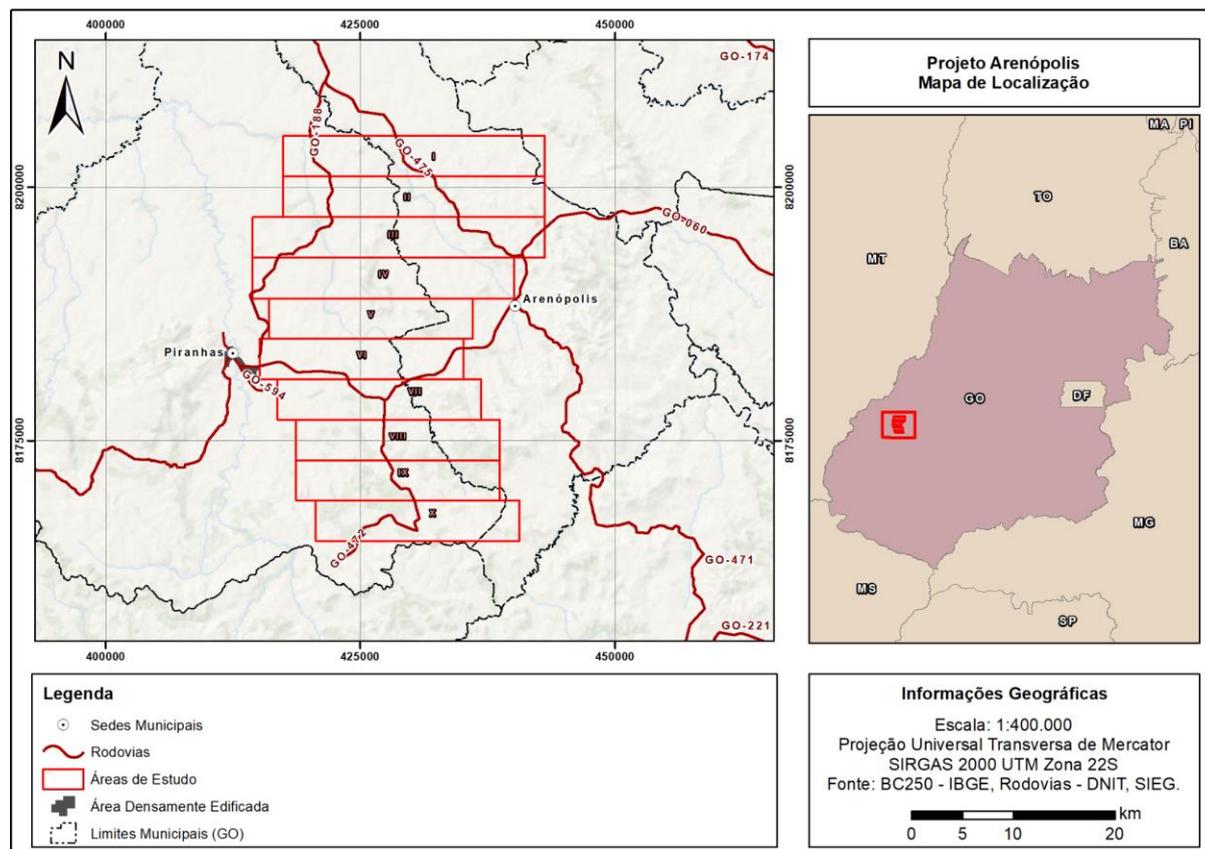


Figura 1.1: Mapa de localização com vias de acesso do Projeto Arenópolis e divisão das áreas de mapeamento.

1.3. Aspectos Fisiográficos

O estado de Goiás, situado na região Centro-Oeste do Brasil, faz divisa com os estados de Minas Gerais (Sudeste); Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Distrito Federal (Centro-Oeste); Bahia (Nordeste); Tocantins (Norte). De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020), possui uma população estimada de 7.113.540 pessoas, abrangendo uma área territorial de 340.086,698 km², dividida em 246 municípios. Dois destes municípios, localizados na região noroeste do estado, são representados por Piranhas e Arenópolis, que abrangem respectivamente 1.578,42 km² e 1.238,76 km² de extensão territorial.

1.3.1. Clima e Vegetação

O município de Piranhas está localizado na região Centro-oeste do Brasil, caracterizada por invernos secos (abril a maio) e verões chuvosos (outubro a março).

Segundo a classificação de Köppen-Geiger (1948), o clima é descrito como tropical de savana ou cerrado.

De acordo com os dados climatológicos de 2023 (Figura 1.2), a precipitação anual média é de aproximadamente 1360 mm, distribuídos predominantemente no período chuvoso, ou seja, entre os meses de outubro e março. Desta forma, a temporada de seca ocorre entre abril e setembro, período em que ocorreu a etapa de campo.

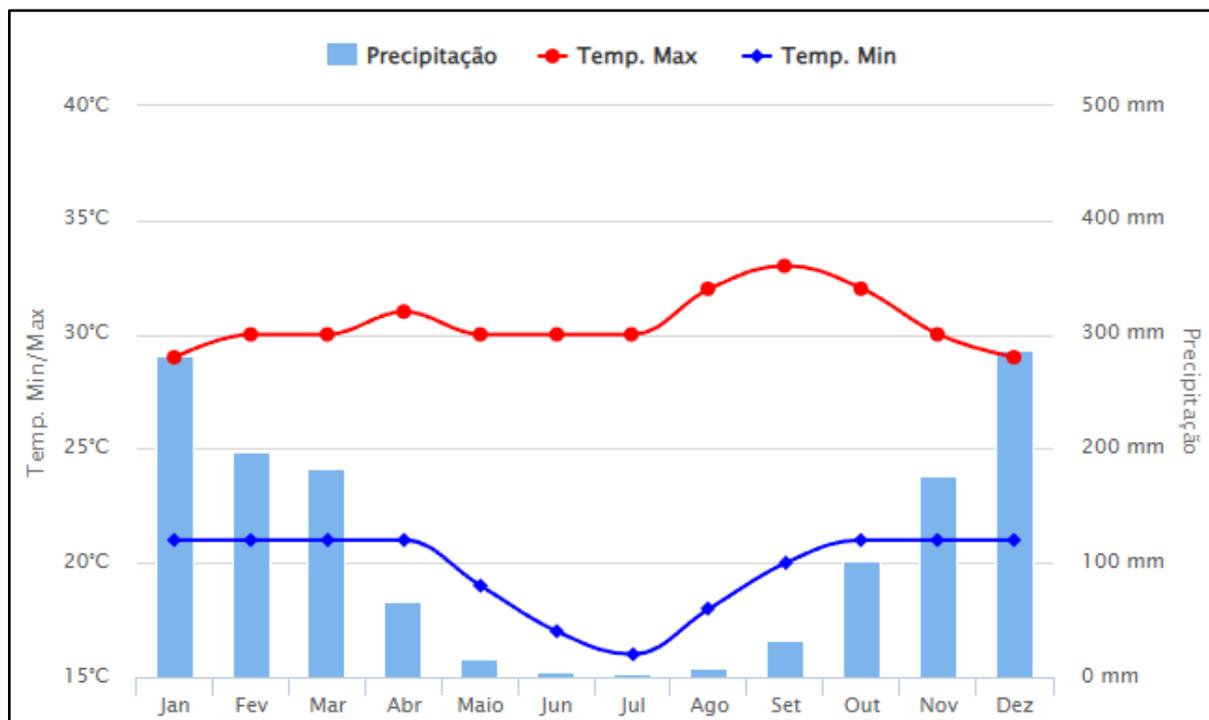


Figura 1.2: Gráfico apresentando as condições climatológicas anuais do município de Piranhas. Fonte: Climatempo (2023).

Inserido no Bioma Cerrado, a área do Projeto Arenópolis é caracterizada por árvores de pequeno porte, caule sinuoso e casca grossa, com folhas grandes e raízes longas, capazes de suportar o clima seco propenso a queimadas. Entretanto, o que essa vegetação realmente recobre hoje em dia, está restrito a serras e morros em locais de difícil acesso, uma vez que a paisagem vegetal está substancialmente alterada pela ação antrópica, de maneira que grande parte da região é ocupada por pastagens e plantações extensivas (Pimentel, 1985).

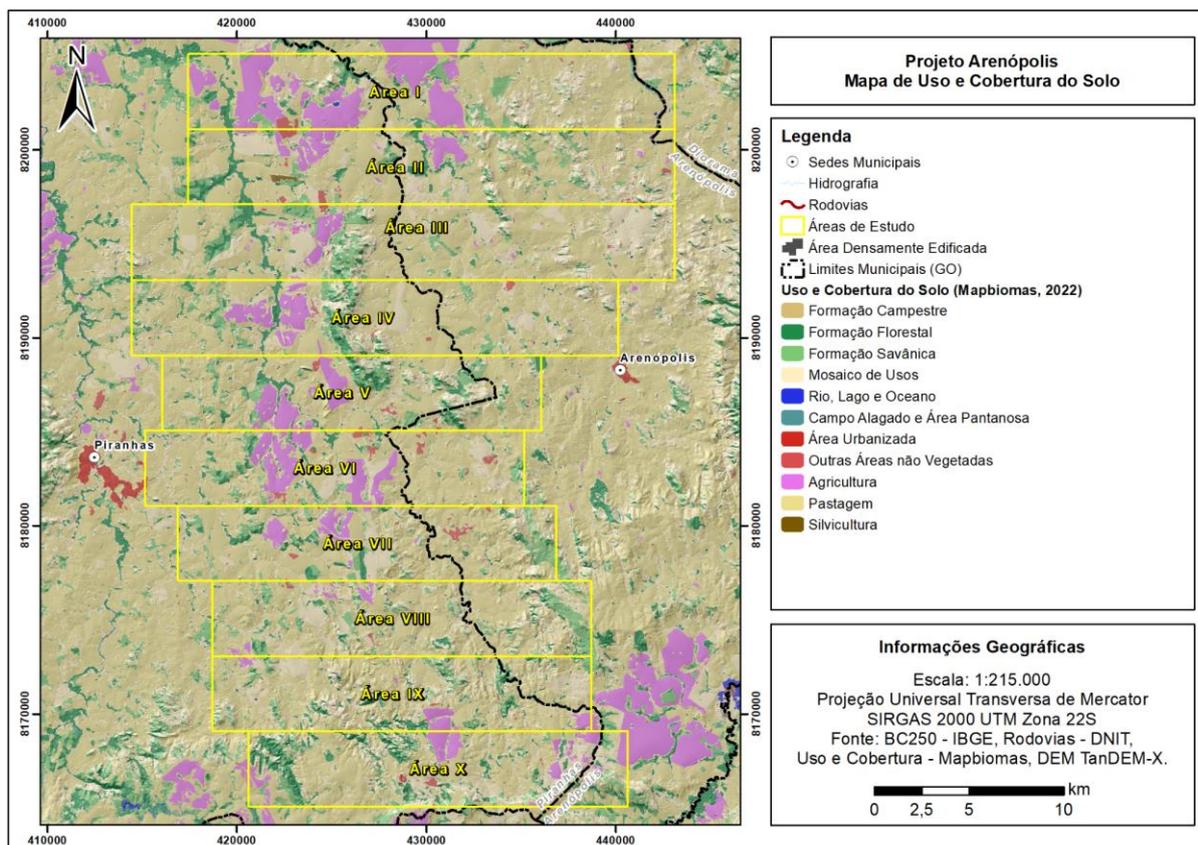


Figura 1.3: Mapa de Uso e Cobertura do Solo do Projeto Arenópolis. Fonte: MapBiomas (Souza *et al.*, 2022).

Uso e Cobertura do Solo	Área (Ha)	Área (%)
Área Urbanizada	8.07	0.01%
Silvicultura	31.44	0.03%
Campo Alagado e Área Pantanos	40.47	0.04%
Rio, Lago e Oceano	50.57	0.06%
Formação Campestre	109.59	0.12%
Outras Áreas não Vegetadas	703.57	0.78%
Formação Florestal	5156.09	5.71%
Agricultura	6233.30	6.90%
Formação Savânica	7856.75	8.70%
Mosaico de Usos	20180.78	22.35%
Pastagem	49919.34	55.29%
TOTAL	90289.97	100.00%

Figura 1.4: Quantitativo do Uso e Cobertura do Solo para o Projeto Arenópolis.

As Figuras 1.3 e 1.4 apresentam, respectivamente, o Mapa de Uso e Cobertura do Solo. A Figura 1.4 contém os dados quantitativos, nos quais pode-se perceber a predominância de ocorrência da classe Pastagem (55%), com ocorrência de áreas de Agricultura (aproximadamente 7%) predominantemente na porção norte do projeto. A classe de vegetação nativa predominante é a Formação Savânica (8,7%), porém com ocorrência de Formação Florestal (5,71%) principalmente nas drenagens de maior porte (matas de galeria) e nas regiões de maior elevação.

No contexto do projeto, espera-se a ocorrência de menor quantidade de afloramentos rochosos na porção norte, uma vez que predominam as atividades agropecuárias. A região mais elevada, na qual concentra-se a maior quantidade de vegetação nativa do projeto, é a Serra da Margarida, que possui cota máxima de aproximadamente 625 metros e está localizada na porção central das áreas III a V, que ocorre sobre rochas de composição granítica.

1.3.2. Hidrografia

O município de Piranhas e a área do Projeto Arenópolis estão inseridos na área delimitada pela Região Hidrográfica do Araguaia, com área de 86.109 km², envolvendo 49 municípios de Goiás (Souza & Rodrigues, 2018). De acordo com a Figura 1.4, há diversas sub-bacias hidrográficas, com destaque para as bacias hidrográficas do Caiapó, Córrego da Areia, Ribeirão, e Rio Piranhas, que ocorrem na Área III. Destacam-se os córregos do Retiro Velho, da Areia, Santo Antônio, Sucuri, da Onça e ribeirões Bom Jardim e Ribeirão como as principais drenagens que cortam a área do projeto.

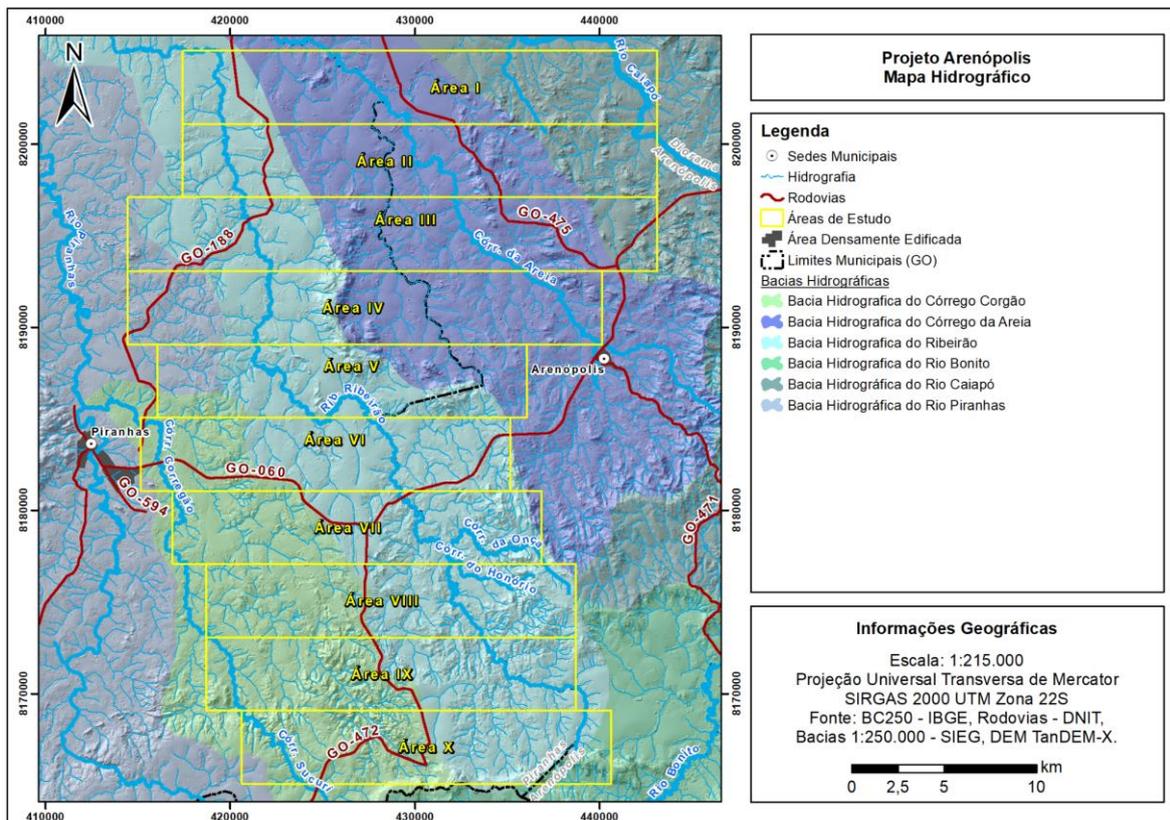


Figura 1.4: Mapa Hidrográfico da região do Projeto Arenópolis. Fonte: Agência Nacional de Águas - ANA, 2017.

1.3.3. Geomorfologia

De acordo com a descrição de Souza & Rodrigues (2018), toda a área do município está inserida na unidade geomorfológica dos Planaltos e Chapadas da Bacia Sedimentar do Paraná. Foi descrito também que o relevo da área se apresenta bastante dissecado, em forma predominantemente convexa com vales em “V”, e níveis de aplainamento significativos.

Já de acordo com o Projeto Iporá da CPRM - Serviço Geológico do Brasil (Folha Iporá SE.22-V-B-III), o relevo é condicionado à geologia do terreno, que se apresenta predominantemente aplainado nos domínios de rochas gnaissificadas e em partes dos terrenos sedimentares e da Bacia do Paraná. Já as elevações estão relacionadas aos corpos graníticos intrusivos e às rochas da Província Alcalina de Goiás. A Área III do Projeto Arenópolis apresenta variação de altitude em relação ao nível do mar entre 360 e 530 metros, de maneira que as porções de maior elevação estão relacionadas às intrusões mencionadas anteriormente.

Com respeito à compartimentação geomorfológica, a área do Projeto Arenópolis está inserida em dois domínios (Figura 1.5). Os principais compartimentos geomorfológicos são Relevo de Morros e Colinas e Superfície Regional de Aplainamento. Vale destacar que os domínios de Relevo de Morros e Colinas coincidem com a ocorrência de rochas graníticas de caráter sin a pós orogênicos, enquanto a Superfície Regional de Aplainamento corresponde à ocorrência de rochas gnaissificadas e à Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas.

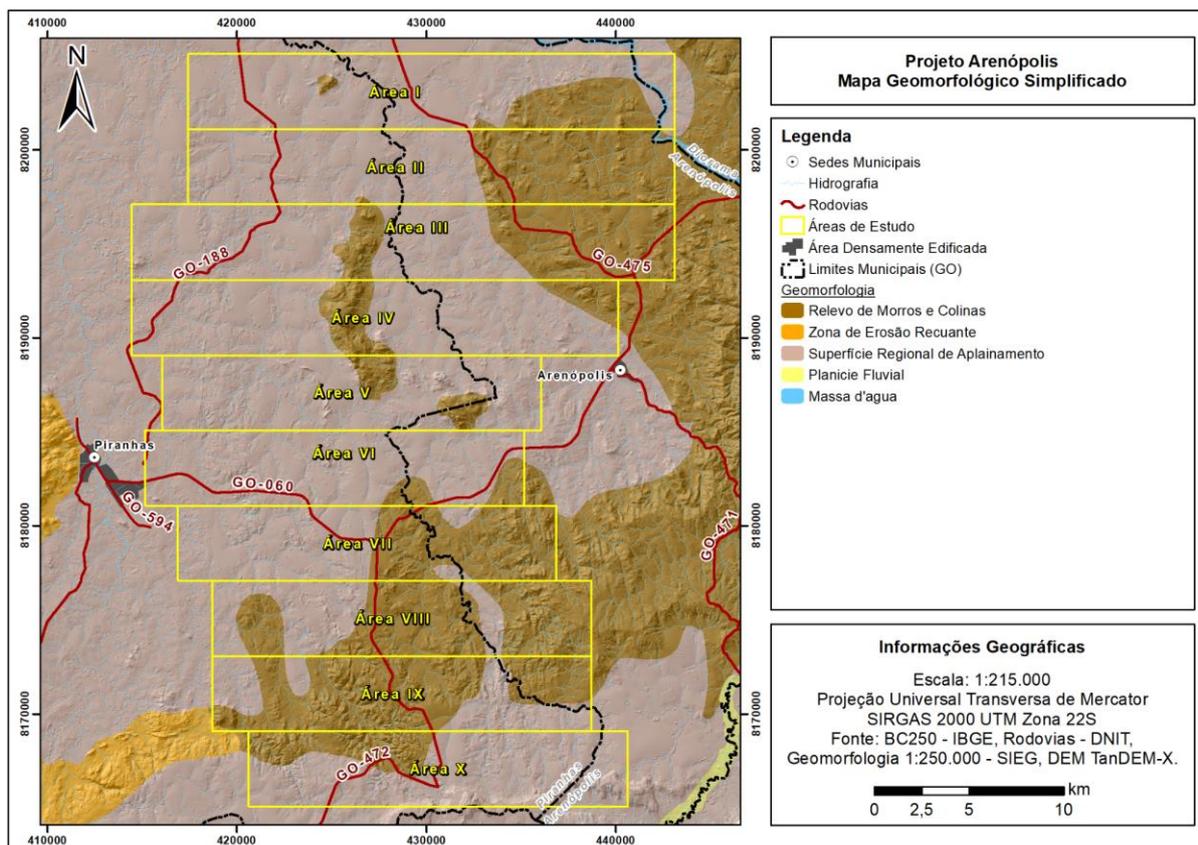


Figura 1.5: Mapa geomorfológico simplificado da região do Projeto Arenópolis. O relevo sombreado contido no mapa auxilia no destaque da compartimentação de relevo de Morros e Colinas em porções mais elevadas. Fonte: SIC-GO - Superintendência de Geologia e Mineração do Goiás (2006).

1.3.4. Pedologia

Quanto aos solos existentes na área do Projeto Arenópolis, são classificados como Argissolos Vermelho-Amarelos, Nitossolos Vermelhos, Latossolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos e Cambissolos Háplicos (Figura 1.6) com base nos dados disponíveis no portal SIEG-GO em escala 1:250.000. Os processos pedogenéticos ocorrem como produto combinado de todos os aspectos fisiográficos descritos acima. Desta forma, por meio da pedologia, pode-se entender diversos aspectos da paisagem atual e pretérita.

Ao longo do trabalho de campo percebeu-se a predominância de Latossolos Vermelhos no contexto da Área III, além de ocorrências em larga escala de solos podzolizados principalmente nas porções central e leste da área. De maneira geral, os Latossolos Vermelhos ocorrem nas regiões mais arrasadas, inseridas no compartimento geomorfológico “Superfície Regional de Aplainamento”, grandes áreas planas a suavemente onduladas intensamente intemperizadas, nas quais atuam principalmente os processos pedogenéticos de transformação e remoção. Uma

vez que estes processos são muito intensos, a ocorrência dos Latossolos é controlada predominantemente pelo relevo, sem clara correlação litológica, uma vez que ocorrem ao longo de várias unidades geológicas abarcadas no projeto.

Já os solos podzolizados (Argissolos e Nitossolos) não puderam ser discriminados entre si ao longo do trabalho de campo, uma vez que são necessárias análises texturais para tal. Porém, foram identificados solos com horizonte subsuperficial podzolizado (B_{textural} ou $B_{\text{nítico}}$) principalmente sobre rochas graníticas (Granitos Serra do Iran e Rio Caiapó). Estes horizontes são caracterizados pela translocação de argilas dos horizontes mais rasos para o horizonte B, gerando um gradiente textural, sendo possível até mesmo identificar a cerosidade.

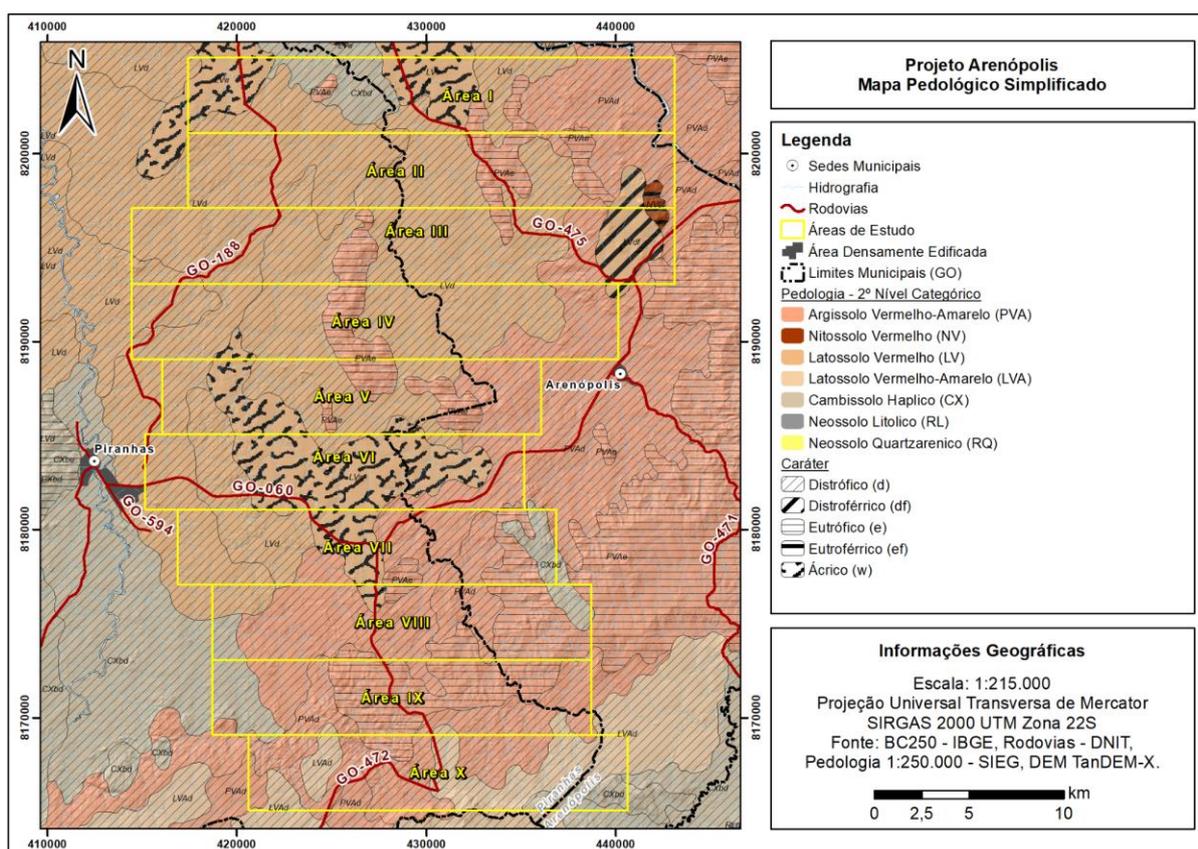


Figura 1.6: Mapa pedológico simplificado com as unidades através de dois níveis categóricos na região do Projeto Arenópolis, na escala 1:250.000. Fonte: EMATER - Agência Goiana de Assistência Técnica, Extensão Rural e Pesquisa Agropecuária (2017).

Na maior parte da Área III, predominam solos distróficos, com pouco conteúdo de elementos do complexo sortivo (K, Na, Ca, Mg). Uma vez que muitos dos litotipos cobertos por solos distróficos apresentam grande quantidade destes elementos, pode-se concluir que eles foram lixiviados pelos processos pedogenéticos, como, por exemplo, as ocorrências de Latossolos Vermelhos Distróficos sobre as unidades

Serra do Iran e Ribeirão Água Limpa, que apresentam composição granítica. Os solos eutróficos são encontrados sobre a Serra da Margarida, composta pelas rochas do Granito Serra do Iran, na Serra do Retiro Velho, composta por rochas do Granito Rio Caiapó, e na porção nordeste do Complexo Alcalino.

De acordo com os dados disponibilizados no portal SIEG-GO (Sistema Estadual de Geoinformação - Goiás), de um mapeamento pedológico em escala 1:250.000 realizado pela EMATER, no extremo leste da Área III ocorre Nitossolos Vermelhos Eutroféricos. Nesta região, afloram rochas alcalinas da PAGO (Província Alcalina do Goiás) com alto conteúdo de ferro e elementos do complexo sortivo. Em associação com os dados de campo, conclui-se que esta classificação aparenta estar correta, uma vez que este local é intensamente utilizado para agricultura e pastagens, por ser um solo fértil. A oeste dos Nitossolos, são descritos Latossolos Vermelhos distroféricos, portanto existe uma provável compartimentação do complexo alcalino que disponibiliza mais ou menos elementos do complexo sortivo, gerando caráter eutrófico ou distrófico, à depender da região.

Apesar de não constarem na base de dados, foram encontrados em menor escala Cambissolos Háplicos, Gleissolos, Neossolos Flúvicos, Neossolos Litólicos e Neossolos Quartzarênicos.

Os Cambissolos Háplicos foram identificados em regiões de relevo suave ondulado a ondulado, ou seja, próximo aos relevos de morros e colinas, porém em porções de menor declividade.

Os Neossolos Litólicos ocorrem como pequenas manchas ao longo de toda a área, porém predominam no centro e nos extremos da Área III, tanto a oeste quanto a leste. Na porção oeste, estão associados principalmente à unidade Ribeirão Água Limpa, que apresenta grandes afloramentos em lajedo, com solos pouco desenvolvidos. Na região central, estão associados à Serra da Margarida, e ocorrem próximo ao topo do morro, onde os Argissolos dão lugar a Cambissolos e Neossolos Litólicos. Já na porção Leste, estão intimamente ligados à lajedos localizados na Serra do Retiro Velho, inserida na unidade Granito Rio Caiapó.

Por último, os Neossolos Flúvicos e Gleissolos estão associados às drenagens de maior relevância da área, em especial ao Ribeirão Ribeirão e ao Córrego da Areia. Nas proximidades das margens do Ribeirão Ribeirão, foi identificada uma área de aproximadamente 400 metros de largura coberta por solos hidromórficos,

classificados como Gleissolos. Além disso, foi visto material transportado pela água ao longo do leito de várias drenagens, onde foram classificados Neossolos Flúvicos.

2. Geologia Regional

A área do Projeto Arenópolis está inserida na porção central da Província Tocantins (Almeida *et al.*, 1977. Almeida *et al.*, 1981) de idade neoproterozóica, mais especificamente no setor sudoeste do Orógeno Brasília, na porção sul do Arco Magmático de Goiás, identificada como Segmento Arenópolis. Na área, também ocorrem coberturas sedimentares pertencentes à porção norte da Bacia do Paraná.

2.1. Província Tocantins e o Orógeno Brasília

De acordo com Almeida *et al.* (1981), a Província Tocantins foi formada a partir de um evento de orogênese no neoproterozóico que se desenvolveu em consequência da convergência e colisão dos paleocontinentes São Francisco–Congo, Amazônico e Parapanema, este último recoberto pela Bacia do Paraná. Essa província é compreendida por três cinturões orogênicos, denominados orógenos Araguaia e Paraguai próximos ao Cráton Amazônico, e o Orógeno Brasília próximo ao Cráton do São Francisco. Tais orógenos se formaram a partir do movimento convergente dos paleocontinentes durante a amalgamação do Gondwana Ocidental, mais especificamente na Orogenia Brasileira (Brito Neves *et al.* 1999).

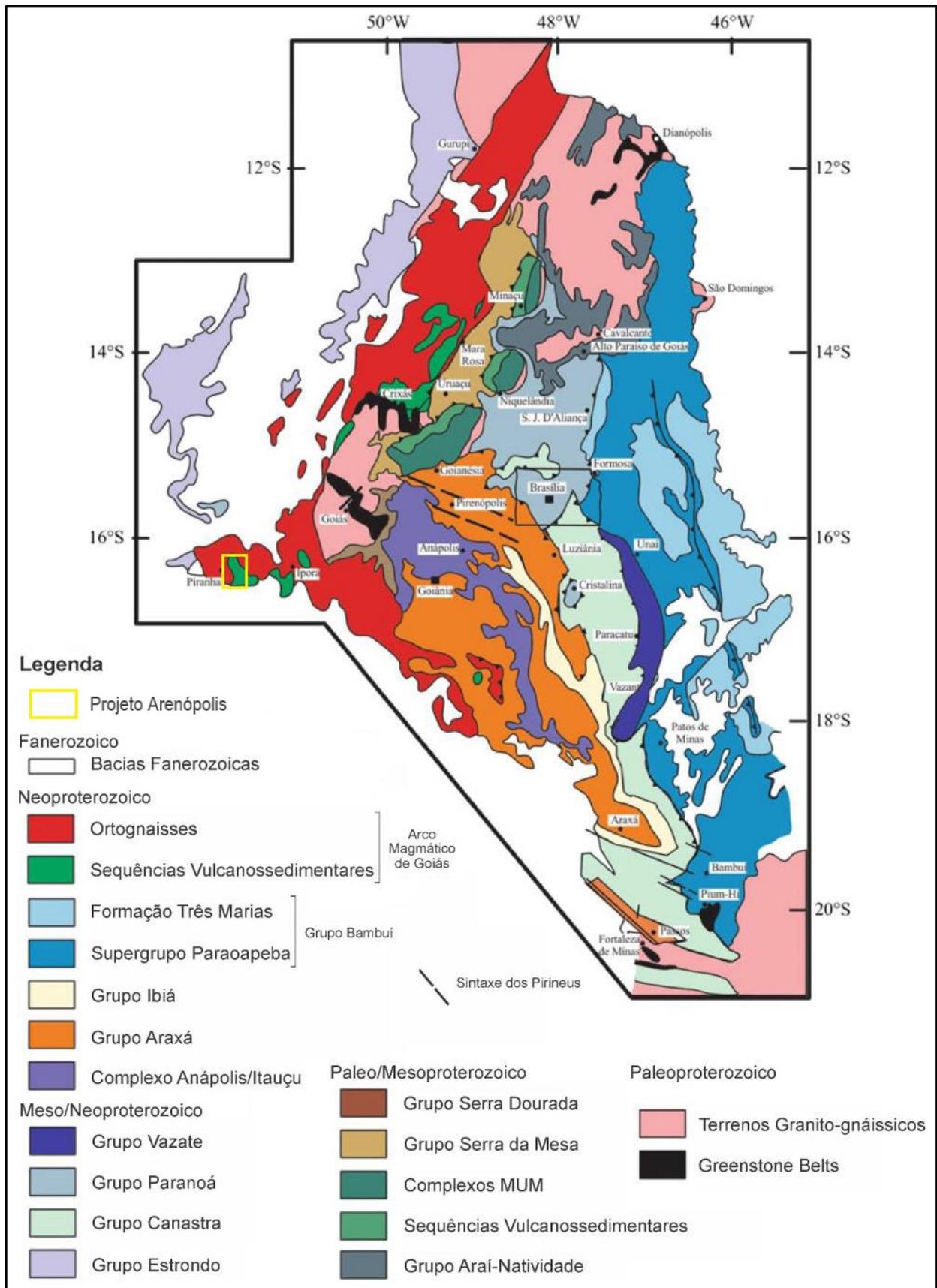


Figura 2.1: Mapa geológico regional do Orógeno Brasília com destaque para a área do Projeto Arenópolis. (Adaptada de Fuck, 2017).

O Orógeno Brasília constitui um cinturão de dobras e cavalgamentos com cerca de 1100 km de extensão ao longo da margem do Cráton do São Francisco (Pimentel, 2011), cobrindo partes dos estados de Tocantins, Goiás, Minas Gerais e o Distrito Federal. Segundo Uhlein (2012), o Orógeno Brasília apresenta evolução possivelmente diacrônica, podendo ser dividida em porção meridional e setentrional. A porção meridional é resultado da convergência entre os paleocontinentes São Francisco e Paranapanema, enquanto que a porção setentrional registra a interação entre os paleocontinentes São Francisco e Amazônico. A estruturação é distinta entre os segmentos meridional e setentrional. Enquanto o segmento norte apresenta direção preferencial NE-SW seguindo até o norte de Tocantins, o segmento sul apresenta trama NW-SE até a região da Serra da Canastra, em Minas Gerais (Lacerda Filho *et al.*, 2021). Essas duas tendências estruturais convergem em direção à Sintaxe dos Pirineus, definida por Araújo Filho (2000) como uma curvatura com concavidade para o antepaís, formada durante a Orogenia Brasileira. Vale ressaltar que dados geocronológicos indicam que a porção meridional é mais antiga, com deformação e metamorfismo entre 650-580 Ma, enquanto que a porção setentrional é mais jovem, com a colisão entre os paleocontinentes datada entre 560-540 Ma. Durante a Orogenia Brasileira, as unidades tectônicas que estiveram envolvidas na formação da Província Tocantins podem ser resumidas em sequências metassedimentares meso-neoproterozóicas, o Arco Magmático de Goiás e o Maciço de Goiás.

O Lineamento Transbrasiliano (LTB) pode ser considerado como a principal feição estrutural da Província Tocantins, sendo caracterizado por falhas regionais transcorrentes de direção aproximadamente N30°E. Estas falhas podem ser caracterizadas como zonas de cisalhamento rúpteis que se estendem por mais de 4000 km, seguindo até o continente africano. De acordo com Hasui *et al.* (1970), o LTB pode estar relacionado com a colisão de blocos litosféricos a partir de um regime tectônico convergente oblíquo, dando origem aos Orógenos Brasília e Araguaia.

Conforme Fuck *et al.* (1994), e adaptado por Pimentel (2004), Uhlein (2012) e Cordeiro & Oliveira (2017), o Orógeno Brasília pode ser dividido em cinco compartimentos geotectônicos, sendo eles Zona Interna, Zona Externa, Zona Cratônica, Maciço de Goiás e Arco Magmático de Goiás. Na Zona Externa, prevalecem rochas metassedimentares neoproterozóicas plataformais de baixo grau metamórfico pertencentes aos grupos Araí, Natividade, Paranoá e Canastra. A Zona

Interna é caracterizada pelo maior grau metamórfico em relação à zona externa, sendo constituída por micaxistos de fácies xisto verde a anfibolitos dos grupos Araxá e Serra da Mesa. A Zona Cratônica é compreendida por rochas sedimentares argilo-carbonáticas suavemente dobradas a sub-horizontais, com extensas coberturas fanerozóicas e sem envolvimento do embasamento na deformação. É formada pelos grupos Bambuí e Vazante, os quais estão deformados seguindo o transporte tectônico para leste, em direção ao Cráton do São Francisco (Uhlein *et al.*, 2012). Já o Maciço de Goiás, é composto por terrenos arqueano-paleoproterozóicos que representam o embasamento da Faixa Brasília (Cordeiro, 2014).

Há uma outra compartimentação proposta e detalhada por Pimentel (2016), a qual utilizou dados geocronológicos de U-Pb em cada unidade tectônica. Cinturões de dobras e cavalgamentos e coberturas cratônicas compreendem sequências metassedimentares limitadas por falhas de empurrão e nappes, com indicativo de transporte tectônico para leste, em direção ao Cráton do São Francisco. O outro domínio é compreendido pelos terrenos de alto grau do neoproterozoico, em especial pelos complexos Uruaçu e Anápolis-Itaçu. Os três complexos máfico-ultramáficos do neoproterozoico de Barro Alto, Niquelândia e Canabrava foram distinguidos como outra unidade tectônica. Por fim, foi separado o Arco Magmático de Goiás, descrito como uma das unidades tectônicas mais importantes do Orógeno Brasília, representando episódios expressivos de acreção crustal durante a amalgamação do Gondwana.

2.2. Arco Magmático de Goiás

O Arco Magmático de Goiás é formado por um sistema de arcos vulcânicos neoproterozóicos constituídos por rochas ortognáissicas e sequências metavulcanossedimentares com intrusões de corpos graníticos sin a pós-tectônicos. A unidade pode ser dividida em dois segmentos separados pelo Maciço de Goiás (Rodrigues *et al.*, 1999).

O segmento norte, denominado Arco Mara Rosa, é formado por rochas metaplutônicas, metavulcânicas e metassedimentares de composições intermediárias a ácidas. Esse segmento apresenta orientação N-NE, sendo limitado a oeste pelo LTB e a leste pela Falha Rio dos Bois. Já o segmento sul, chamado também de Arco Arenópolis, local onde o Projeto Arenópolis está inserido, apresenta orientação N-NW e seis sequências metavulcano-sedimentares.

Dados geocronológicos indicam uma evolução complexa referente ao Arco Magmático de Goiás, com pelo menos quatro episódios de magmatismo. O primeiro ocorreu entre 900 e 820 Ma com tonalitos, dioritos e dacitos gerados em um ambiente de arco intra-oceânico (Pimentel & Fuck, 1992). O segundo episódio foi descrito por Pimentel *et al.* (1991) como vulcanismo de arco com rochas de aproximadamente 750 Ma. O terceiro episódio também é dominado por rochas tonalíticas, porém com afinidades isotópicas e geoquímicas continentais datadas entre 660 e 630 Ma (Marques, 2017). Posteriormente, ocorreu um magmatismo sin a pós orogênico com rochas calci-alcálicas à alcálicas de idade em torno de 570 Ma, coincidente com os estágios finais do Orógeno Brasileiro (Pimentel *et al.* 1985).

Apesar das semelhanças relacionadas às idades e aos episódios de magmatismo, os arcos de Mara Rosa e Arenópolis apresentam algumas diferenças pertinentes. Enquanto no Arco Mara Rosa o grau metamórfico alcançou fácies anfíbolito, com foliação de baixo ângulo e falhas de empurrão associadas, o Arco Arenópolis apresenta metamorfismo em fácies xisto verde e foliação de alto ângulo relacionada ao desenvolvimento de zonas de cisalhamento (Marques *et al.* 2017).

2.3. Segmento Arenópolis

O segmento sul do Arco Magmático de Goiás, ou Arco Arenópolis, é compreendido por ortognaisses e intrusões tardi a pós orogênicas expostos em terrenos de direção NNW e NNE entre sequências metavulcanossedimentares (Pimentel & Fuck, 1992; Pimentel *et al.* 1999). O segmento é limitado à oeste pelo LTB e à leste pelos granulitos do Complexo Anápolis-Itauçu (Figura 2.2).

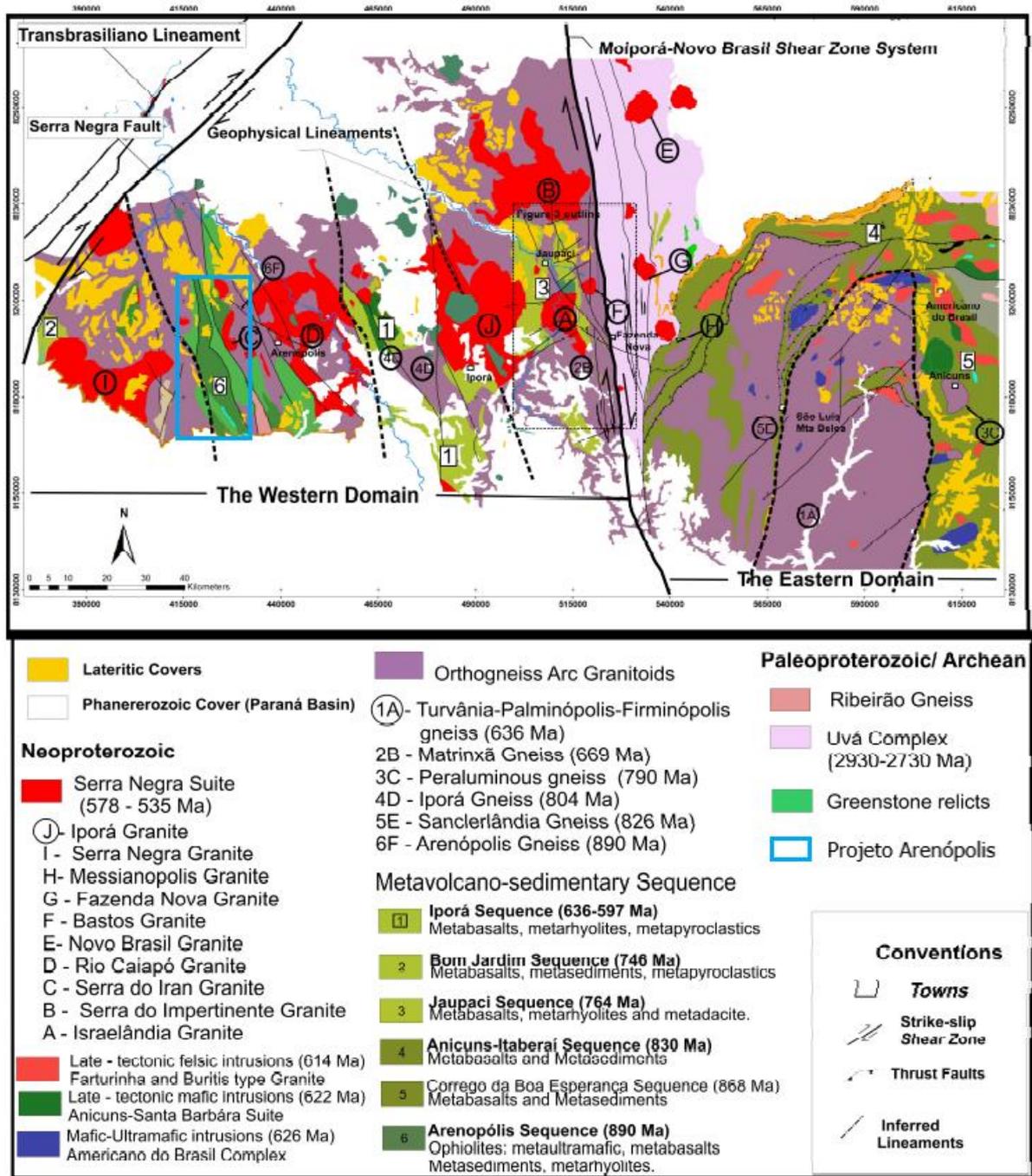


Figura 2.2: Mapa geológico do Arco de Arenópolis, com destaque para as Sequências Metavulcanossedimentares, ortognaisses e intrusões tardias graníticas (Marques, 2017).

As sequências metavulcanossedimentares são nomeadas, de oeste para leste, de: i) Sequência Bom Jardim, compreendida por rochas de arco juvenil datadas em 749 ± 6 Ma (Guimarães *et al.* 2012); ii) Sequência Arenópolis-Piranhas composta por fragmentos ofiolíticos associados com rochas metassedimentares interpretados como pertencentes à um prisma acrescionário com idade de 899 ± 6 Ma (Pimentel & Fuck, 1987, Pimentel *et al.*, 1991); iii) Sequência Iporá-Amorinópolis, composta por rochas

metavulcânicas de caráter bimodal com cerca de 636 ± 6 Ma (Rodrigues *et al.*, 1999); iv) Sequência Jaupaci (764 ± 14 Ma; Pimentel *et al.* 1991) que também consiste em rochas provenientes de magmatismo bimodal, com metabasaltos, metariolitos e metadacitos, porém, diferentemente das outras sequências, não apresenta rochas metassedimentares associadas; v) Sequências Anicuns-Itaberaí e Córrego da Boa Esperança (idades variam de 815 ± 10 Ma a 886 ± 5 Ma; Laux *et al.* 2004) compreendidas pela predominância de rochas vulcânicas máficas e metassedimentares químicas, interpretadas como provenientes de um ambiente de *forearc*.

Os ortognaisses, em geral, contêm hornblenda e biotita dentre os minerais máficos, e apresentam composições dioríticas, tonalíticas e granodioríticas. Alguns exemplos ainda exibem texturas e estruturas ígneas reliquiares, porém o mais comum são texturas miloníticas, em decorrência da deformação por zonas de cisalhamento. As assembléias mineralógicas condizem com o grau de metamorfismo em xisto verde superior, como descrito para a região. Já as intrusões sin a pós orogênicas podem apresentar caráter máfico-ultramáfico, como é o caso das intrusões de Americano do Brasil, ou intermediários à félsicos, com intrusões de composições gabro-dioríticas e graníticas (Marques, 2017).

Conforme a Figura 2.2, as unidades geológicas relacionadas ao Segmento Arenópolis estão expostas em dois domínios estruturais divididos pelo Lineamento Moiporá-Novo Brasil. O projeto Arenópolis está inserido no domínio ocidental, o qual se diferencia do domínio oriental pela ocorrência de coberturas sedimentares da Bacia do Paraná. Além disso, a estruturação do domínio ocidental é preferencialmente NNW, enquanto que o outro domínio apresenta uma orientação NNE. O Lineamento Moiporá-Novo Brasil (LMNB) é descrito por Marques (2017) como uma zona de cisalhamento dextral de direção N-S originada a partir de uma ramificação do LTB.

Na região do projeto ocorrem alguns corpos alcalinos distribuídos segundo orientação N30W, os quais estão inseridos na PAGO. Inicialmente, VanDecar *et al.* (1995), com base em dados sísmicos, propôs que o magmatismo alcalino do Cretáceo disposto nas bordas da Bacia do Paraná estaria relacionado com a Pluma Tristão da Cunha. No entanto, com novas evidências, Assumpção *et al.* (2002) associaram as rochas alcalinas da região de Iporá ao magmatismo relacionado à pluma de Trindade e com origem no Cretáceo Superior. Novas pesquisas sugerem que o magmatismo

da PAGO seja originário de domínios heterogêneos do manto metassomatizado, o qual foi fonte de elementos incompatíveis e voláteis. As intrusões relacionadas a esse magmatismo geraram kamafugitos, carbonatitos, lamprófiros, basaltos-alcálinos e sienitos com enclaves máficos (Ferreira *et al.*, 2022).

2.4. Unidades inseridas no Projeto Arenópolis

A área do Projeto Arenópolis engloba o embasamento e rochas associadas à geração do Segmento Arenópolis do Arco Magmático de Goiás. Com base nas Folhas Caiapônia (SE-22-V-B-V) e Piranhas (SE-22-V-B-II) (CPRM, 2021), a região inclui gnaisses paleoproterozoicos relacionados à unidade Gnaiss Ribeirão e a Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas, cujas unidades são separadas pelo embasamento (Figura 2.3). Ocorrem, também, unidades neoproterozóicas relacionadas aos diferentes estágios de evolução do arco, incluindo gnaisses tonalíticos, rochas vulcânicas, intrusões máficas e granitos sin a tardi orogênicos, além da cobertura sedimentar da Bacia do Paraná e complexos alcalinos da PAGO. A Tabela 2.1 e a Figura 2.4 apresentam os principais dados geocronológicos existentes na área de estudo, e associa-os aos principais eventos geológicos no período geológico.

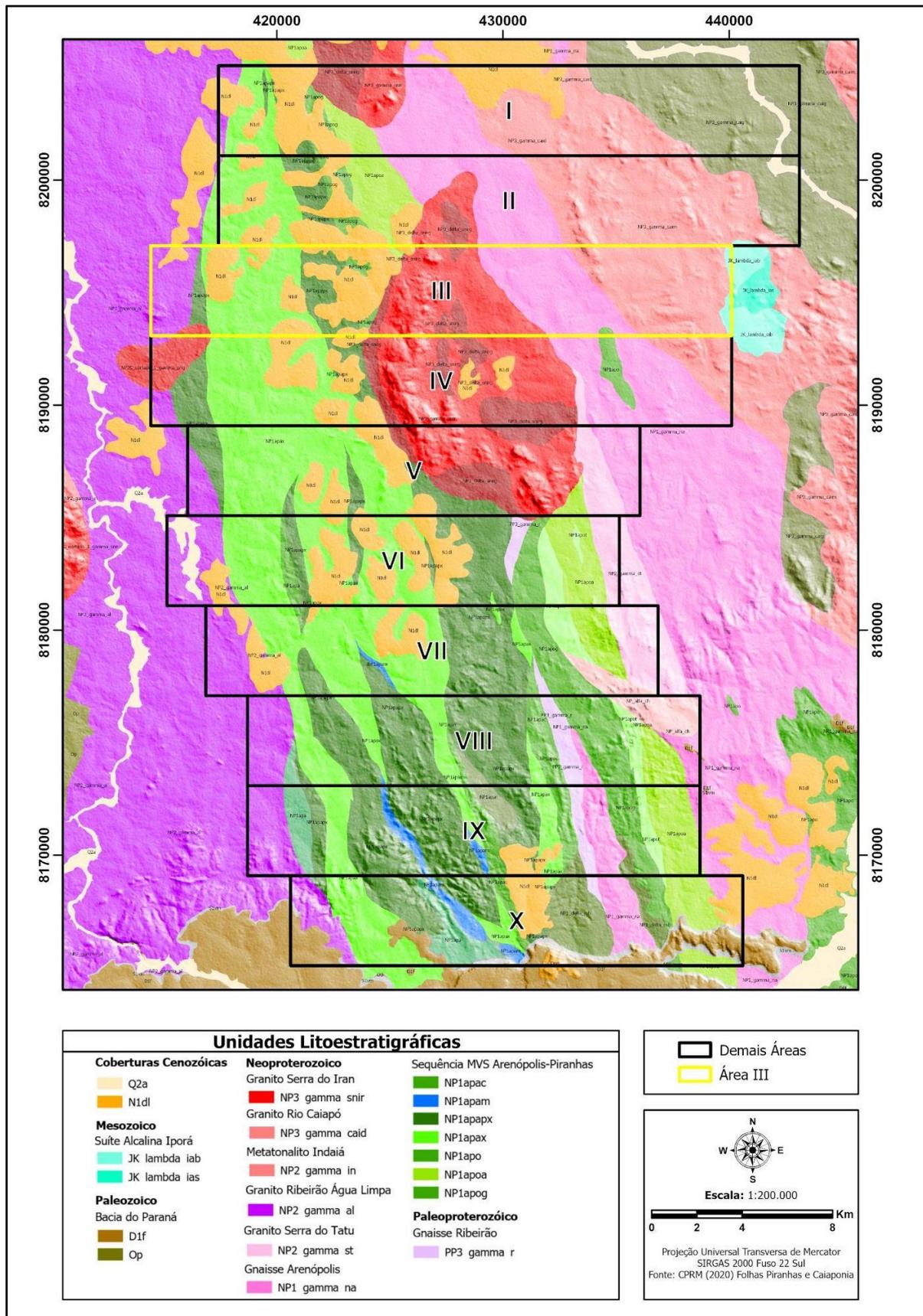


Figura 2.3: Unidades geológicas inseridas na região do Projeto Arenópolis e adjacências, segundo a CPRM (Folhas Caiaponia e Piranhas, 2020).

Tabela 2.1: Compilado de dados geocronológicos e estratigráficos das unidades compreendidas no contexto do Projeto Arenópolis.

Unidade	Descrição	Idade (Ma)	Método	Autor
Gnaiss Ribeiro	Ortognaisse	1816 ± 110	Rb-Sr	Pimentel (1992)
Seq. MVS Arenópolis-Piranhas	Metariolito	900 ± 8	U-Pb	Pimentel (1992)
	Gabro (Morro do Baú)	890 ± 8	U-Pb	Pimentel <i>et al.</i> (2003)
Gnaiss Arenópolis	Biotita Ortognaisse	899 ± 7	U-Pb	Pimentel <i>et al.</i> (1991)
Granito Serra do Tatu	Biotita Granito	692 ± 110	Rb-Sr	Pimentel <i>et al.</i> (1985)
Granito Ribeiro Água Limpa	Hbl-biotita Granito	639 ± 3	U-Pb	Haatingh <i>et al.</i> (2019)
Vulcânicas Córrego do Horácio	Tufos ácidos	-	-	Lacerda Filho <i>et al.</i> (2021)
Granito Serra do Iran	Biotita Monzogranito	588 ± 19	Rb-Sr	Pimentel <i>et al.</i> (1996)
Granito Rio Caiapó	Biotita Granito porfírico	587 ± 17	U-Pb	Pimentel <i>et al.</i> (1996)
Granito Serra Negra	Biotita Monzogranito	538 ± 17	U-Pb	Guimarães <i>et al.</i> (2007)
Bacia do Paraná	Bacia Sedimentar	Neo-Ordovociano	-	Milani <i>et al.</i> (2007)
Suíte Alcalina Iporá	Alcalinas e ultramáficas	94 ± 5	K-Ar	Sonoki & Garda (1988)

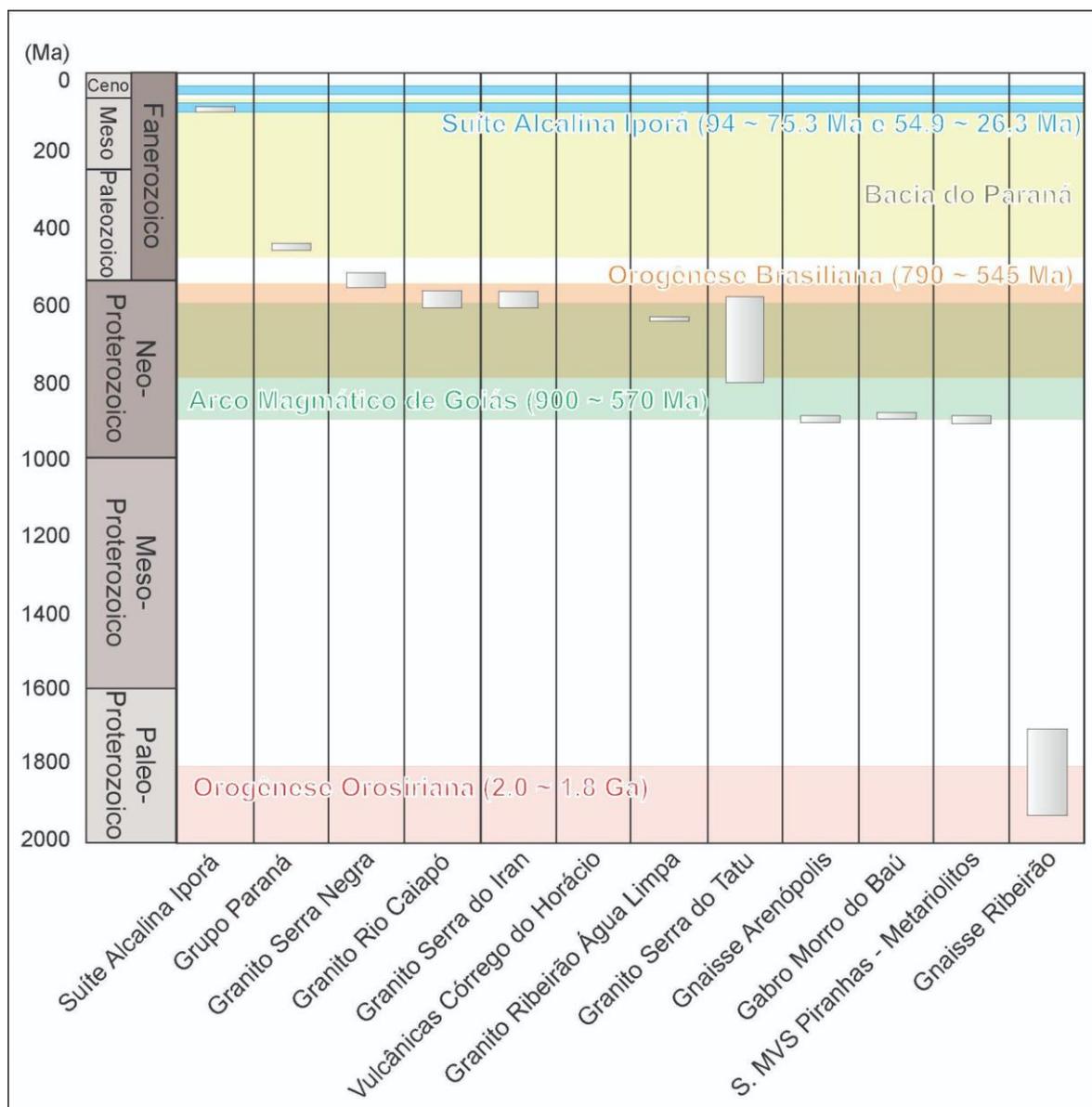


Figura 2.4: Geocronologia das unidades geológicas inseridas no Projeto Arenópolis, segundo as folhas Piranhas e Caiapônia (Lacerda Filho *et al.*, 2021) associadas aos principais eventos no período geológico.

2.4.1. Gnaissé Ribeirão

Individualizada por Pimentel (1992), a unidade denominada Gnaissé Ribeirão é composta por ortognaisses deformados. A unidade, formada por rochas compostas por bandas granoblásticas de quartzo, feldspato alcalino e plagioclásio, associadas a domínios lepidoblásticos de biotita, muscovita e granada (Lacerda Filho *et al.*, 2021) foi mapeada em uma porção estreita limitada por zonas de cisalhamento entre as unidades da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas.

Com base nos dados isotópicos adquiridos em sistemáticas Sm-Nd, Rb-Sr e Pb-Pb, Pimentel (1991) determinou uma idade de 1.8 Ga para a unidade. Além disso,

o autor interpretou que o Gnaiss Ribeirão pode representar um pequeno fragmento aloctone de um antigo material crustal tectonicamente alojado entre duas unidades provenientes de magmatismo mais jovem.

2.4.2. Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas

As características dessa sequência foram detalhadas por Pimentel (1985), o qual descreveu a separação das duas unidades por uma faixa composta por rochas gnáissicas, posteriormente definidas como Gnaiss Ribeirão. Esse autor observou que ambas as unidades apresentam as mesmas fases de deformação, logo, tiveram a mesma evolução tectônica e, por conta disso, possivelmente são contemporâneas.

Unidade Córrego do Santo Antônio

Composta predominantemente por micaxistos e corpos máficos e ultramáficos (Pimentel, 1985) descritos como anfibolitos, metagabros metapiroxenitos e serpentinitos. Os micaxistos representam as rochas originalmente provenientes de processos sedimentares, e incluem quartzo-muscovita xistos, biotita-estauroilita-muscovita xistos com ocorrência de granada, cianita e silimanita. Além disso, também ocorrem lentes de mármore localizadas na porção sul da unidade. Através de dados isotópicos, Pimentel (1992) forneceu uma idade de 900 Ma em metariolitos pertencentes à unidade.

Unidade Córrego da Onça

Através de mapeamento geológico sistemático, Pimentel (1985) descreveu uma sequência estratigráfica de leste para oeste, o que tornou possível uma divisão em sub-unidades máfica, intermediária-félsica e metassedimentar. Por conta disso, é possível que essa polaridade corresponda ao empilhamento original da unidade (Pimentel, 1985).

De acordo com Pimentel (1985), a sub-unidade Máfica é composta por anfibólitos xistos, anfibolitos basálticos e andesíticos. Essas rochas apresentam texturas e estruturas predominantemente vulcânicas, com ocorrência de texturas nematoblásticas. Possuem coloração esverdeada, granulação fina, e composição mineralógica caracterizada por hornblenda com alteração cálcica formando actinolita, oligoclásio, quartzo e plagioclásio saussuritizado. Além da actinolita, podem ocorrer

clorita e epidoto como minerais secundários. As texturas ígneas reliquias preservadas são predominantemente texturas porfiríticas e *pillow lavas*.

A sub-unidade Félsica, conforme Pimentel (1985), engloba rochas vulcânicas tufáceas quartzo-feldspáticas de granulação fina, composição dacítica a riolítica, com a ocorrência de intercalações com rochas meta-andesíticas, meta-basálticas e calcixistos. A composição mineralógica é marcada por quartzo, plagioclásio, mica branca, clorita, hornblenda, feldspato potássico, biotita, epidoto, carbonato, apatita, granada, além de minerais opacos e turmalina, o que permite a classificação petrográfica destas rochas como gnaisses e micaxistos de granulação fina.

Por último, a sub-unidade Metassedimentar, que ocupa a menor área da Unidade Córrego da Onça, é descrita por Pimentel (1985) como rochas metassedimentares, tais como metagrauvas, biotita xistos feldspáticos e quartzitos, intercaladas localmente com mármore, anfibolitos, e muscovita xistos grafitosos. Mineralogicamente, as meta-grauvas são compostas por quartzo, plagioclásio e microclínio perfitico. Já os biotita xistos feldspáticos são formados por plagioclásio, quartzo, e microclínio, com textura granoblástica marcada por cristais de biotita hipidiomórficos alinhados.

2.4.3. Gnaiss Arenópolis

Inicialmente classificado por Pena (1972), e posteriormente por Pimentel *et al.*, (1991) como hornblenda gnaisses, essas rochas afloram como blocos isolados ou pequenos lajedos na região leste da cidade de Arenópolis, em uma faixa de aproximadamente 60 km de comprimento com orientação NNW, intrudidas pelo Granito Rio Caiapó (Lacerda Filho *et al.*, 2021).

De acordo com Pimentel e Fuck (1992a), a idade modelo Sm-Nd para o Gnaiss Arenópolis está entre 1,17 e 1,07 Ga, embora a datação U-Pb de grãos de zircão e titanita apontem idades de 899 ± 7 Ma e 637 Ma, que são interpretadas como idades de cristalização e de metamorfismo (Pimentel *et al.*, 1991).

Essa unidade é composta de forma geral por: i) gabros melanocráticos com bandamento gnáissico e foliação milonítica; ii) granodioritos a tonalitos gnaissificados e intensamente deformados, compostos por rochas milonitizadas e até migmatizadas; iii) meta-quartzo monzodioritos granoblásticos; e iv) intrusões monzograníticas associadas a hidrotermalismo (Lacerda Filho *et al.*, 2021).

2.4.4. Gabro Morro do Baú

Ao longo da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas, ocorrem diversos plútons de composições gabróicas a graníticas interpretados por Pimentel & Fuck (1986, 1987) como equivalentes intrusivos às rochas vulcânicas. A unidade Gabro Morro do Baú ocorre como uma intrusão localizada na porção sul da sequência metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas, em contato com o Gnaiss Arenópolis (Pimentel *et al.*, 2003). Na unidade são descritos principalmente gabros e quartzo-dioritos melanocráticos, pouco ou não deformados (Lacerda Filho *et al.* 2021).

A partir de análise isotópica em zircões pelo método U-Pb SHRIMP e Sm-Nd da unidade, Pimentel *et al.* (2003) obtiveram uma idade de 890 ± 8 Ma, o que corresponde a uma idade mais jovem em relação às vulcânicas da unidade Córrego da Onça, datadas em 930 Ma por Pimentel *et al.*, (1991). Já os dados do método Sm-Nd mostraram contaminação do magma máfico por material síalico antigo, indicando que a unidade Gabro Morro do Baú ocorreu como intrusão no Gnaiss Ribeirão.

2.4.5. Granito Serra do Tatu

Inicialmente incluída no Complexo basal como uma faixa composta por muscovita-biotita gnaisses e posteriormente individualizado por Pimentel (1985) como unidade Granito Serra do Tatu, diferenciando-a dos hornblenda-gnaisses a leste (Lacerda Filho *et al.*, 2021). A unidade é representada por um corpo granítico alongado com direção aproximadamente N20W com foliação milonítica impressa em todo o corpo. A composição mineralógica é constituída essencialmente por microclínio pertítico, plagioclásio, quartzo, mica branca e clorita, resultante da substituição da biotita (Pimentel, 1985). O único trabalho de datação é de Pimentel *et al.* (1985) através do método Rb-Sr resultando em uma idade de 692 ± 110 Ma.

2.4.6. Granito Ribeirão Água Limpa

Essa unidade ocorre próxima às margens do Rio Piranhas, na porção oeste das áreas do Projeto Arenópolis. Inicialmente, as rochas aflorantes nessa área foram incluídas no Complexo Basal por Pena (1972) e posteriormente associadas ao Granito Rio Caiapó por Pimentel (1985), uma vez que foram descritas fácies porfíricas, levemente deformadas. Recentemente, Lacerda Filho *et al.* (2021) incluíram fácies descritas como tonalitos a granodioritos leucocráticos, granitos cinza

a cinza-esverdeados, e granitos porfiríticos róseo-esverdeados à mesma unidade denominada Granito Ribeirão Água Limpa.

Através de análise isotópica pelo método U-Pb em 24 cristais de zircão coletados em amostra de tonalitos, Lacerda Filho *et al.* (2021) obtiveram uma idade de de cristalização de 639 ± 3 Ma. O gráfico de concórdia para a análise isotópica mostrou forte contaminação crustal assinalada por grãos de zircão mais velhos (Lacerda Filho *et al.* 2021).

2.4.7. Vulcânicas Córrego do Horácio

A unidade compreende metatufos riolíticos pouco ou não deformados que afloram em meio às rochas da Unidade Córrego da Onça (Lacerda Filho *et al.*, 2021). Pimentel (1985) descreveu rochas metavulcânicas e metatufáceas riolíticas aflorantes na porção central da unidade Córrego da Onça. Esse autor verificou uma fase a menos de deformação em comparação à unidade da sequência MVS e não há feições de deformação.

Essa unidade aflora de forma controlada por falhas de direção NW, onde os tufos cobrem as rochas da sequência MVS, do Gnaisse Arenópolis, e do Granito Serra do Tatu (Lacerda Filho Filho *et al.*, 2021). Além disso, os metariolitos também aparecem como intrusivos à sequência MVS e ao Granito Serra do Tatu (Pimentel, 1985).

Conforme descrito por Lacerda Filho *et al.* (2021), essas rochas são rosadas a róseo-esverdeadas, exibem pouca ou nenhuma deformação e podem apresentar venulação epidotítica. Os granodioritos subvulcânicos são compostos por matriz fina esverdeada, formada por microclínio, plagioclásio e quartzo, na qual estão imersos fenocristais de plagioclásio saussiritizado, o que caracteriza textura granular a porfirítica. Já os metatufos são compostos por plagioclásio, quartzo, e feldspato alcalino. Eles correm em camadas horizontais, e apresentam textura vitrofírica, com eventual silicificação (Lacerda Filho *et al.*, 2021).

2.4.8. Granito Serra do Iran

As primeiras descrições a respeito desta unidade foram feitas por Pena e Figueiredo (1972) e Pena *et al.* (1975), enquanto que Faria *et al.* (1975) foi o primeiro a individualizá-lo como maciço Serra do Iran. Posteriormente, Pimentel (1985) denominou a unidade Granito Serra do Iran, composta por rochas graníticas de

coloração rosada, granulação média a grossa e constituídos essencialmente por feldspato potássico, plagioclásio, quartzo e biotita.

De acordo com Pimentel (1985) a unidade destaca-se pela textura isotrópica e pela presença de xenólitos de anfibolito, sendo interpretado como um corpo pós tectônico intrusivo na sequência MVS Arenópolis-Piranhas. A partir do método da isócrona de Rb-Sr, Pimentel (1985) obteve uma idade de 564 ± 5 Ma, e posteriormente, Pimentel *et al.* (1996) apresentou a idade Rb-Sr de 588 ± 19 Ma para o mesmo corpo.

2.4.9. Granito Rio Caiapó

Segundo Pimentel e Fuck (1987), o Granito Rio Caiapó engloba várias intrusões aflorantes na região na forma de um batólito de pelo menos três pulsos magmáticos. Os dados de datação K-Ar em biotita de Hasui & Almeida (1970) apresentam idade de 522 ± 16 Ma. Posteriormente as análises Rb-Sr de Pimentel *et al.* (1996) dataram a unidade entre 568 ± 10 Ma e 587 ± 17 Ma.

De acordo com Lacerda Filho *et al.* (2021), o batólito é intrusivo ao Gnaise Arenópolis, e é limitado por uma falha NS ao leste. É composto por quartzo-dioritos, quartzo-monzodioritos, granodioritos, monzo e sienogranitos, quartzo-monzonitos, e gabros.

2.4.10. Granito Serra Negra

Conforme descrito por Lacerda Filho *et al.* (2021), o Granito Serra Negra é um batólito granítico, principal representante da Suíte Alcalina Serra Negra, que se estende por cerca de 28 km, e está localizado entre as cidades de Bom Jardim de Goiás e Piranhas. Possui gênese associada aos estágios finais da evolução do Arco Magmático de Goiás (Guimarães *et al.*, 2012), e sua idade de cristalização foi datada em 538 ± 17 Ma pelo método U-Pb em zircão (Guimarães *et al.*, 2007), e em 505 Ma pelo método Rb-Sr (Fuck, 1987). O Granito Serra Negra possui características típicas de granitos Tipo-A (Pimentel *et al.*, 2000; Coimbra, 2015).

Os afloramentos exibem biotita sienogranitos rosados a avermelhados (localmente cinza claro), isotrópicos e equigranulares, com textura média a grossa na região central do batólito. Também apresentam textura porfirítica com fenocristais de microclínio rosados com cerca de 3-5 cm. Mineralogicamente, é composto predominantemente por feldspato alcalino, plagioclásio e quartzo, com biotita

associada. Ainda, há a presença de clorita, sericita, epidoto e carbonato, como produtos de alteração hidrotermal (Lacerda Filho *et al.*, 2021).

Além da fácies principal, o Granito Serra Negra também pode ocorrer na forma de fácies secundárias, como o hornblenda-biotita-granodiorito porfirítico e o hornblenda-biotita monzogranito, com fenocristais de feldspato alcalino. Ademais, pode-se observar a presença de xenólitos de rochas básicas no batólito, e ele é cortado por diques de diabásio tardios (Lacerda Filho *et al.*, 2021).

2.4.11. Bacia do Paraná

De acordo com Milani *et al.* (2007), a Bacia do Paraná fica localizada no centro do continente sul-americano, e possui área aproximada de 1,5 milhão de quilômetros quadrados, dispostos em geometria oval com eixo maior N-S. O registro estratigráfico da Bacia possui espessura de aproximadamente 7 mil metros, caracterizados por um pacote sedimentar-magmático constituído por seis Supersequências (Vail *et al.*, 1977), que são: Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico), Gondwana II (Meso a Neotriássico), Gondwana III (Neojurássico-Eocretáceo), e Bauru (Neocretáceo).

A formação da Bacia do Paraná ocorreu por meio de depressões alongadas na orientação NE-SW, seguindo o padrão do substrato pré-cambriano (Milani *et al.*, 1997). As zonas de fraqueza do embasamento foram reativadas devido à compressão tectônica que surgiu na margem do continente durante a Orogenia Oclóyica, do período Neo-Ordoviciano. Esse evento criou espaço para a deposição da primeira sequência da bacia, conhecida como Supersequência Rio Ivaí. A parte superior desse conjunto é marcada por uma discordância neossiluriana, que foi acompanhada pela exposição subaérea das camadas sedimentares previamente depositadas, uma significativa remoção de material erosivo e a formação de uma vasta e uniforme superfície de aplainamento (Milani *et al.*, 2007).

Após esse período de subsidência, ocorreu a acumulação da Supersequência Paraná, durante o período Devoniano, caracterizada por uma notável consistência em suas características faciológicas em toda a sua extensa área de ocorrência. A espessura dessa sequência varia, uma vez que a porção superior da Supersequência Paraná foi intensamente erodida por uma série de eventos erosivos que ocorreram entre o final do Neodevoniano e o Carbonífero Médio (Milani *et al.* 2007).

É classificada como uma bacia intracratônica típica, que registra a deposição entre o Ordoviciano e o Cretáceo, e apresenta dois principais *trends* estruturais, sendo o primeiro um *trend* NW e NE, e o segundo associado às intrusões (Milani *et al.* 2007).

No entorno da área de estudo, afloram as formações Vila Maria, Furnas e Ponta Grossa da Supersequência Paraná. Segundo Alvarenga & Guimarães (1994). As Formações Vila Maria e Furnas são compostas, respectivamente, por folhelhos fossilíferos e siltitos, e por conglomerados e arenitos arcoseanos. Já a Formação Ponta Grossa engloba folhelhos e arenitos intercalados.

Formação Vila Maria

A Formação Vila Maria é composta por um pacote pelítico que grada para termos arenosos em direção ao topo. Os folhelhos apresentam-se com aspecto ferruginoso, por conta das colorações avermelhadas e da presença de micas, porém são localmente acinzentados e fossilíferos. Já os arenitos e siltitos do topo apresentam estratificação cruzada do tipo *hummocky* (Milani *et al.*, 2007).

Formação Furnas

De acordo com Milani *et al.* (2007), a Formação Furnas é um pacote de sedimentos arenosos de aproximadamente 250 metros de espessura, com geometria de um imenso *blanket*, que constitui a base do Grupo Paraná. A sedimentação que resulta nessa unidade é resultado de um sistema fluvial entrelaçado de alta energia (Alvarenga & Guimarães, 1994).

Essa Formação é descrita por Milani *et al.* (2007) como uma sucessão de arenitos quartzosos brancos, médios a grossos, caulíníticos, que apresentam estratificações cruzadas de várias naturezas. Pode-se observar leitos conglomeráticos de até 1 metro de espessura na sua base, enquanto na região intermediária predominam arenitos médios intercalados com níveis delgados de siltito e folhelho estratificados, com possível ocorrência de estruturas do tipo espinha de peixe. Em direção ao topo, a granulometria dos sedimentos aumenta e passam a predominar arenitos médios a grossos, embora também sejam encontrados arenitos muito finos com estratificação em *hummocky*.

Milani *et al.* (2007) também indicam que evidências de leituras do perfil de raios gama em subsuperfície mostram que há aumento contínuo da presença de argilas no

sedimento em direção ao topo, o que mostra uma passagem gradacional para a Formação Ponta Grossa.

Formação Ponta Grossa

A Formação Ponta Grossa ocorre sobre a Formação Furnas, constituindo um pacote predominantemente pelítico dividido em três membros: Jaguarivaíva, Tibagi e São Domingos (Milani *et al.*, 2007).

De acordo com as descrições de Milani *et al.* (2007), os membros podem ser classificados da seguinte maneira: o Membro Jaguarivaíva, mais inferior, é representado por folhelhos contendo lentes de arenito fino com estratificações retrabalhadas por ondas, além de folhelhos carbonosos. O Membro Tibagi é intermediário, areno-siltoso, relacionado à sistemas deltaicos em contexto regressivo de progradação, no qual o aporte arenoso é evidente. Por último, o Membro São Domingos, mais superior, é predominantemente pelítico, associado à uma inundação em grande escala.

2.4.12. Província Alcalina de Goiás (PAGO)

Também conhecida como Província Alcalina do Goiás (PAGO), essa província é formada por pequenos complexos plutônicos e lavas com afinidade kamafugítica hospedados no embasamento Precambriano do Arco Magmático de Goiás (e.g., Danni, 1994; Brod *et al.*, 2000; Sgarbi & Gaspar, 2002).

Essas rochas foram datadas em um principal período, acompanhado de eventos magmáticos mais recentes. Conforme os dados de K-Ar de Sonoki & Garda (1988), o magmatismo ocorreu entre o período de $94 \pm 5,0$ e $74 \pm 1,6$ Ma, com eventos mais novos entre $55 \pm 1,5$ e $26 \pm 2,9$ Ma. O principal intervalo de geração de rochas alcalinas é entre 80 e 85 Ma (Ferreira *et al.*, 2022).

De acordo com o Projeto Oeste de Goiás (Lacerda Filho *et al.*, 2021), a Suíte Alcalina de Iporá é composta por um conjunto de rochas alcalinas plutônicas-vulcânicas cretáceas, dispostas ao longo de uma faixa de direção NW-SE. As intrusões são de kamafugitos, lamprófiros, carbonatitos, basalto alcalino e sienito com enclaves ultramáficos, que ascenderam no lineamento magmático-tectônico de orientação NW (Junqueira-Brod *et al.* 2002).

A Suíte é constituída pelas intrusões Morro do Engenho, Santa Fé, Montes Claros de Goiás, Corpo Arenópolis, Fazenda Buriti, Corpo Córrego dos Bois, Corpo

Geologia Estrutural											
Evolução Tectônica											
Geologia Econômica											
Relatório Final											

3.1. Etapa Pré-Campo

Esta etapa teve início em março de 2023, estendendo-se até julho do mesmo ano, contemplando a ementa da disciplina de Preparação do Mapeamento Geológico Final. A etapa pré-campo pode ser caracterizada como a etapa inicial e preparatória do trabalho de mapeamento geológico, sendo realizada antes da saída de campo, e tem como principais objetivos a elaboração de produtos de apoio para as etapas seguintes. Para isso, foi organizado um ciclo de palestras com temas relacionados ao Projeto Arenópolis e a geologia regional do Orógeno Brasília. Nesse ciclo, cada grupo ficou responsável por apresentar à turma um tema.

Esta etapa visa a análise/revisão dos estudos da geologia regional, a confecção do mapa base, realização da fotointerpretação, além do início da elaboração do relatório técnico e do mapa geológico preliminar. Os mapas foram integrados a dados de elevação da região, extraídos de produtos SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) e sensores ALOS PALSAR. Além disso, foram realizadas análises e interpretações acerca de produtos geofísicos e de sensoriamento remoto com foco no planejamento e preparação para a etapa de campo.

3.2. Etapa Campo

Durante esta etapa, foi realizado um levantamento de dados *in situ* na região, visando validar as interpretações feitas na etapa de pré-campo, bem como obter informações diretas acerca da área de estudo, possibilitando a confecção de um mapa geológico com maior representatividade da área estudada. Os dados obtidos em campo incluem: medidas planares e lineares de atitudes das camadas e de estruturas tectônicas; coleta de pontos geolocalizados dos afloramentos visitados utilizando receptores GNSS de navegação; representações esquemáticas de

afloramentos, perfis geológicos e colunas estratigráficas; coleta e descrição de amostras de rochas e suas devidas interpretações.

Foram adotadas técnicas para descrição dos elementos estruturais em campo. As medições de atitude das camadas se deram por meio da utilização de bússolas geológicas do tipo Brunton, com declinação magnética de 21° para W, e de dispositivos móveis, por meio do aplicativo “Clino”, sendo todas as medidas do presente trabalho apresentadas na notação *dip direction/dip*.

As rotas de caminhamento para o campo foram definidas com base nos critérios topográficos e morfoestruturais da área, detalhados na etapa pré-campo, além dos sítios de interesse identificados por meio da fotointerpretação. Com isso, foi realizada uma vistoria da área de forma sistemática, visando maximizar a abrangência de feições de interesse, como afloramentos, contatos litológicos, feições estruturais, entre outros.

Levando em consideração a natureza ígnea-metamórfica das rochas da área de estudo e o nível de detalhe, a técnica de mapeamento adotada foi o mapeamento extensivo de Passchier *et. al.* (1993) em escala 1:25.000.

Ao término de cada jornada de trabalho, procedeu-se com a consolidação e análise dos elementos observados durante o dia. Adicionalmente, houve reuniões abrangentes destinadas a avaliar o avanço do projeto e planejar as atividades para os dias seguintes. No conjunto, a exploração da Área III culminou na documentação de 262 pontos de campo (conforme ilustrado na Figura 3.1) e na obtenção de 1410 medidas estruturais.

Mapa de Pontos - Área III

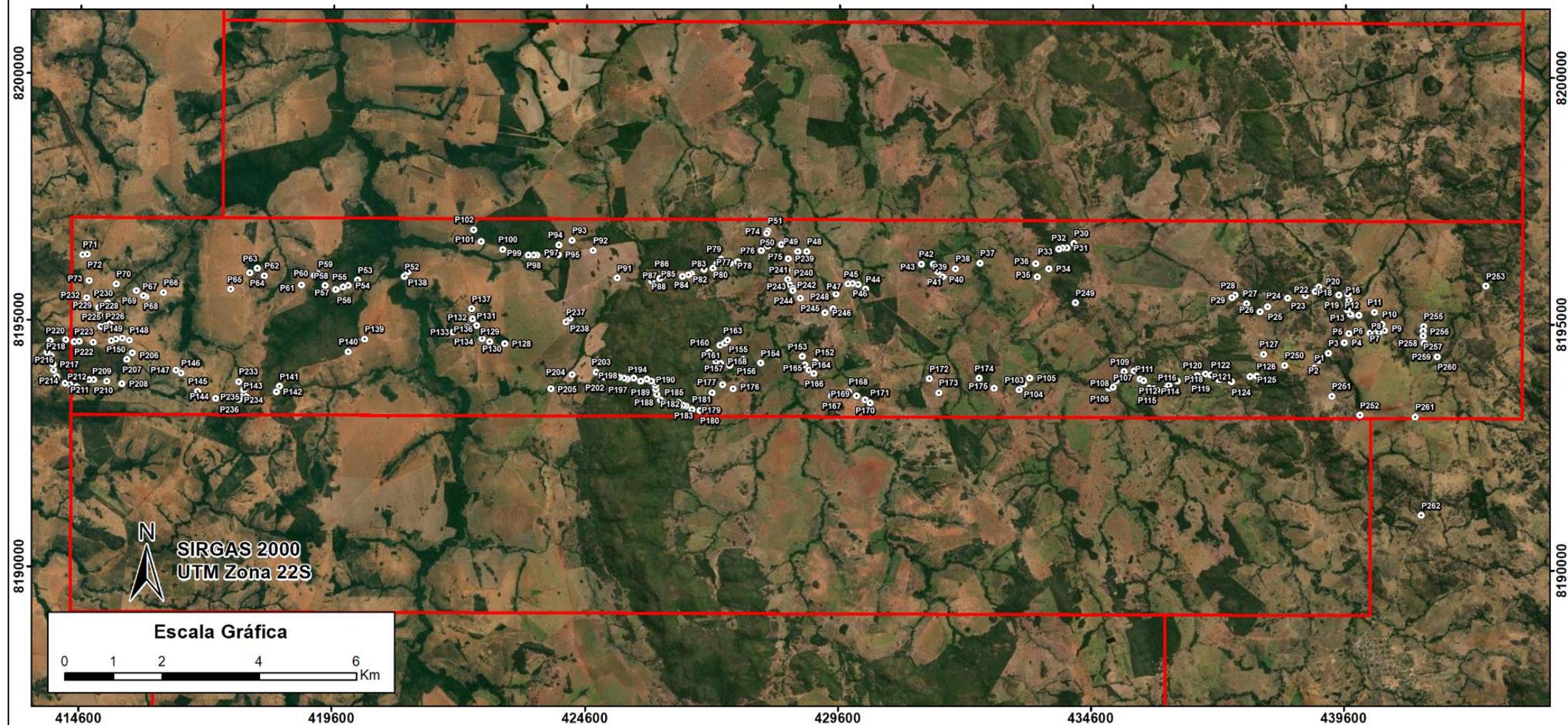


Figura 3.1: Mapa de Pontos adquiridos em campo pela Área III.

3.3. Etapa Pós-Campo

Por fim, o trabalho de mapeamento é finalizado na etapa de pós-campo, onde ocorre a organização e integração de todas as informações obtidas nas fases anteriores, bem como descritas as interpretações finais e conclusões do trabalho. Esta integração se deu tanto na competência dos grupos de forma individual, quanto para elaboração do mapa geológico integrado, contendo todas as áreas abarcadas pelas equipes integrantes do mapeamento. Quanto à caracterização litológica, além das relações obtidas em campo, foram realizadas análises petrográficas de 79 seções delgadas das amostras mais representativas de cada unidade mapeada.

Neste momento, foi também finalizada a elaboração do relatório técnico do projeto, seguida da apresentação dos resultados. Vale ressaltar que nesta etapa realizou-se o refinamento e ilustração final dos dados adquiridos em campo, incluindo a confecção de diagramas de rosetas para os dados estruturais e plotagem em SIG (Sistema de Informação Geográfica) dos pontos geoespaciais, juntamente com demais informações relacionadas.

4. Sensoriamento Remoto e Geofísica

Atualmente, a cartografia geológica é feita com o apoio de diversas ferramentas e técnicas complementares que incluem, principalmente, dados de sensores remotos e geofísica. O Projeto Arenópolis utilizou essas ferramentas em todo o fluxo de trabalho, já que se tornaram imprescindíveis para um trabalho de mapeamento geológico com maior qualidade e melhores resultados.

Com relação aos sensores remotos, foram utilizadas imagens multiespectrais e dados de radar. Tais materiais auxiliaram no reconhecimento das principais características superficiais e subsuperficiais da área, bem como na confecção do mapa base. Dentre as características superficiais, foram extraídas, com auxílio das composições coloridas advindas de imagens multiespectrais, as vias de acesso, hidrografia e edificações. Já os dados de radar, se mostraram importantes para o reconhecimento da morfologia do relevo e no auxílio de interpretações geológicas através da extração manual e semi automática de traços de foliação e lineamentos, respectivamente.

No Projeto, foram utilizados dados de aerogeofísica, mais especificamente aeromagnetometria e aerogamaespectrometria. Esses foram importantes para a caracterização de estruturas geológicas rasas e profundas, e da composição química

do material que recobre a área, sejam de rochas aflorantes ou material proveniente da mobilização química.

O presente capítulo tem como objetivo detalhar as etapas de processamento e a metodologia empregada na utilização dos dados de sensoriamento remoto e aerogeofísica. Dessa forma, em cada tópico será apresentado a natureza dos dados, fluxogramas de processamentos e análises e interpretações de cada produto gerado a partir dos dados utilizados.

4.1. Sensoriamento Remoto

De acordo com a definição adotada por Meneses & Almeida (2012), Sensoriamento Remoto é uma técnica de obtenção de imagens dos objetos da superfície terrestre sem que haja um contato físico de qualquer espécie entre o sensor e o objeto. Nessa técnica, a energia utilizada é a radiação eletromagnética, cuja principal fonte é o Sol e a Terra, os quais emitem uma radiação na faixa espectral entre 0,3 μm e 15 μm (Figura 4.1). A faixa das microondas (radar) no sensoriamento é ativa por fontes artificiais de radiação.

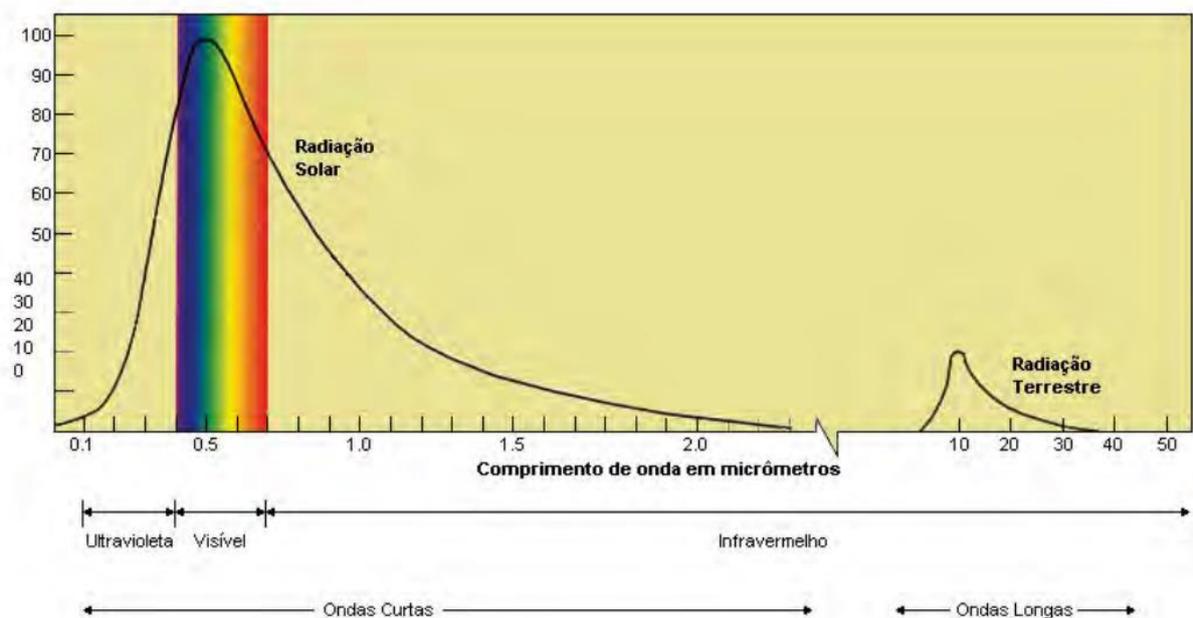


Figura 4.1: Regiões do espectro eletromagnético (Meneses & Almeida, 2012).

Os sistemas sensores podem ser classificados, quanto à fonte de energia, em sistemas passivos e ativos. Os sistemas ativos são aqueles que produzem e emitem a própria energia e, após a interação com o alvo, captam a de retorno, refletida. Já os

sistemas passivos, não possuem radiação própria e por isso detectam a radiação solar refletida naturalmente pelos corpos em superfície.

No Projeto Arenópolis, foram utilizados sistemas sensores ativos, como é o caso do sensor de radar Alos Palsar, e sensores passivos, que incluem as imagens multiespectrais dos satélites CBERS (China-Brasil Earth Resources) 4A e Landsat (Land Remote Sensing Satellite) 9 OLI (Operational Land Imager).

4.1.1. Natureza dos Dados

CBERS 4A

O Programa CBERS é produto da cooperação entre o Brasil e a China para desenvolver sensores capazes de detectar o desmatamento e queimadas na Amazônia, monitoramento de recursos hídricos, áreas agrícolas, crescimento urbano, ocupação do solo e outras aplicações (Arcanjo, 2011). O começo efetivo do programa se deu pelo lançamento do satélite CBERS 1 em outubro de 2001, e desde então já foram lançados seis satélites, sendo o mais recente o CBERS 4A, lançado em dezembro de 2019.

O presente projeto utilizou uma cena do satélite CBERS 4A adquirida gratuitamente no portal do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). As imagens adquiridas são do tipo WPM (Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura), cujo objetivo é fornecer imagens com resolução pancromática de 2 metros e resolução multiespectral de 8 metros simultaneamente na órbita do satélite (INPE). As características específicas de cada banda do sensor WPM estão dispostas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Características das bandas espectrais da Câmera WPM do satélite CBERS 4A. Fonte: INPE.

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral (μm)	Resolução Espacial (m)	Resolução Radiométrica
WPM	Azul	0.45 - 0.52	8	10
	Verde	0.52 - 0.59		
	Vermelho	0.63 - 0.69		
	Infravermelho próximo	0.77 - 0.89		
	Pancromática	0.45 - 0.90	2	

Landsat 9 OLI/TIRS

O satélite *Landsat 9* inclui os sensores OLI e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) com onze bandas espectrais ao todo, sendo dessas, nove a partir do sensor OLI e duas do sensor termal TIRS (Tabela 4.2).

Tabela 4.2: Características das bandas espectrais dos sensores do Landsat 9. Fonte: NASA.

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral (μm)	Resolução Espacial (m)	Resolução Radiométrica (bits)
OLI	(B1) - Ultra Azul (Costeiro)	0.43 - 0.45	30	12
	(B2) - Azul	0.45 - 0.51		
	(B3) - Verde	0.53 - 0.59		
	(B4) - Vermelho	0.64 - 0.67		
	(B5) - Infravermelho próximo (NIR)	0.85 - 0.88		
	(B6) - Infravermelho de ondas curtas (SWIR) 1	1.57 - 1.65		
	(B7) - Infravermelho de ondas curtas (SWIR) 2	2.11 - 2.29	14	
	(B8) - Pancromática	0.50 - 0.68	15	12
	(B9) - Cirros	1.36 - 1.38	30	
TIRS	(B10) - Infravermelho termal 1	10.60 - 11.19	100	
	(B11) - Infravermelho termal 2	11.50 - 12.51	100	14

A aquisição da cena utilizada para o Projeto Arenópolis foi realizada de maneira gratuita e online pelo portal *Earth Explorer*, o qual é gerenciado pelo *United States Geological Survey* (USGS) e pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). As imagens colhidas pelos satélites *Landsat* fazem parte do programa criado pela NASA com o objetivo de coletar informações multiespectrais periódicas da superfície terrestre (Arcanjo, 2011). O primeiro satélite do programa *Landsat* foi lançado em 1972 com um sistema que incluía apenas quatro bandas no espectro óptico. Desde então foram lançados outros satélites com ferramentas complementares até o *Landsat 9*, o qual, atualmente, apresenta bandas espectrais de melhores resoluções do programa e com resolução radiométrica de 14-bit nos sensores OLI-2 e TIRS-2 (Figura 4.2).

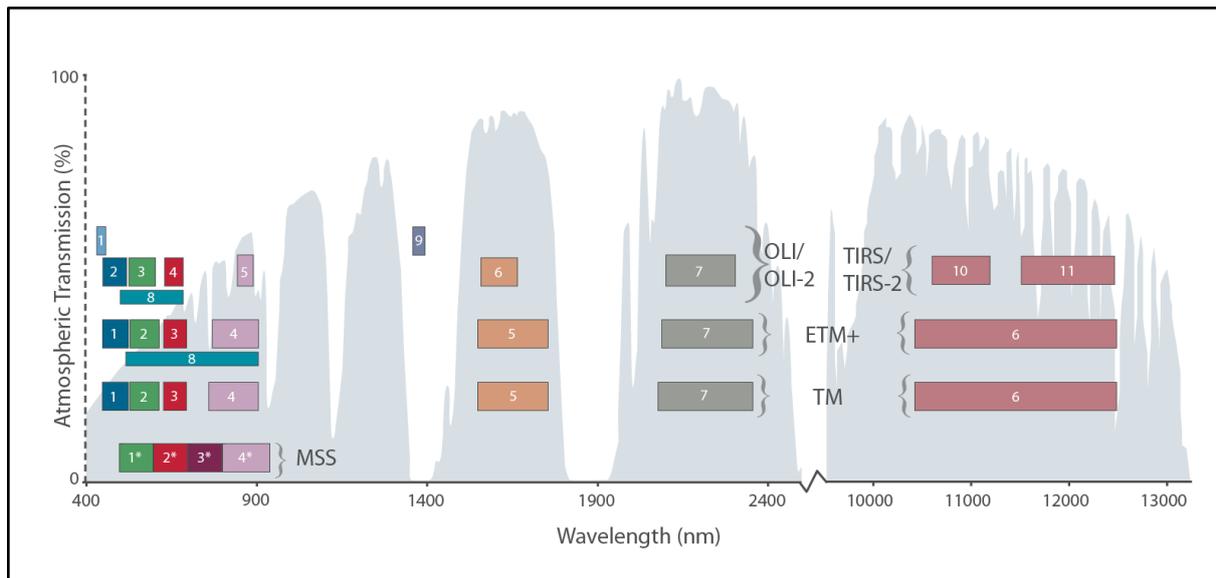


Figura 4.2: Comparação entre as bandas dos sensores Landsat 1-5 (MSS), Landsats 4 e 5 (TM), Landsat 7 (ETM+) e Landsats 8 e 9. Fonte: NASA.

Modelo Digital de Elevação (MDE)

O Modelo Digital de Elevação (MDE) utilizado no Projeto Arenópolis foi gerado a partir de dados de radar do satélite Alos, o qual foi lançado no Japão em janeiro de 2006 carregando três sensores a bordo: AVNIR-2, PRISM e PALSAR (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar). A aquisição do dado foi realizada de forma gratuita através do portal da ASF (Alaska Satellite Facility).

O PALSAR, utilizado no presente projeto, é um radar de abertura sintética com faixa imageadora de 250 a 350 km. Os dados são adquiridos através da técnica de interferometria que utiliza a banda L (1270 MHz), a qual consegue gerar um produto com resolução espacial de 12,5 metros.

4.1.2. Processamento dos Dados

Os processamentos referentes aos dados adquiridos a partir de sensores remotos (Landsat 9, CBERS 4A e Alos Palsar) foram realizados no *software* Arcgis Pro (versão 3.1.0) fornecido pelo Instituto de Geociências da UnB (Figura 4.3). A Tabela 4.3 destaca as cenas utilizadas para o processamento dos dados.

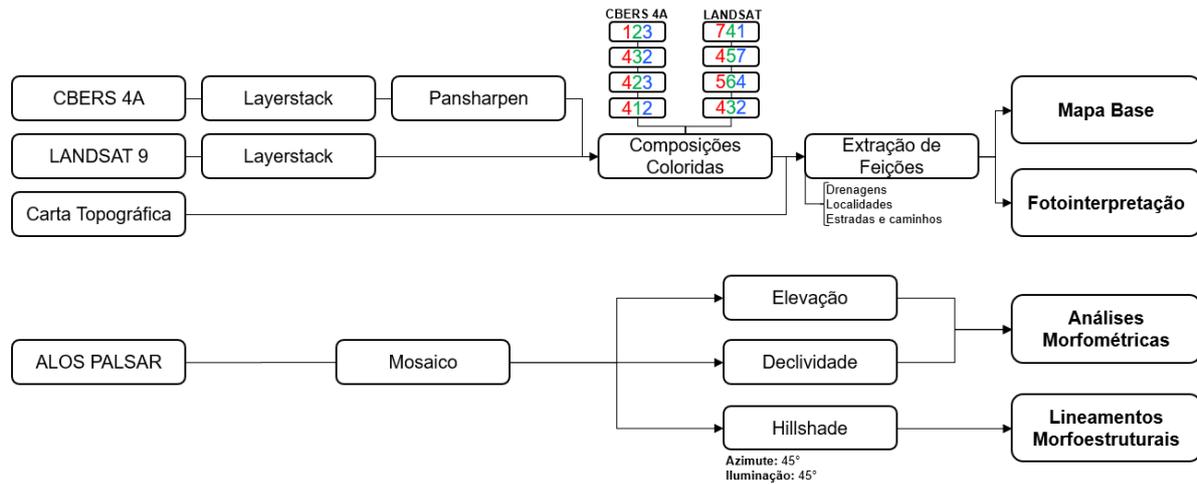


Figura 4.3: Fluxograma de processamento dos produtos de sensoriamento remoto para o Projeto Arenópolis.

Tabela 4.3: Dados utilizados para o processamento.

Satélite	Sensor	Cena utilizada
CBERS4A	WPM	CBERS_4A_WPM_20220803_211_133_L4
CBERS4A	WPM	CBERS_4A_WPM_20220803_211_134_L4
Landsat	OLI/TIRS	LC09_L2SP_223071_20230528_20230601_02_T1
ALOS	PALSAR	ALPSRP268256850-AP_26825_FBS_F6850_RT1

CBERS 4A

O primeiro procedimento realizado para a utilização das imagens CBERS 4A foi o “*Layerstacking*”, ou seja, a compilação das bandas 1 a 4 (Azul, Verde, Vermelho e Infravermelho Próximo) em um único arquivo matricial, por meio da ferramenta “*Composite Bands*”. Em seguida, houve a necessidade de gerar um mosaico de duas cenas para abranger toda a área do Projeto, o que foi feito utilizando a ferramenta “*Mosaic to new raster*”.

Posteriormente, foi realizada a fusão da banda pancromática (banda 0) com o mosaico contendo as demais bandas, processo denominado “*Pansharpening*”, responsável por reamostrar as bandas 1 a 4, que possuem 8 metros de resolução espacial, utilizando a banda 0, que possui 2 metros de resolução espacial.

Desta forma, o produto final do processamento foi uma imagem multiespectral com 2 metros de resolução espacial, a partir da qual foram geradas diferentes composições coloridas, com o objetivo de ressaltar alvos de interesse.

LANDSAT 9 OLI/TIRS

Assim como para CBERS 4A, o primeiro processo realizado para a utilização das imagens LANDSAT 9 foi o “Layerstacking”, porém, neste caso, foram compiladas as bandas 1 a 9, as quais posteriormente foram utilizadas para gerar composições coloridas.

Modelo Digital de Elevação (MDE)

Para a utilização do MDE Alos Palsar, foi necessário gerar um mosaico de duas cenas, no qual foram utilizadas diferentes ferramentas para gerar produtos distintos. Classificando o MDE, gerou-se o Mapa Hipsométrico (de Elevação), a partir do qual, por meio da ferramenta “*Slope*”, foi possível obter o Mapa de Declividade do Projeto. Por meio da ferramenta “*Contour*”, foram geradas as curvas de nível - com espaçamento de 25 metros entre as curvas intermediárias. Em seguida, as curvas foram suavizadas utilizando o algoritmo PAEK (*Polynomial Approximation with Exponential Kernel*) com tolerância de 50 metros.

Ainda, por meio da ferramenta “*Hillshade*”, gerou-se o mapa de relevo sombreado, com ângulo de iluminação e azimute à 045°, e considerando-se o fator Z de 1. Para a escolha do azimute para o relevo sombreado considerou-se a disposição predominante do *trend* geológico da região, que apresenta direção NW. Desta forma, foram gerados *hillshades* a cada 45°, nos quais percebeu-se que os azimutes que ressaltam feições morfoestruturais foram de 045° e 135°. Como o *hillshade* de 135° mostra o relevo de forma negativa, optou-se pela utilização do azimute 045°.

O Mapa de Relevo Sombreado foi utilizado para a extração manual e semi-automática dos lineamentos morfoestruturais. A extração semi-automática foi feita pelo algoritmo LINE do software *Catalyst Professional*, que tem como produto o arquivo vetorial dos lineamentos, os quais foram inseridos no *ArcGIS Pro*. Posteriormente, foi utilizada a ferramenta “*Split line at vertices*” para segmentar todas as polilinhas e garantir que as direções calculadas refletem a direção de cada segmento de linha, e não uma média entre o primeiro e o último vértice. As direções foram calculadas utilizando a ferramenta “*Azimuthfinder*”.

4.1.3. Produtos e Interpretações

Os dados provenientes de sensores remotos e respectivos processamentos permitiram a análise de características da superfície da região do Projeto Arenópolis. Dentre as características, estão aspectos morfológicos, os quais podem ser correlacionados com o substrato rochoso e estruturas associadas, e informações de vegetação e áreas antropizadas. Dessa forma, diferentes produtos foram gerados a partir de cada sensor remoto, possibilitando a confecção do mapa base e a extração de traços estruturais.

CBERS 4A

A partir da câmera WPM do sensor CBERS 4A, foram gerados mapas com diferentes composições coloridas a fim de extrair diferentes informações conforme as respostas de cada alvo no espectro visível e no infravermelho próximo (Figura 4.4):

a) Composição RGB (123): composição colorida com cores reais, utilizada para a confecção do mapa base e extração de informações cartográficas;

b) Composição RGB (432): composição colorida que realça as porções de vegetação densa e matas de galeria, uma vez que área com vegetação fotossinteticamente ativa apresenta alta reflectância no canal infravermelho próximo;

c) Composição RGB (423): composição colorida semelhante à anterior, uma vez que realça a vegetação em vermelho por conta da banda 4 (infravermelho próximo). Porém, com a inversão das bandas 2 e 3, ou seja, a banda 2 (verde) no canal verde, e a banda 3 (vermelho) no canal azul. Utilizada em conjunto com a composição RGB 432 para a mudança de contraste;

d) Composição RGB (412): composição colorida utilizada para a extração de estradas, caminhos, além de evidenciar o contraste entre a vegetação nativa, plantações, e solo exposto.

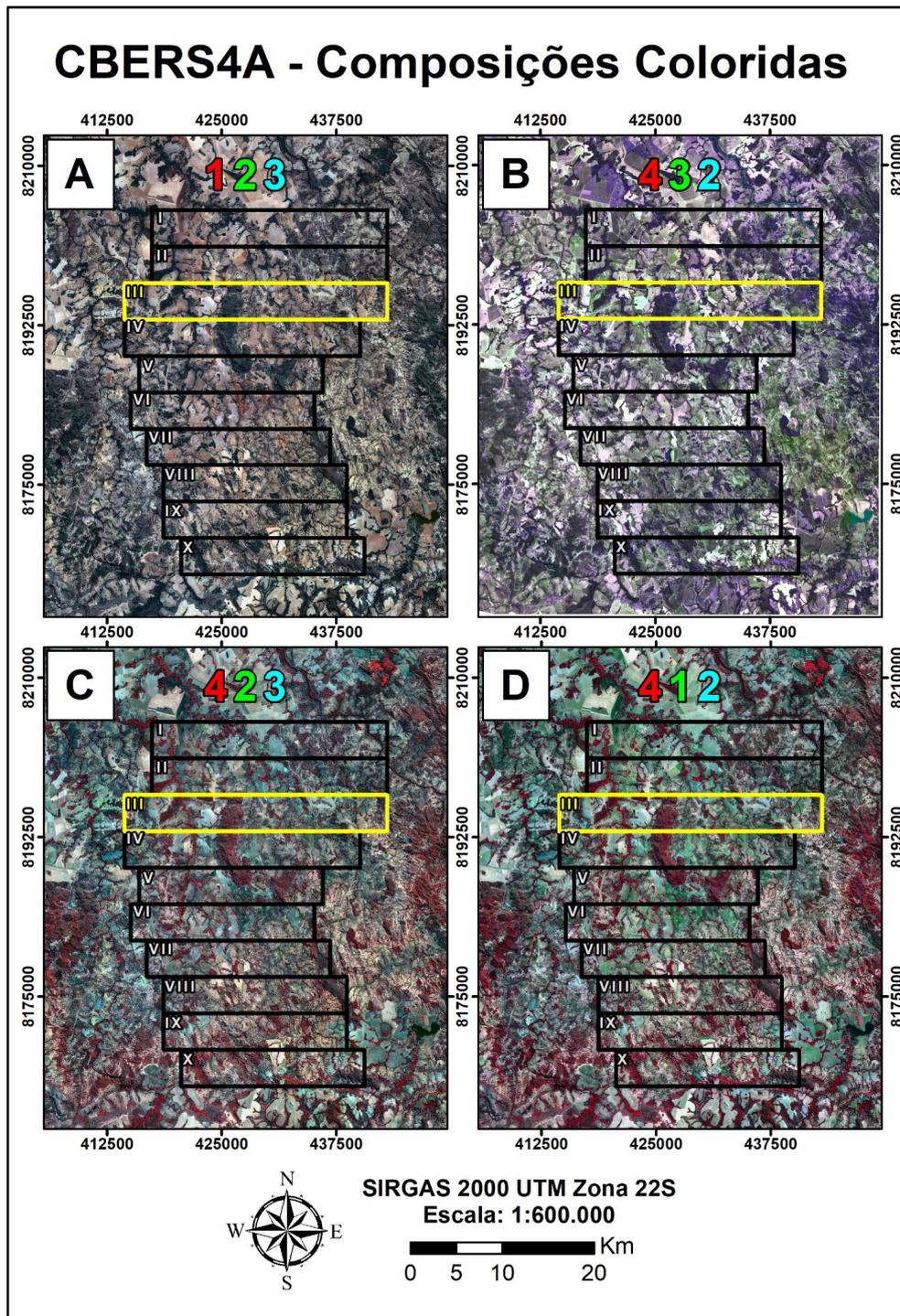


Figura 4.4: Composições coloridas CBERS 4A. A) Composição RGB-123. B) Composição RGB-432. C) Composição RGB-423. D) Composição RGB-412.

Landsat 9 OLI/TIRS

A partir dos sensores OLI/TIRS do satélite Landsat 9, foram gerados imagens de diferentes composições coloridas a fim de extrair diferentes informações conforme as respostas de cada alvo no espectro eletromagnético, de forma a complementar espectralmente as imagens CBERS 4A (Figura 4.5):

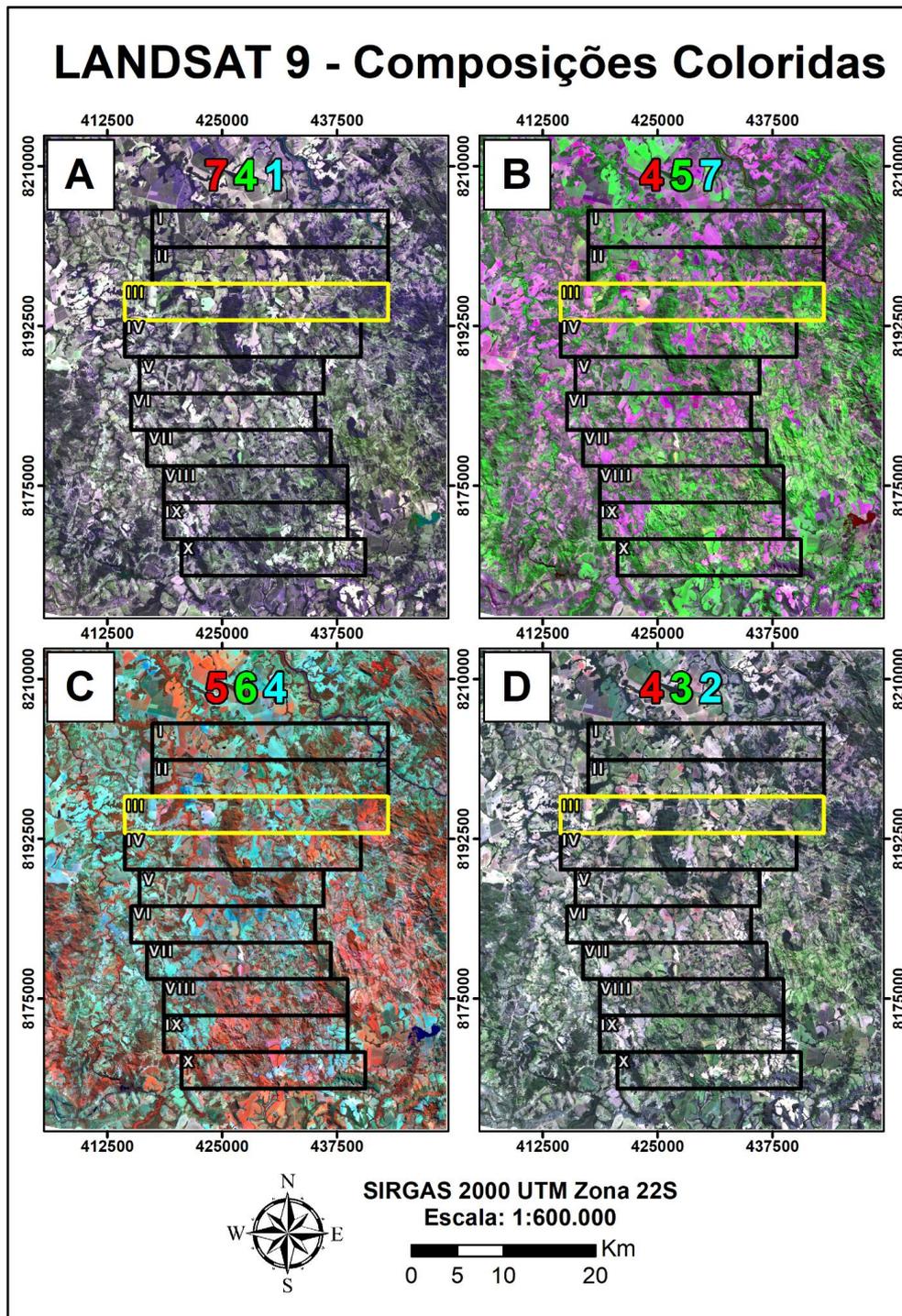


Figura 4.5: Composições coloridas LANDSAT 9 OLI/TIRS. A) Composição RGB-741. B) Composição RGB-457. C) Composição RGB-564. D) Composição RGB-432.

a) Composição RGB (741): composição colorida que resulta em uma atenuação da resposta obtida pela vegetação e realça elementos texturais estruturais do relevo.

b) Composição RGB (457): composição colorida que evidencia a presença de vegetação fotossinteticamente ativa na cor verde, por conta da banda 5

(infravermelho próximo) no canal verde. É importante ressaltar que algumas áreas de agricultura também são evidenciadas por essa composição. O solo exposto aparece na cor magenta, por conta da interação das bandas 4 e 7 (vermelho e SWIR 2) com os alvos. Também utilizada para auxiliar na extração de lineamentos.

c) Composição RGB (564): composição colorida na qual é possível visualizar em diferentes tons vermelho/alaranjados a presença de vegetação densa ou rala.

d) Composição RGB (432): composição colorida com cores reais, utilizada para a confecção do mapa base e extração de informações cartográficas.

Modelo Digital de Elevação (MDE)

A geração de um mapa com relevo sombreado (Figura 4.6) facilita a identificação de cristas e vales, além de estruturas geológicas como dobras e falhas. Nesse sentido, foi possível a extração automática e manual de traços estruturais, os quais podem refletir, principalmente, a orientação da foliação e falhas associadas. Em ambos os produtos, a estruturação apresenta orientação preferencial NW-SE (Figura 4.7), conforme descrito por Pimentel & Fuck (1992) para o Arco de Arenópolis. Entretanto, no mapa de traços estruturais extraídos manualmente, há uma mudança na orientação na porção noroeste do Projeto Arenópolis para NE-SW. Tal mudança pode estar relacionada à influência do LTB na região, cuja orientação é descrita por Hasui *et al.* (1994) em N30°E.

Nos Mapas Altimétrico e de Declividade (Figuras 4.8 e 4.9), é possível visualizar duas regiões de maior elevação e de maior declividade na Área III do Projeto Arenópolis, uma na porção central da área e a outra mais à leste. Na região central, a elevação está relacionada a um morro de aproximadamente 200 metros de desnível, denominado Serra da Margarida. Já na porção leste, observa-se um conjunto de morros descontínuos, denominados Serra do Retiro Velho. Ainda, é possível perceber que as duas regiões de menor elevação estão associadas a redes de drenagem, e provavelmente são vales. À oeste, a menor elevação está ligada ao Ribeirão Bom Jardim, enquanto a leste, ao Córrego da Areia.

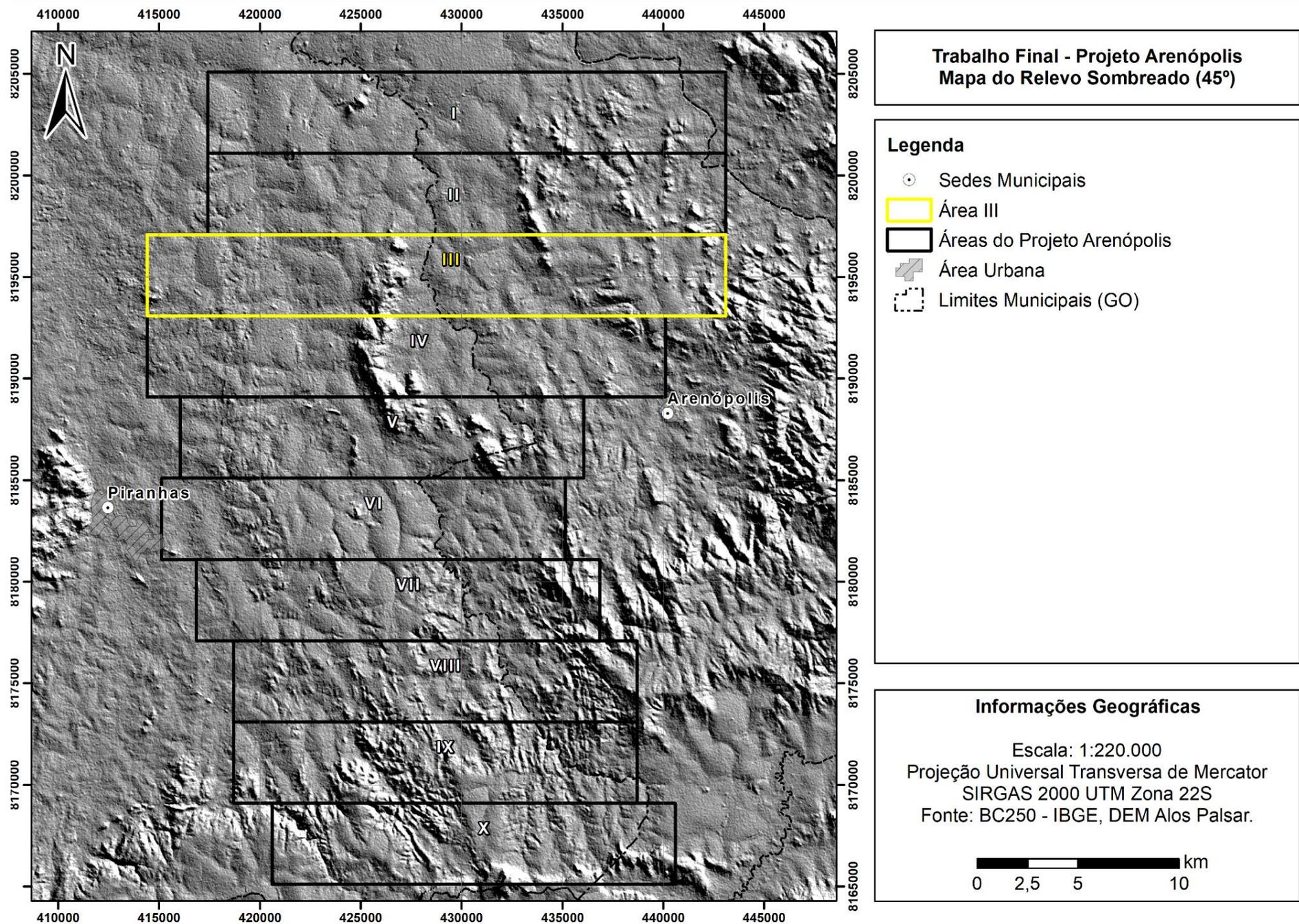


Figura 4.6: Mapa de Relevo Sombreado da região do Projeto Arenópolis.

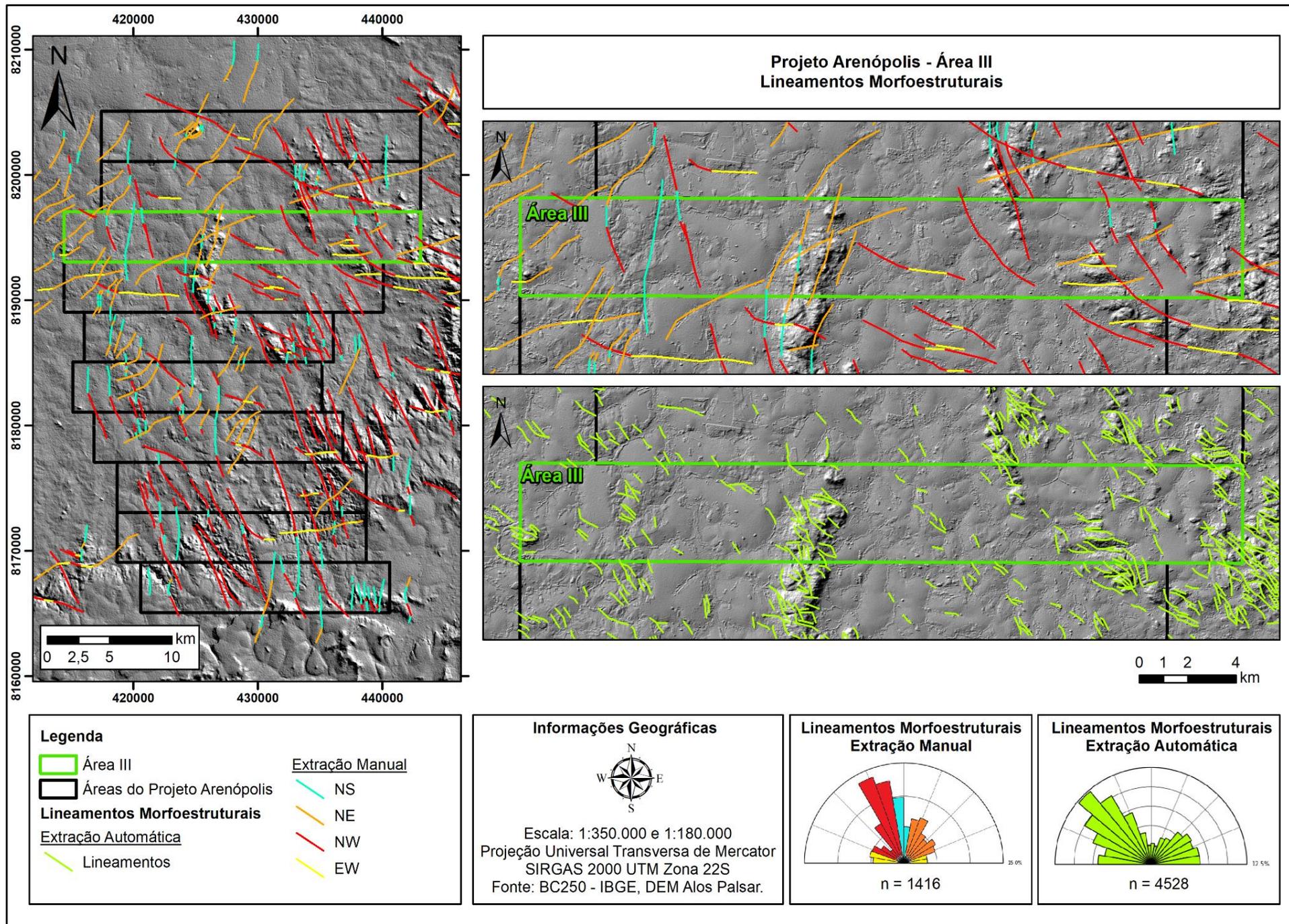


Figura 4.7: Mapa de Lineamentos Morfoestruturais.

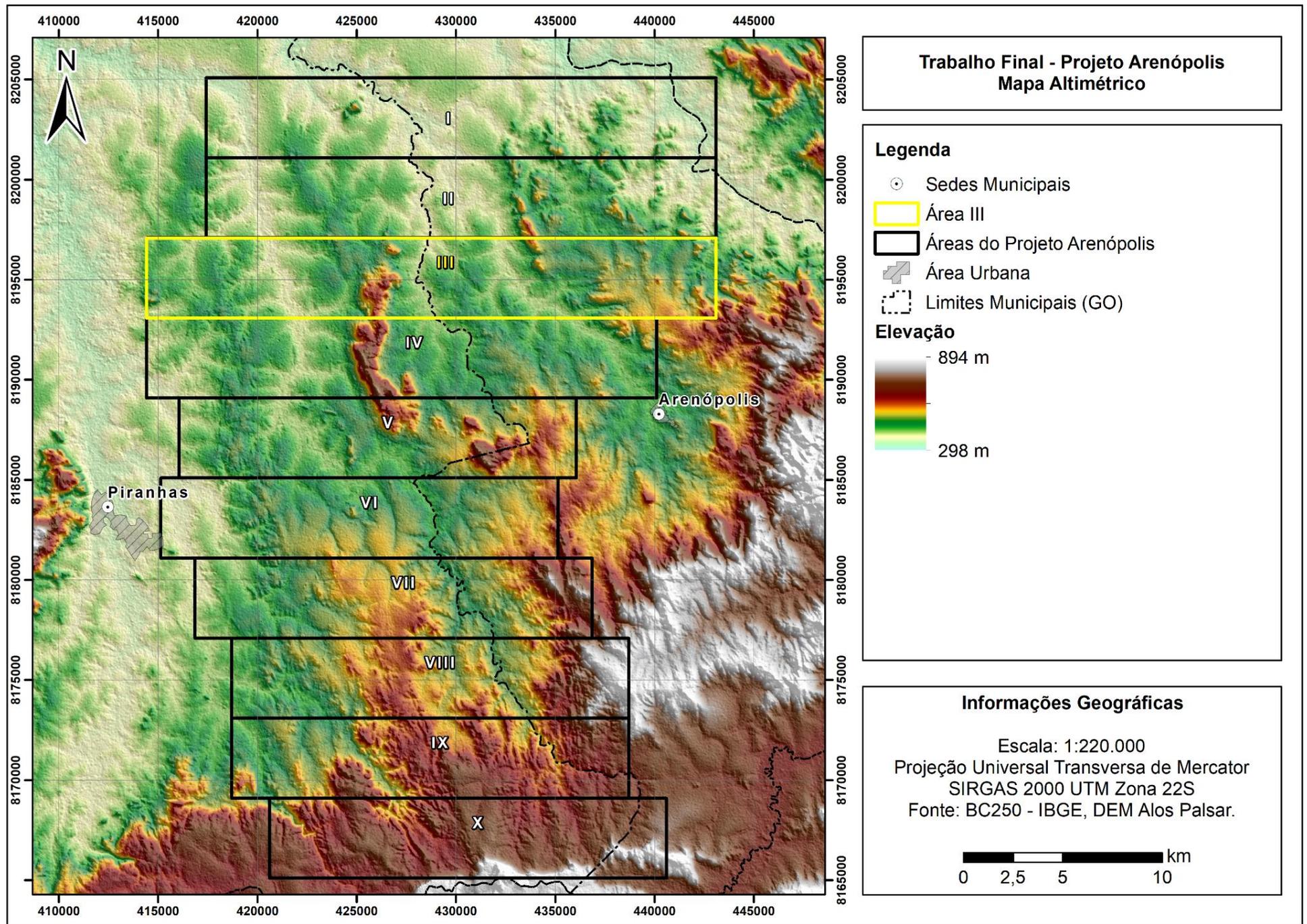


Figura 4.8: Mapa Altimétrico da região do Projeto Arenópolis.

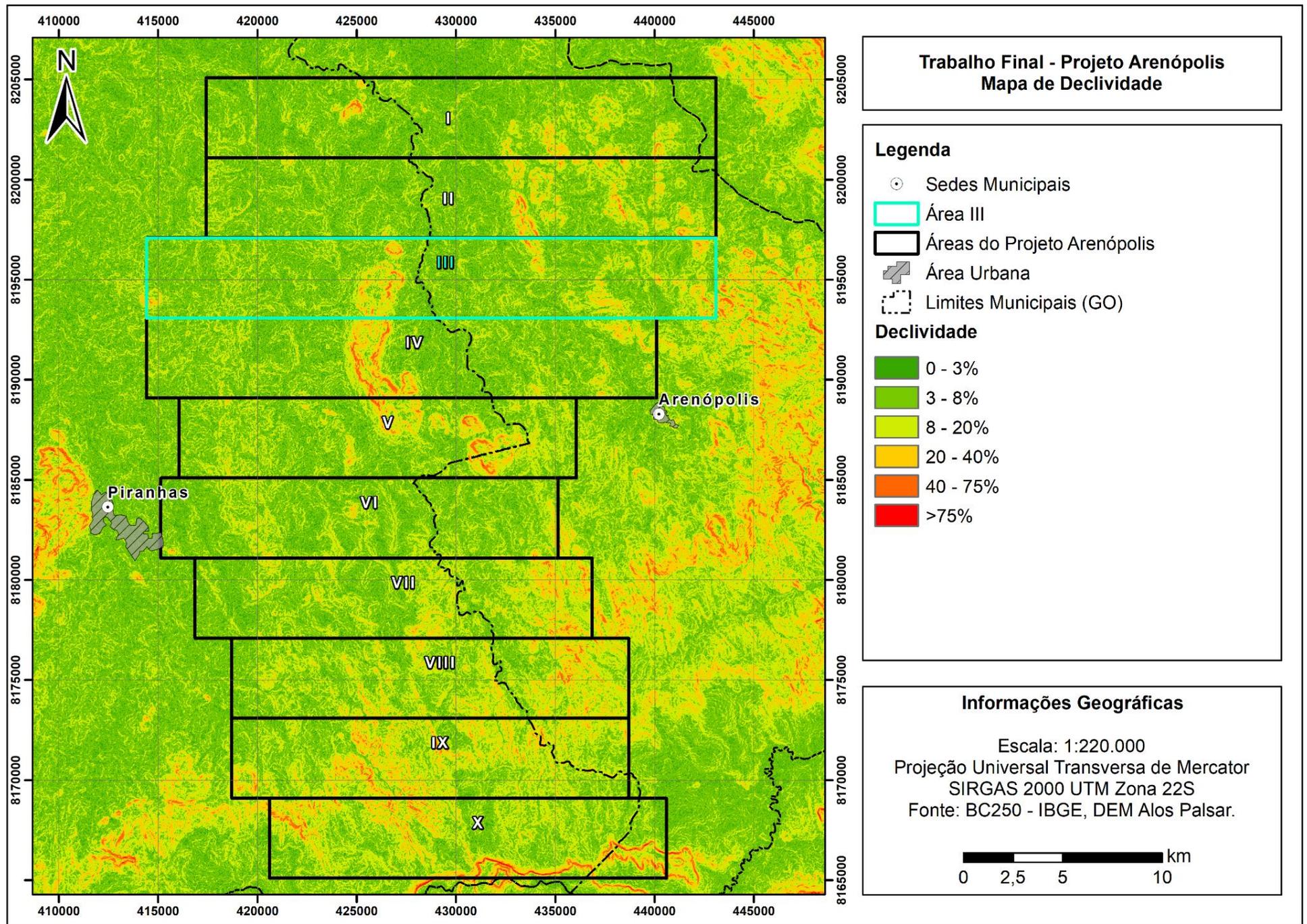


Figura 4.9: Mapa de Declividade da região do Projeto Arenópolis.

Mapa Base

O Mapa Base é um produto cartográfico gerado a partir de elementos vetoriais e matriciais (Figura 4.10). Teve como principal finalidade a localização geográfica durante a etapa de campo e o auxílio na produção do mapa geológico de campo. Para isso, utilizou-se a imagem CBERS 4A em conjunto com os demais produtos, o que permitiu a extração de dados e a vetorização precisa de estradas pavimentadas e não pavimentadas, caminhos e localização de fazendas e vilas. As curvas de nível, que foram extraídas a partir do MDE, foram divididas em mestras, as quais estão espaçadas em 100 metros entre si, e as ordinárias, com espaçamento de 25 metros.



Figura 4.10: Mapa Base da Área III do Projeto Arenópolis.

3.1. Aerogeofísica

No Brasil, os primeiros levantamentos aerogeofísicos são registrados na década de 50, sendo inicialmente restritos ao monitoramento do campo magnético e atividades sísmicas. Apenas a partir da década de 70 que a geofísica teve seu campo de atuação ampliado para o setor de exploração mineral, sendo utilizado até os dias de hoje (Sordi, 2007).

Levantamentos aeromagnéticos de alta resolução e espectrometria de raios gama são fundamentais para o mapeamento geológico, fornecendo dados robustos estruturais e litológicos em uma ampla variedade de províncias e terrenos geológicos. Enquanto os dados magnéticos são particularmente úteis para determinar a estruturação do embasamento em profundidade, os dados espectrométricos de raios gama fornecem mapas geoquímicos (K, Th, U) que se mostraram valiosos no mapeamento da litologia e alteração superficial (Jaques *et al.*, 1997).

No Projeto Arenópolis, foram utilizados dados aerogeofísicos de gamaespectrometria e magnetometria adquiridos a partir da 1ª etapa do Levantamento Aerogeofísico de Goiás, realizado entre julho e setembro de 2004 (Figura 4.11). O levantamento teve como objetivo recobrir o Arco de Arenópolis e o Complexo Anápolis-Itauçu. O levantamento e processamento foram realizados pela Lasa Engenharia e Prospecções S.A., a qual foi contratada pelo Governo do Estado de Goiás em parceria com o Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

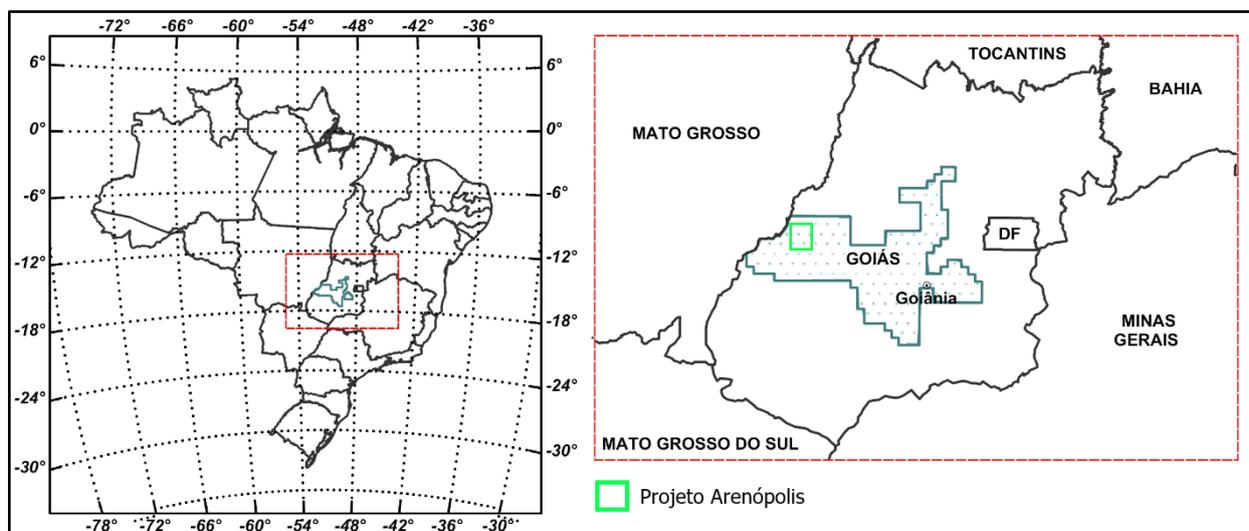


Figura 4.11: Localização da área do Projeto Aerogeofísico e do Projeto Arenópolis. Fonte: adaptado de CPRM (2004).

Magnetometria

A técnica de magnetometria tem como princípio a investigação geológica com base nas anomalias do campo magnético da Terra. Tais anomalias são geradas a partir das propriedades magnéticas de cada material, os quais são determinados, dentre outras características, pelos spins dos elétrons e seu movimento orbital em torno do átomo e estrutura molecular (Dendith & Mudge, 2015). Com relação aos tipos de magnetização das rochas, há dois tipos, classificados como magnetização induzida e remanente. A magnetização de um corpo se dá pela soma vetorial desses dois tipos.

A magnetização induzida é um fenômeno que ocorre quando um material tem a capacidade de adquirir e perder magnetização quando é colocado e retirado de um campo magnético, respectivamente. Dessa forma, o parâmetro principal para a geração do campo induzido nas rochas é chamado de susceptibilidade magnética. Já a magnetização remanente é uma característica intrínseca ao próprio material. É resultado do alinhamento dos spins dos elétrons desse material quando na presença do campo magnético externo, de forma que a intensidade e orientação da magnetização remanente é relacionada ao campo magnético externo no momento de sua formação (Dendith & Mudge, 2015).

De maneira geral, a intensidade de magnetização e as consequentes anomalias magnéticas de uma rocha são diretamente proporcionais à quantidade de minerais magnéticos presentes no corpo, tais quais magnetita, pirrotita e ilmenita. Como consequência, a magnetometria se tornou um método potencial capaz de delimitar feições estruturais como falhas e zonas de cisalhamento, uma vez que nessas estruturas é comum a concentração de minerais magnéticos em diferentes profundidades (Gunn *et al.*, 1997).

Gamaespectrometria

Desde quando a radioatividade foi descoberta, em 1896, muitas utilidades foram desenvolvidas, especialmente para pesquisa mineral e, mais recentemente, para mapeamento geológico (Maciel *et al.*, 2003). O método da aerogamaespectrometria leva em consideração a distribuição e concentração de elementos que emitem radiação naturalmente. Esses parâmetros estão diretamente relacionados ao arcabouço geológico e, por conta disso, esse método proporciona boas correlações com a geologia aflorante.

A gamaespectrometria utiliza o decaimento radioativo de elementos a partir de partículas gama. Contudo, apesar de haverem diversos isótopos radioativos, apenas três elementos emitem radiações gama detectáveis em superfície e na maioria das rochas e superfícies intempéricas, sendo eles o potássio (^{40}K), tório (^{232}Th) e urânio (^{238}U) e os respectivos isótopos filhos.

Esse método realiza investigações superficiais, onde é possível detectar a radiação dos elementos K, Th e U. Isso significa que a fonte de radiação pode representar diferentes estágios de alteração superficial em rochas e material transportado, portanto, é possível avaliar os processos intempéricos atuantes na área.

Dentre os três elementos radiogênicos em questão, o K é o elemento mais abundante na crosta terrestre. Pode ser encontrado em rochas ígneas félsicas plutônicas e vulcânicas em feldspatos, em rochas metamórficas, principalmente em minerais micáceos, e em alguns tipos de rochas sedimentares como arcóseos e argilitos. Por conta disso, o K está presente sempre em grandes quantidades nos produtos dos levantamentos, logo, é representado em porcentagem (%). Além disso, o potássio apresenta o maior raio iônico em comparação ao Th e U, portanto, é tratado como um elemento móvel e de fácil lixiviação e formação de argilominerais. Por isso, é comum haver alto conteúdo de potássio em canais de drenagem e zonas de alteração hidrotermal.

Já os elementos U e Th, estão presentes na crosta terrestre em menores quantidades, sendo encontrados principalmente em minerais acessórios como zircão, monazita, alanita e apatita. Dessa forma, diferentemente do K, o U e Th são representados na forma de equivalentes em partes por milhão (ppm). Com relação aos processos intempéricos, o Th apresenta a maior estabilidade geoquímica, enquanto que o U, embora também seja considerado pouco móvel, pode ser lixiviado em ambientes oxidantes (Ferreira *et al.* 2016).

3.1.1. Natureza dos Dados

Conforme mostra a Tabela 4.4, o levantamento realizado pela CPRM recobriu um total de 135.756 km de perfis aeromagnetométricos e aerogamaespectrométricos de alta resolução. As linhas de voo tiveram um espaçamento de 500 metros e orientação N-S, enquanto as linhas de controle foram espaçadas em 5 km e orientadas em E-W. O processamento dos dados foi realizado pela mesma empresa da aquisição, a qual utilizou o *software Geosoft Oasis* (versão Montaj 5.1.8),

resultando em mapas nas escalas 1:100.000 e 1:500.000, arquivos de bancos de dados e *grids*. Duas aeronaves foram utilizadas para a aquisição dos dados, as quais voaram sob diferentes velocidades, sendo elas um Piper Navajo-PA31 (PT-WOT) e um Cessna Titan 404 (PT-FZN) (LASA, 2004).

Tabela 4.4: Parâmetros que nortearam a execução do levantamento. Fonte: CPRM (2004).

Características do Levantamento	
Área	58.834 km ²
Direção das linhas de vôo	N-S
Direção das linhas de controle	0,5 km
Espaçamento entre as linhas de vôo	E-W
Espaçamento entre as linhas de controle	5,0 km
Altura média de vôo	100 m
Velocidade aproximada de vôo - PT-FZN	294 km/h
Velocidade aproximada de vôo - PT-WOT	286 km/h

3.1.2. Processamentos

Os processamentos geofísicos de todo o Projeto Arenópolis foram realizados no software Geosoft Oasis Montaj (versão 8.4), disponibilizado no laboratório de Sensoriamento Remoto do Instituto de Geociências da UnB e sob a supervisão da Prof. Dr. Júlia Curto Ma.

Método Magnetométrico

Conforme mostra o fluxograma (Figura 4.12), o primeiro produto gerado para o método magnetométrico foi o de Campo Magnético Anômalo (CMA), através do método de interpolação *spline bidirecional* ou *bigrid*. A partir deste produto foram gerados os dados de Derivada Vertical (Dz) e Derivadas Horizontais (Dx e Dy). Posteriormente, processou-se o Gradiente Horizontal Total (GHT), Amplitude do Sinal Analítico (ASA) e a derivada TILT.

Os produtos de derivadas gerados a partir do CMA podem auxiliar em interpretações geológicas quando analisados separadamente. Enquanto que a derivada vertical (Dz) representa um importante produto para visualização de lineamentos magnéticos, as derivadas horizontais são úteis para a delimitação de contatos geológicos. Isso ocorre devido ao fato de o Dz representar campos magnéticos em que a interferência de anomalias adjacentes é eliminada. Por outro

lado, Dx e Dy consideram a variação lateral do campo magnético ao longo de X e Y (Blakely, 1996).

A Amplitude do Sinal Analítico (ASA) consiste na soma vetorial das derivadas das componentes Dx, Dy e Dz a partir do produto CMA. O ASA é utilizado para demarcação lateral de corpos com anomalias magnéticas e costuma ser uma ferramenta útil para correlação com dados geológicos. Já o Gradiente Horizontal Total (GHT) utiliza apenas os gradientes horizontais Dx e Dy a fim de realçar os limites das fontes magnéticas (Cordell & Grauch, 1982). A derivada TILT é calculada a partir do ângulo de inclinação da anomalia e é uma ferramenta eficaz para fornecer uma estimativa do local de origem dos dados magnéticos.

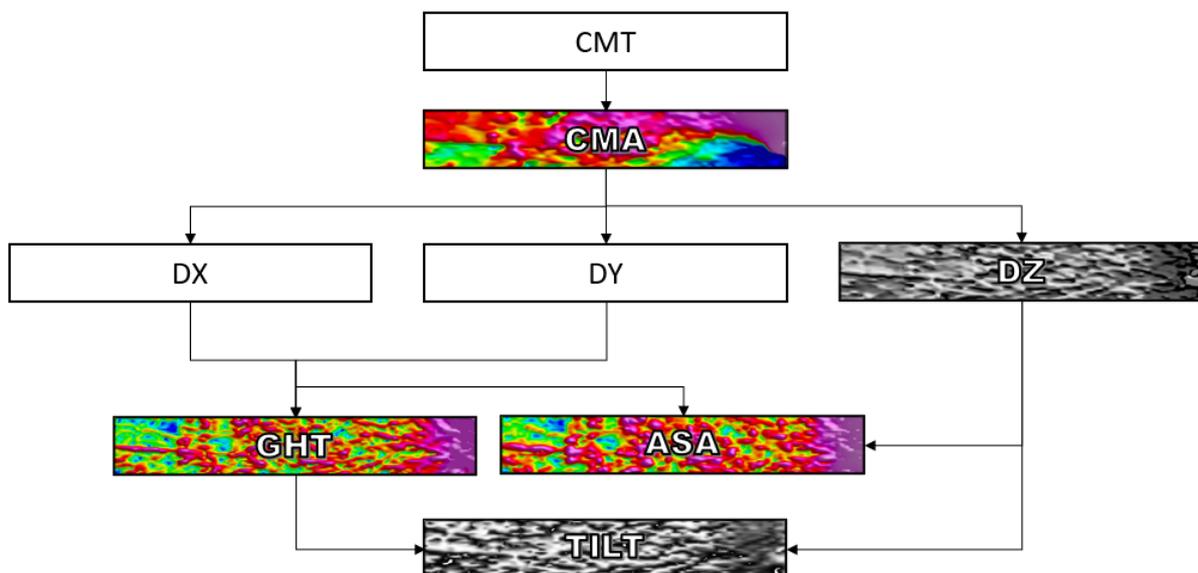


Figura 4.12: Fluxograma de processamento dos produtos do método magnetométrico gerados a partir dos dados de levantamento aerogeofísicos disponíveis para o Projeto Arenópolis.

Método Gamaespectrométrico

De acordo com o fluxograma (Figura 4.13), a Composição Ternária RGB (K%, eTh, eU) foi gerada a partir dos canais radiométricos de cada elemento utilizando a técnica de normalização e o método de interpolação Rangrid. Os canais de cada elemento radiométrico são importantes para a avaliação das concentrações individualmente. Já a Composição Ternária, atribui o vermelho ao K, verde para ao Th e azul ao U, gerando um padrão RGB ao produto. Dessa forma, o mapa ternário permite a investigação dos três elementos em uma mesma região. A Contagem Total é gerada por intermédio de um espectrômetro, o qual associa a emissão de radiação

de todos os radioelementos presentes na superfície, ou seja, o produto indica a resposta total de radiação emitida pelos radioelementos, não só de K-Th-U.

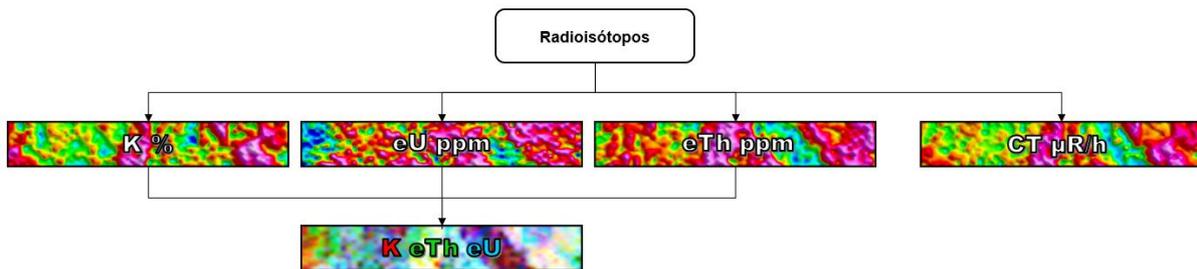


Figura 4.13: Fluxograma de processamento dos produtos do método gamaespectrométrico gerados a partir dos dados de levantamento aerogeofísicos disponíveis para o Projeto Arenópolis.

3.1.3. Produtos e Interpretações

Os produtos aerogeofísicos gerados de gamaespectrometria e magnetometria foram interpretados separadamente a partir da delimitação de domínios e extração manual de lineamentos. Os domínios gamaespectrométricos e magnetométricos foram traçados para toda a área do Projeto Arenópolis, porém serão abordados nesse relatório apenas aqueles que estão presentes na Área III.

Magnetometria

Os produtos interpretados a partir dos dados magnetométricos (Figura 4.14) incluem a delimitação de domínios e a extração de lineamentos. Para a extração de lineamentos, o principal produto foi a primeira derivada vertical, uma vez que a interferência entre anomalias adjacentes são eliminados (Gunn *et al.* 1997), embora o GHT e a derivada TILT também auxiliaram na extração. Dessa forma, os lineamentos podem representar feições estruturais como o traço da foliação principal, falhas e zonas de cisalhamento, as quais, de acordo com o diagrama de rosetas, apresentam duas direções principais: NE e NW.

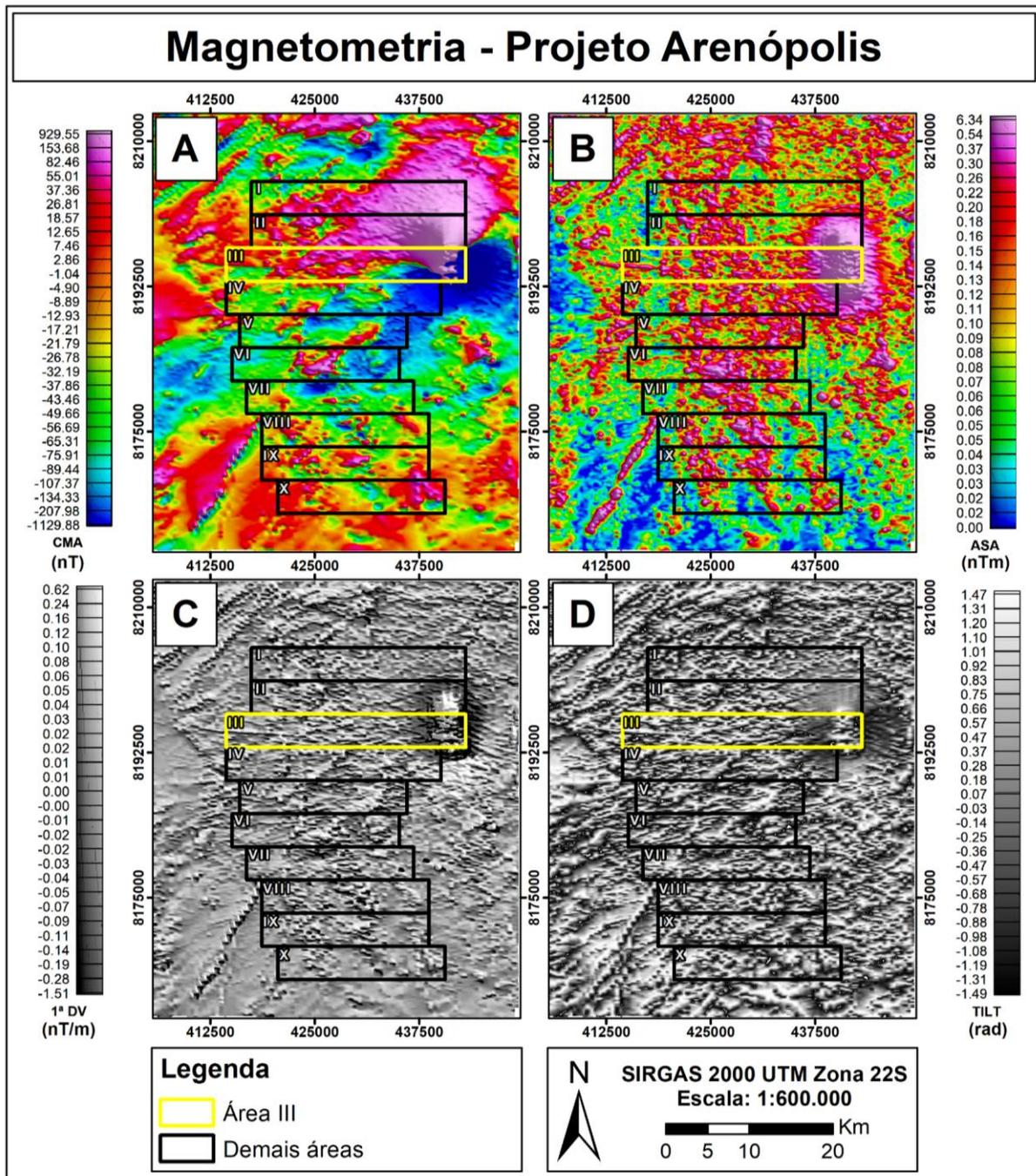


Figura 4.14: Produtos magnetométricos do Projeto Arenópolis com destaque para a Área III.

O Arco Magmático de Arenópolis apresenta estruturação principal com orientação NNE e NNW (Pimentel & Fuck, 1992), que corrobora com os lineamentos extraídos (Figura 4.15). O mesmo ocorre no contexto da Área III, porém, acredita-se que a proximidade com o complexo alcalino à leste possa ter influência estrutural nos lineamentos, principalmente aqueles com orientação NE. Outra possibilidade em relação aos lineamentos com orientação NE é de que tenham alguma relação com o LTB, porém, isso seria mais restrito à porção norte do Projeto Arenópolis. Para os

lineamentos com orientação NW, acredita-se que podem estar relacionados às falhas e zonas de cisalhamento que limitam as rochas ígneas e sequências metavulcanossedimentares associadas ao arco magmático.

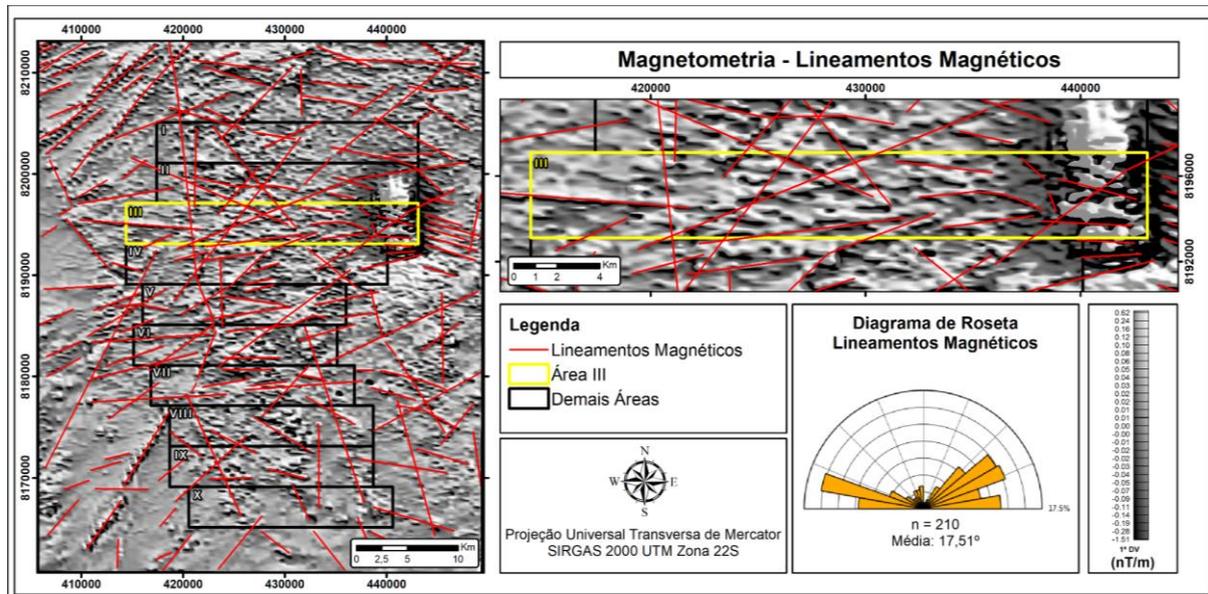


Figura 4.15: Mapa de lineamentos magnéticos do Projeto Arenópolis com destaque na Área III, exibidos no mapa de Primeira Derivada Vertical (1DV).

Os domínios magnéticos para o Projeto Arenópolis foram delimitados utilizando, principalmente, o ASA, uma vez que esse produto permite a separação de domínios com diferentes intensidades das assinaturas magnéticas (Figura 4.16). Os domínios auxiliam na identificação de unidades geológicas e zonas com magnetismo anômalo, representando alta concentração de minerais magnéticos, muito comuns em áreas com a migração desses elementos. O principal domínio magnético da área do projeto está delimitado a nordeste das áreas, o qual apresenta formato circular marcado por intensa anomalia magnética. Tal estrutura representa uma intrusão alcalina pertencente à PAGO. Uma intrusão pode apresentar diques associados, e, nesse caso, as feições lineares de direção NE-SW e NEE-SWW com altos magnéticos podem representar essas estruturas. A Tabela 4.5 mostra a descrição, em síntese, de cada domínio magnético no contexto da Área III.

Tabela 4.5: Características dos domínios magnetométricos do Projeto Arenópolis.

Domínio	Intensidade	Relevo
1	Baixa	Liso
2	Média	Rugoso
3	Alta	Rugoso
4	Muito Alta	Rugoso

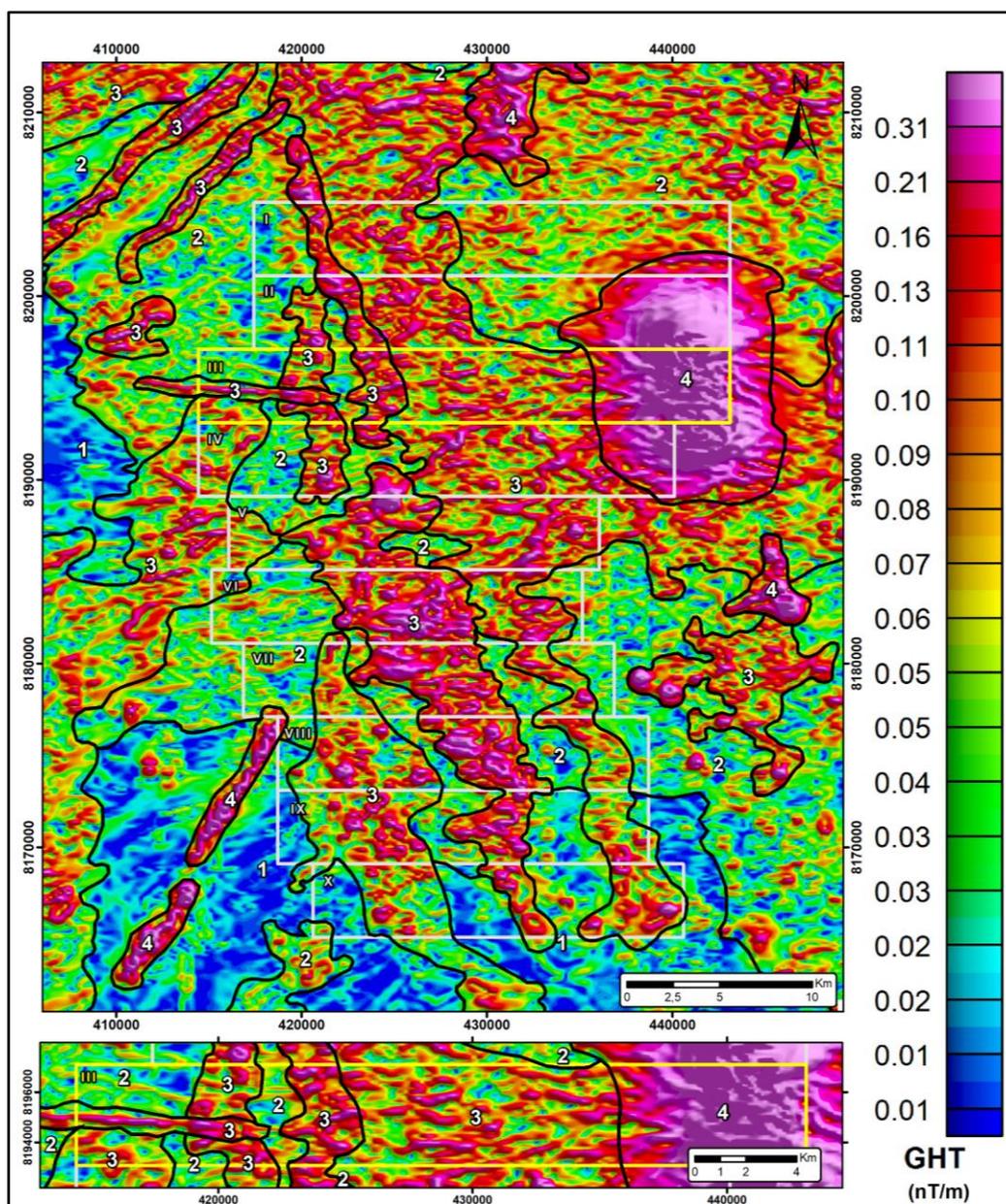


Figura 4.16: Mapa de domínios magnéticos do Projeto Arenópolis, com destaque para a Área III, exibidos no mapa de Amplitude do Sinal Analítico (ASA).

Gamaespectrometria

Os dados gamaespectrométricos (Figura 4.17) permitiram a interpretação e delimitação de diferentes domínios a partir do mapa ternário (RGB) para a área do Projeto Arenópolis. As respostas radiométricas dos alvos refletem as composições do substrato rochoso e por isso é um bom indicador para as correlações litológicas da área. A Tabela 4.6 mostra as características de todos os 13 domínios delimitados na área do Projeto Arenópolis (Figura 4.18).

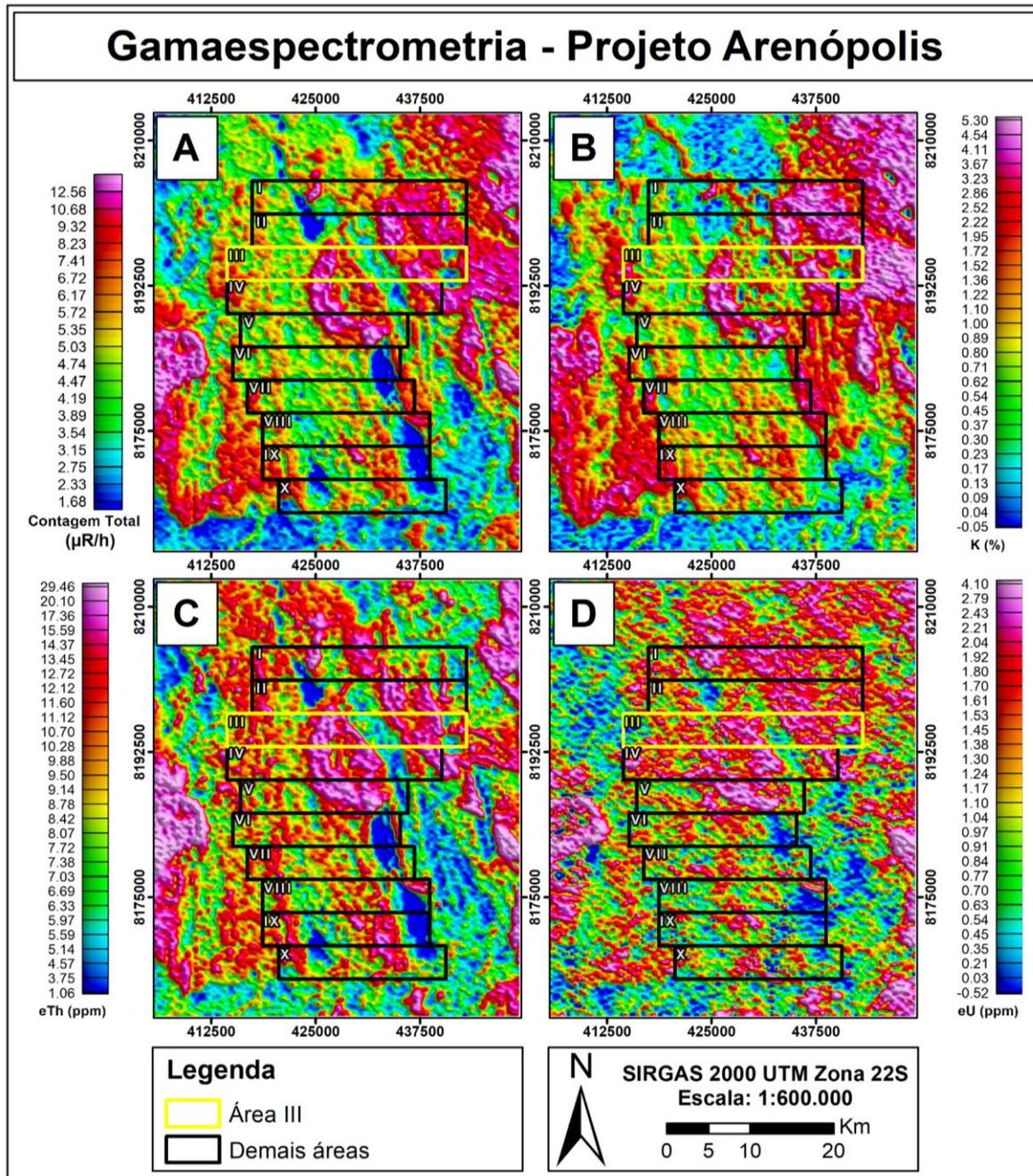


Figura 4.17: Produtos gamaespectrométricos do Projeto Arenópolis, com destaque para a Área III.

No contexto da Área III, foram traçados 5 domínios, os quais se diferenciam pelas cores que refletem diferentes composições de K, Th e U. Os domínios que mais se destacam na área estão na porção central e leste (domínios 1 e 4). O domínio 1 apresenta alta resposta para os três elementos radiométricos e que provavelmente representam uma rocha magmática de composição félsica. O domínio 10, embora tenha características semelhantes aos domínios 1, apresenta U mais alto, o que pode indicar a ocorrência de processos intempéricos e formação de solo. Essa informação é corroborada com os mapas de declividade e *hillshade* nos quais observa-se a notória variação de elevação entre os dois domínios.

O domínio 7 também exhibe características diferentes dos demais, com tonalidades mais escuras, indicando uma baixa resposta principalmente para o Th e relativamente altas de K. Sabe-se que o K é um elemento móvel durante o intemperismo e lixiviação, logo, sabendo que nessa porção da área há o Córrego da Areia, infere-se que essa resposta para o K esteja relacionada aos sedimentos transportados pelo fluxo de água.

O domínio 8 apresenta ciano como tonalidade predominante, evidenciando altos valores em eTh e eU. Além disso, apresentam relevo plano e são recobertos por plantações, indicando que essas porções devem ter poucas exposições e afloramentos rochosos. Já o domínio 4, presente a oeste e a leste da área, apresenta tons acentuados de vermelho e branco principalmente na região oeste. Tais características podem indicar rochas magmáticas de composições félsicas alcalinas, uma vez que há alta concentração em K.

Tabela 4.6: Características dos domínios gamaespectrométricos do Projeto Arenópolis.

Domínio	K (%)	eTh (ppm)	eU (ppm)	Cor
1	Alto	Alto	Alto	Branco
2	Alto	Alto	Baixo	Amarelo
3	Alto	Baixo	Alto	Magenta
4	Alto	Moderado	Baixo	Vermelho
5	Baixo	Alto	Baixo	Verde
6	Baixo	Alto	Moderado	Ciano
7	Baixo	Baixo	Baixo	Preto
8	Baixo	Moderado	Alto	Ciano
9	Moderado	Baixo	Moderado	Violeta
10	Moderado	Alto	Alto	Ciano
11	Moderado	Alto	Moderado	Verde
12	Baixo	Baixo	Moderado	Preto
13	Moderado	Moderado	Moderado	Vermelho claro

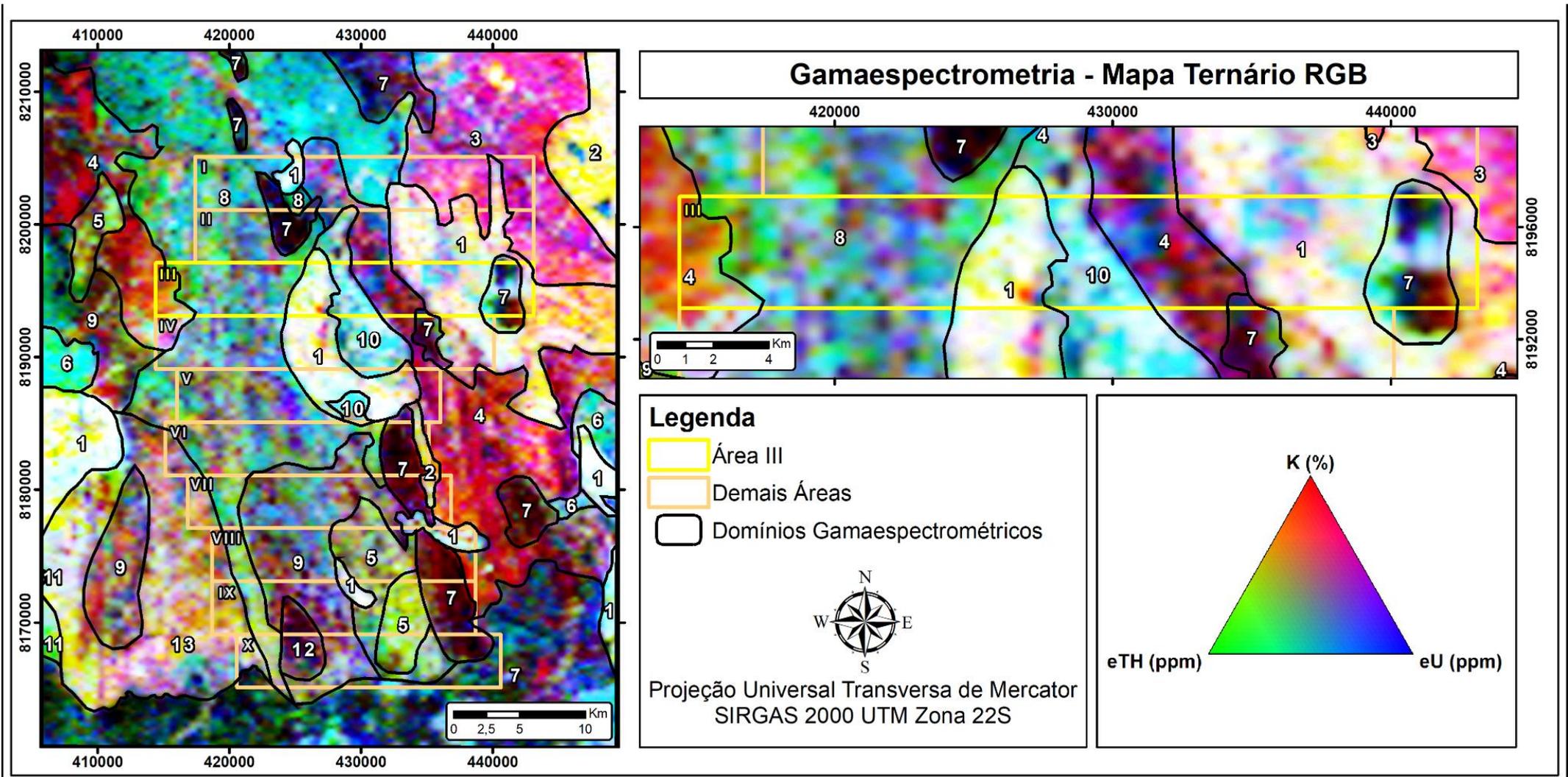


Figura 4.18: Mapa de domínios gamaespectrométricos do Projeto Arenópolis com destaque para a Área III, exibidos no mapa Ternário (RGB).

5. Geologia do Projeto Arenópolis

O Projeto Arenópolis (2023), através do mapeamento de uma área aproximada de 900 km² em escala 1:25.000, permitiu a identificação de unidades cuja formação, deformação e metamorfismo são atrelados à evolução da Orogênese Brasileira durante o neoproterozoico (Pimentel, 2016). Foram identificadas principalmente rochas neoproterozoicas do Arco Magmático de Goiás, mas também rochas paleoproterozoicas, representadas pelo Gnaiss Ribeirão, além de rochas sedimentares paleozoicas, da Bacia do Paraná, e rochas plutônicas e subvulcânicas mesozoicas, pertencentes à 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.

Este capítulo tem como objetivo resumir todas as unidades geológicas mapeadas no Projeto Arenópolis (Figura 5.1). As descrições detalhadas, bem como a petrografia das unidades mapeadas na Área III é abordada no Capítulo 6.

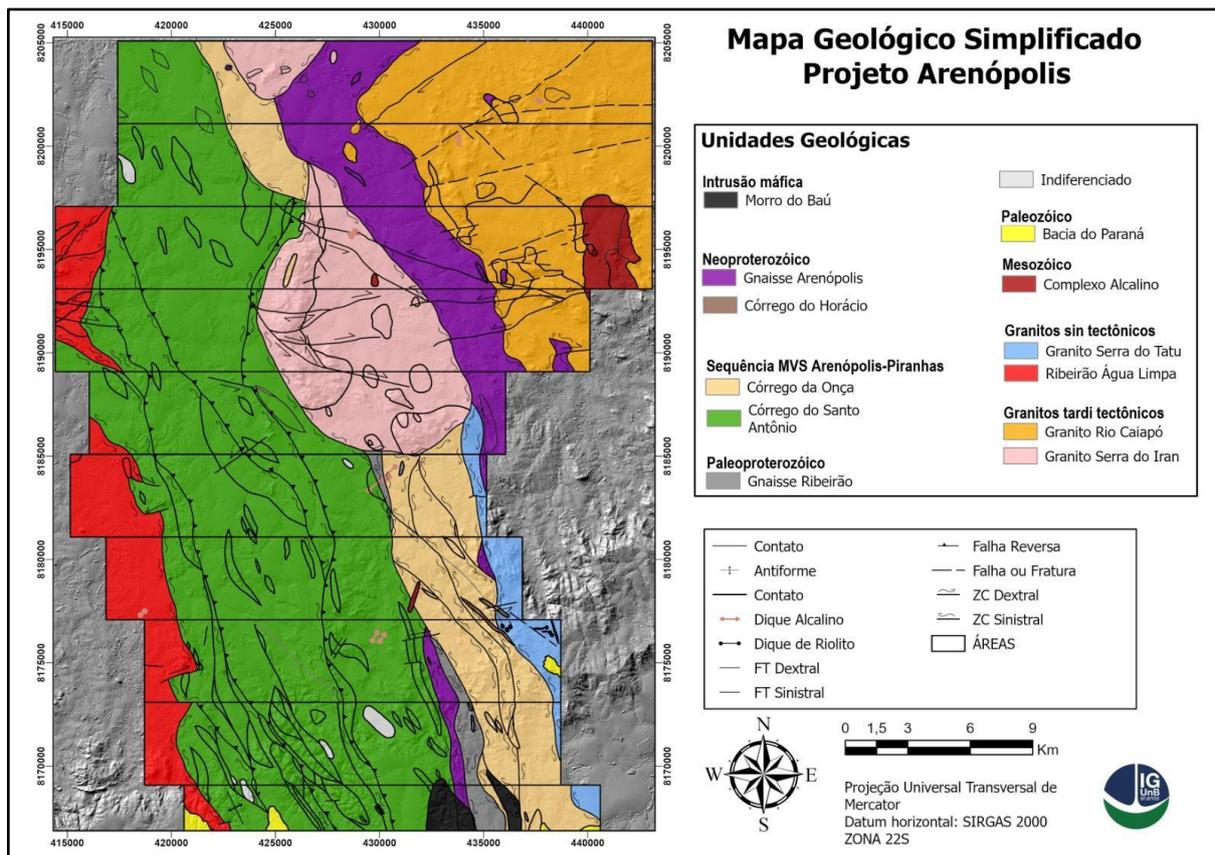


Figura 5.1: Mapa Geológico Simplificado do Projeto Arenópolis.

5.1. Embasamento: Gnaisse Ribeirão

A unidade representativa do embasamento é denominada de Gnaisse Ribeirão (Pimentel, 1992). Idades isócronas Rb-Sr e Pb-Pb indicaram uma idade aproximada de 1,8 Ga (Pimentel, 1992). Não obstante, métodos mais precisos e acurados devem ser aplicados para determinar com precisão a verdadeira idade desta unidade. O Gnaisse Ribeirão está em contato a leste com as unidades Córrego da Onça, da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas, e com o Gnaisse Arenópolis à oeste, ambos através de zonas de cisalhamento com cinemática sinistral relacionados com a Zona de Cisalhamento Ribeirão. O Gnaisse 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, os quais evidenciam a existência de processos de fusão parcial. Em termos mineralógicos, apresenta quartzo, plagioclásio (andesina, An₃₇) e como mineral máfico, biotita. A feição que mais se 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 (Figura 5.2).

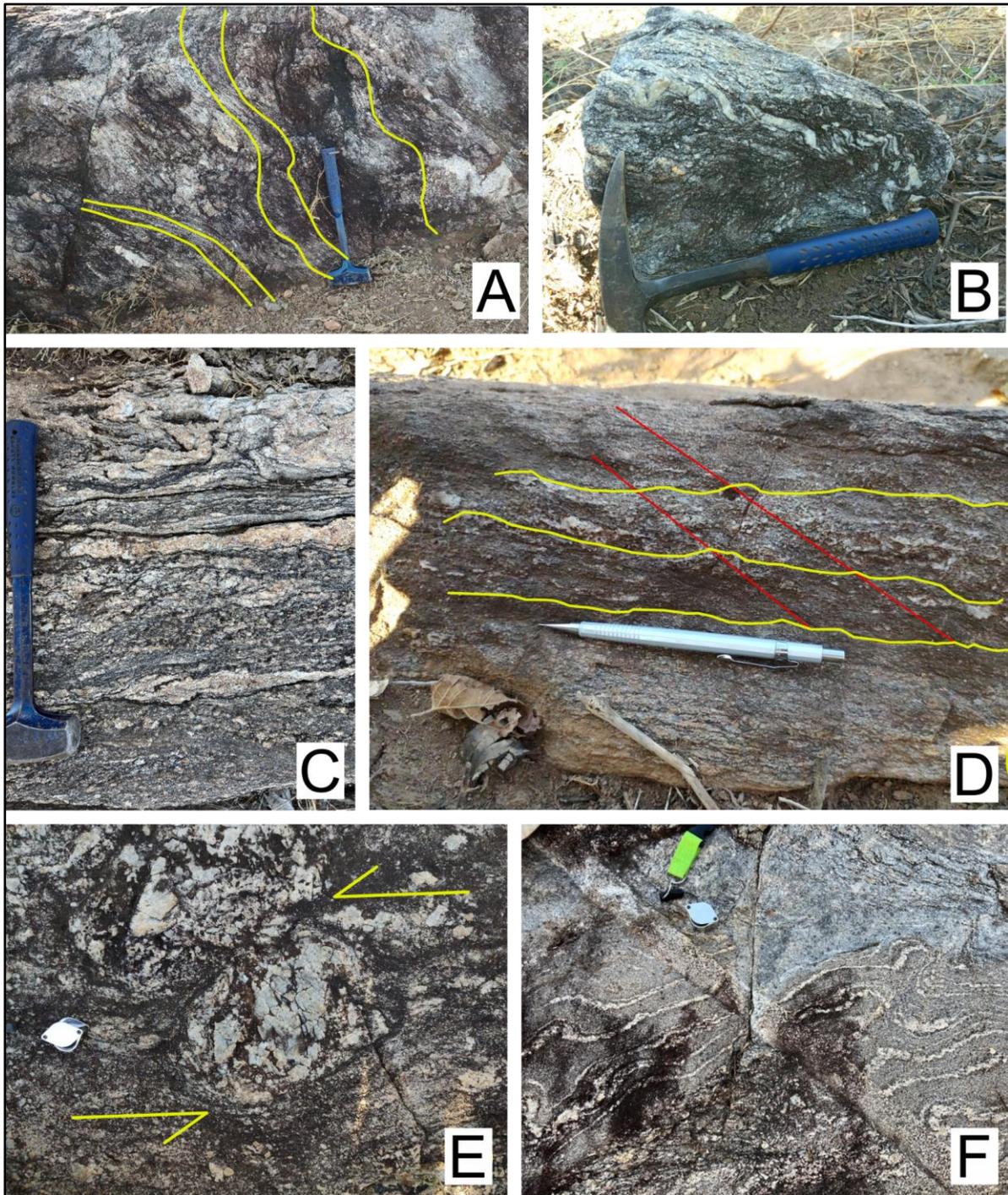


Figura 5.2. Feições de deformação no Gnaiss Ribeirão, observadas no afloramento-tipo, inserido na área VIII (Coordenadas: 22S 434053 E 8173182 N). Em A, foliação anastomosada truncada por fraturas; em B, leucossomas rompidos; em C, leucossomas em migmatito exibindo *pinch-and-swell* incipiente na porção inferior da imagem; em D, foliação S-C, onde as linhas amarelas representam o plano S, ao passo que as linhas em vermelho representam o plano C; em E, megaporfiroblasto de quartzo rotacionado, evidenciando cinemática sinistral; em F, migmatito com leucossomas concordantes à foliação, recortados por dique leucocrático de quartzo e feldspato.

5.2. Arco Magmático de Goiás

O Arco Magmático de Goiás - Segmento Arenópolis - corresponde a cerca de 97% de toda a área do Projeto Arenópolis mapeada. É representado pela associação de rochas graníticas (félsicas) a intermediárias, com composição que varia entre dioritos e tonalitos metamorizados em fácies xisto-verde a anfibolito. Estas são correspondentes ao estágio de arco de ilha. Estudos geocronológicos mostram um conjunto de idades entre cerca de 900 Ma (Sequência MVS Arenópolis-Piranhas) e 587 Ma (Granito Rio Caiapó). As unidades pertencentes ao arco são estruturadas conforme orientação principal NW-SE em um sistema predominantemente transcorrente, sobre o qual foram gerados sistemas de zonas de cisalhamento, com cinemática sinistral.

5.2.1. 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 Gnaiss 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 (ex. Área IX). Para o sul (Área X), ele está encoberto em discordância angular pelos arenitos da Formação Furnas (Devoniano) da Bacia do Paraná. A seguir, serão descritas as duas unidades que compõem esta sequência.

Unidade Córrego do Santo Antônio

A Unidade Córrego do Santo Antônio compreende uma intercalação de rochas metassedimentares (siliciclásticas e químicas), anfibolitos e rochas metaultramáficas. Os limites 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 é representada principalmente por xistos metapelíticos, metamorfizados em fácies anfibolito e com retrometamorfismo em fácies xisto verde. Ocasionalmente são observados lentes de metachert, mármore, quartzito e gondito. Os xistos são representados por micaxistos e biotita-xistos (Figura 5.3), com ocasionais porfiroblastos de granada e estauroлита. Os porfiroblastos de estauroлита e granada estão rotacionados e evidenciam cinemática sinistral. Intercalados aos xistos, ocorrem anfibolitos e rochas metaultramáficas, as quais formam faixas e lentes de dimensões variáveis. No extremo leste da unidade, ocorre uma espessa faixa contínua de direção NNW-SSE composta por anfibolitos, os quais apresentam paragênese de hornblenda verde, plagioclásio (An_{35}), epidoto e ocasionalmente titanita, o que indica metamorfismo de fácies anfibolito. 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; ao passo que os anfibolitos afloram predominantemente na porção leste da unidade.

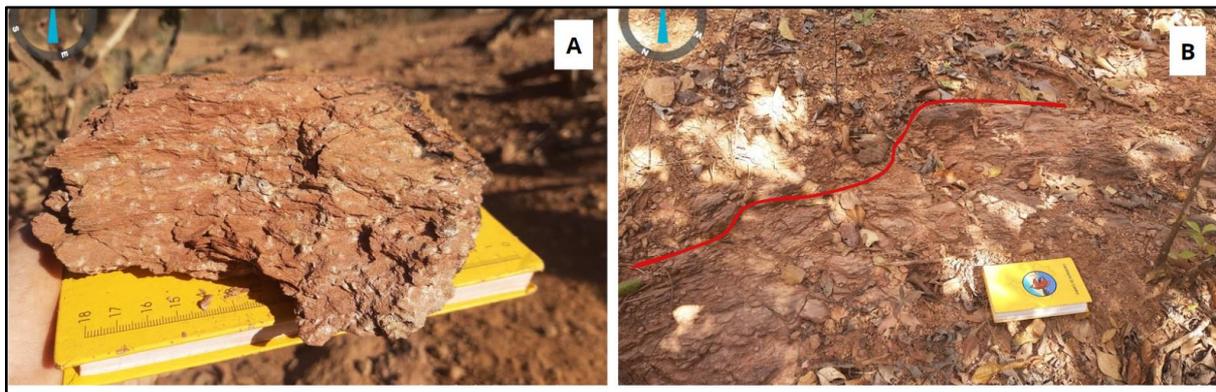


Figura 5.3. (A) Xisto alterado de coloração vermelha-amarelada e granulação média a grossa, textura lepidoblástica, foliação do tipo xistosidade. Composta por quartzo, muscovita, granada e pseudomorfos de estauroлита: TF23-X-106 430682E 8166457S. (B) Afloramento in situ evidenciando foliação: TF23-X-181 428702E 81680537S.

Unidade Córrego da Onça

A Unidade Córrego da Onça ocorre entre as áreas I e II e nas áreas V a X, sendo caracterizada por rochas metassedimentares, anfibolitos, rochas metaultramáficas 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 (Figura 5.4) apresentam textura nematoblástica, sendo constituídos por plagioclásio (An_{34} - andesina), 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 5.4. Afloramento de anfibolito do Córrego da Onça exibindo foliação subvertical de direção N-S. Área VI, ponto 187 (X: 434722,9973; Y: 8181581,737).

São observadas também rochas calcissilicáticas, com trama 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 passou por alteração hidrotermal calcissilicática. Esta assembleia é marcada por minerais ricos 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 5.5).



Figura 5.5. Área VI, ponto 120 (X:431498,7736; Y: 8182539,859). Afloramento em lajedo mostrando gnaisses calcissilicáticos afetados pela Zona de Cisalhamento Ribeirão.

Gabro Morro do Baú

A Unidade Morro do Baú corresponde a gabros intrusivos à Sequência Metavulcanosedimentar Arenópolis-Piranhas, principalmente na Área X e parte na Área IX. Está localizado em dois domínios, um corpo oval 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.

O afloramento-tipo encontra-se no corpo oval da Área X. Esta unidade é composta por gabros de textura granular média a grossa (Figura 5.6). 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. Por vezes, a unidade aparece com sua mineralogia e textura originais preservadas, com textura cumulática.

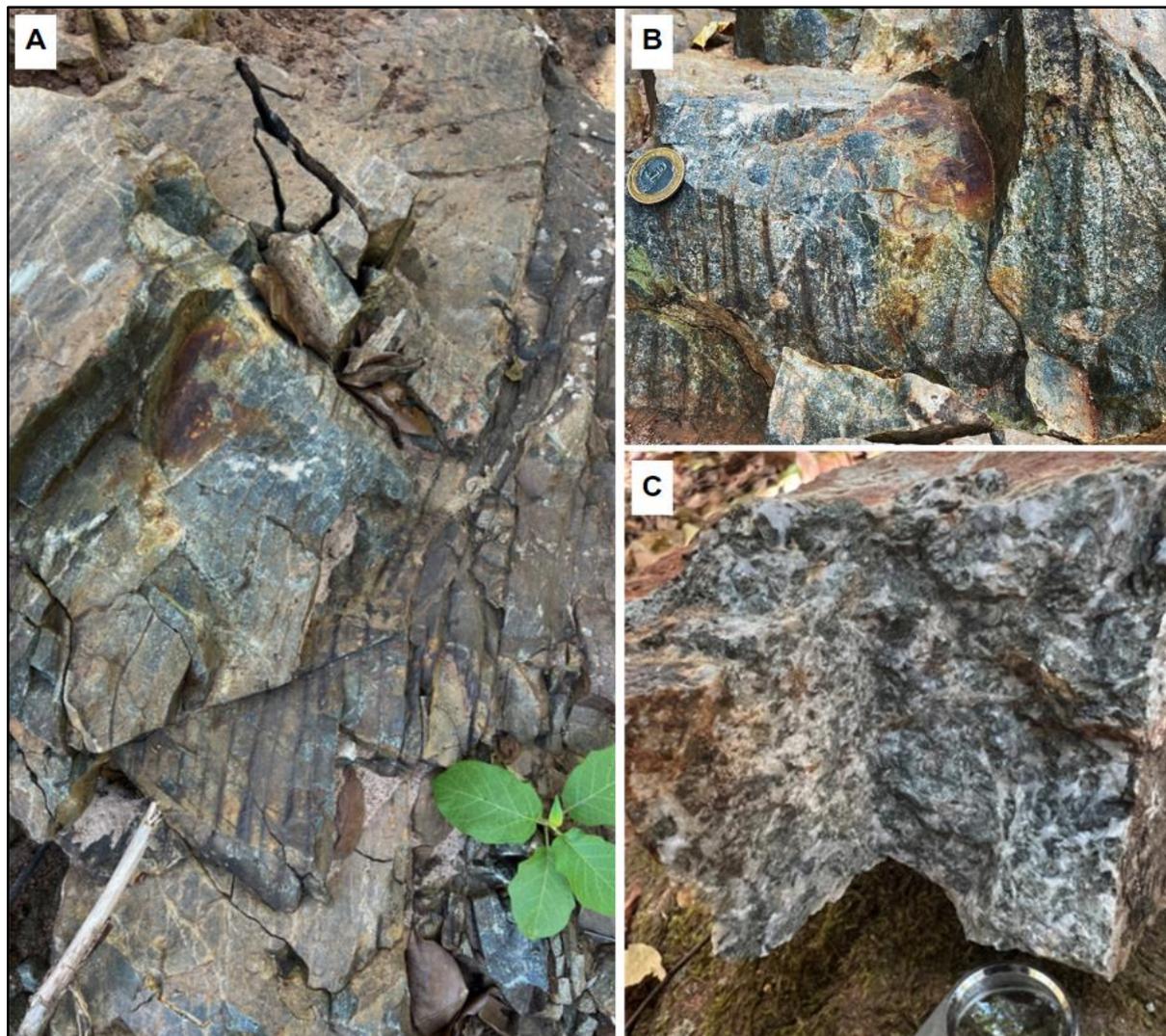


Figura 5.6. (A) TF23-X-12 432984E 8166649S: Aspecto de afloramento da unidade Gabro Morro do Baú no corpo arredondado. (B) TF23-X-12 432984E 8166649S: Detalhe do gabro deformado com bandamento centimétrico e veios leucocráticos discordantes. (C) TF23-X-13 433304E 8166548S: Gabro Morro do Baú com textura cumulática.

5.2.2. Gnaiss Arenópolis

Na região do Projeto Arenópolis, o Gnaiss Arenópolis é encontrado 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 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. Bandamento gnáissico com direção NW-SE representa a foliação predominante. São observados mergulhos subverticais, e lineação de estiramento mineral paralela ao bandamento, com baixo caimento na direção NW. A foliação milonítica, 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 variação composicional em membros tonalíticos predominando nas áreas mais ao norte, e membros mais félsicos mais ao sul. Na Área V, lentes ultramáficas associadas ao Gnaiss Arenópolis ocorrem em pequenos morrotes que sobressaem-se na topografia, compondo afloramentos de blocos métricos *in situ* (Figura 5.7). São encontrados serpentinitos, clorititos e xistos ultramáficos.



Figura 5.7. Área III - TF23-AIII-P106 (Coordenadas X: 434953,57; Y: 8193673,35). A - Afloramento em lajedado no leito do Córrego da Areia composto por gnaiss tonalítico milonitizado. B - Detalhe da foliação milonítica apresentada pela unidade.

5.2.3. Intrusões sin-tectônicas

Na área do Projeto Arenópolis, ocorrem duas unidades inseridas no contexto de intrusões sin-tectônicas: Granito Serra do Tatu e Granito Riberião Água Limpa.

Essa classificação se deu através de observações de campo, em macroescala e em microescala através de identificação de microestruturas. Ambas as unidades apresentam-se 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 e com largura de aproximadamente de 2 km. Sua ocorrência está relacionada à Serra do Tatu, que deu nome a unidade. Está limitado à leste e oeste pelas 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 (Figura 5.8B) e em blocos soltos.

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 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 (Figura 5.8A). O quartzo mostra-se recristalizado em regime de rotação de sub-grãos, o que indica que a deformação sofrida pela rocha atingiu temperaturas entre 350 a 550 °C. No mapa ternário RGB (K, eTh, eU) obtido por gamaespectrometria, é possível observar que a unidade está associada a um domínio amarelado, denotando alta resposta nos canais do K e do eTh.

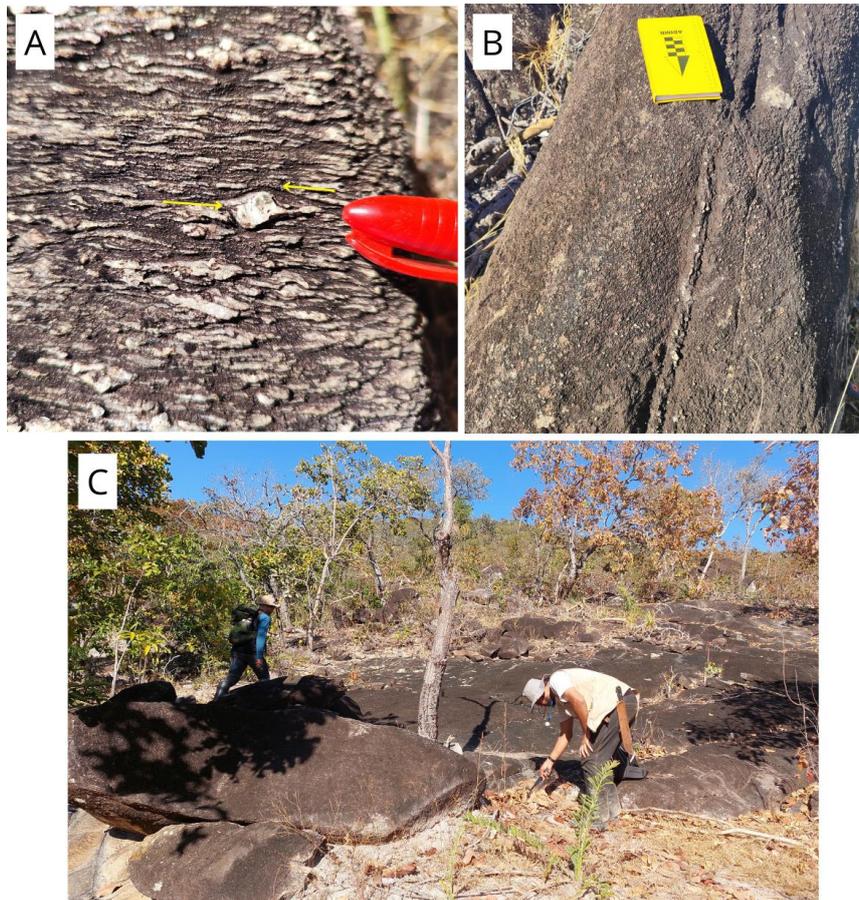


Figura 5.8. (A) Porfiroclasto sigmoidal de feldspato alcalino, exibindo rotação sinistral (destacada por setas amarelas) em meio a textura milonítica do biotita granito milonítico. Área VI, ponto 102 (X: 434548,8895; Y: 8184140,845). (B) Afloramento em lajedo de biotita granito milonítico do Granito Serra do Tatu. Área VI, ponto 102 (X: 434548,8895; Y: 8184140,845). (C) Área VII - TF23-VII-79 (X: 437028; Y: 8179502). Afloramento em blocos rolados e em lajedo de biotita granito.

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 a graníticas, granulação variável de fina a grossa e texturas primárias porfiríticas e equigranulares, as quais se mostram frequentemente milonitizadas. Em geral, é observado biotita subordinada e, em menor abundância, há presença de muscovita. Mais raramente, ainda foram descritas rochas com hornblenda e rochas com granada sin-tectônica. A deformação milonítica é mais intensa conforme a proximidade à Zona de Cisalhamento Piranhas, que marca o contato leste da unidade com a Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas. Por vezes é observado bandamento gnáissico. Além disso, ocasionalmente, na Área III, foram observadas estruturas indicativas de fusão parcial,

classificadas como migmatitos (Figura 5.9A). Essa grande heterogeneidade composicional e textural das rochas abarcadas pela unidade indica a possível existência de variadas fontes magmáticas durante o período colisional.

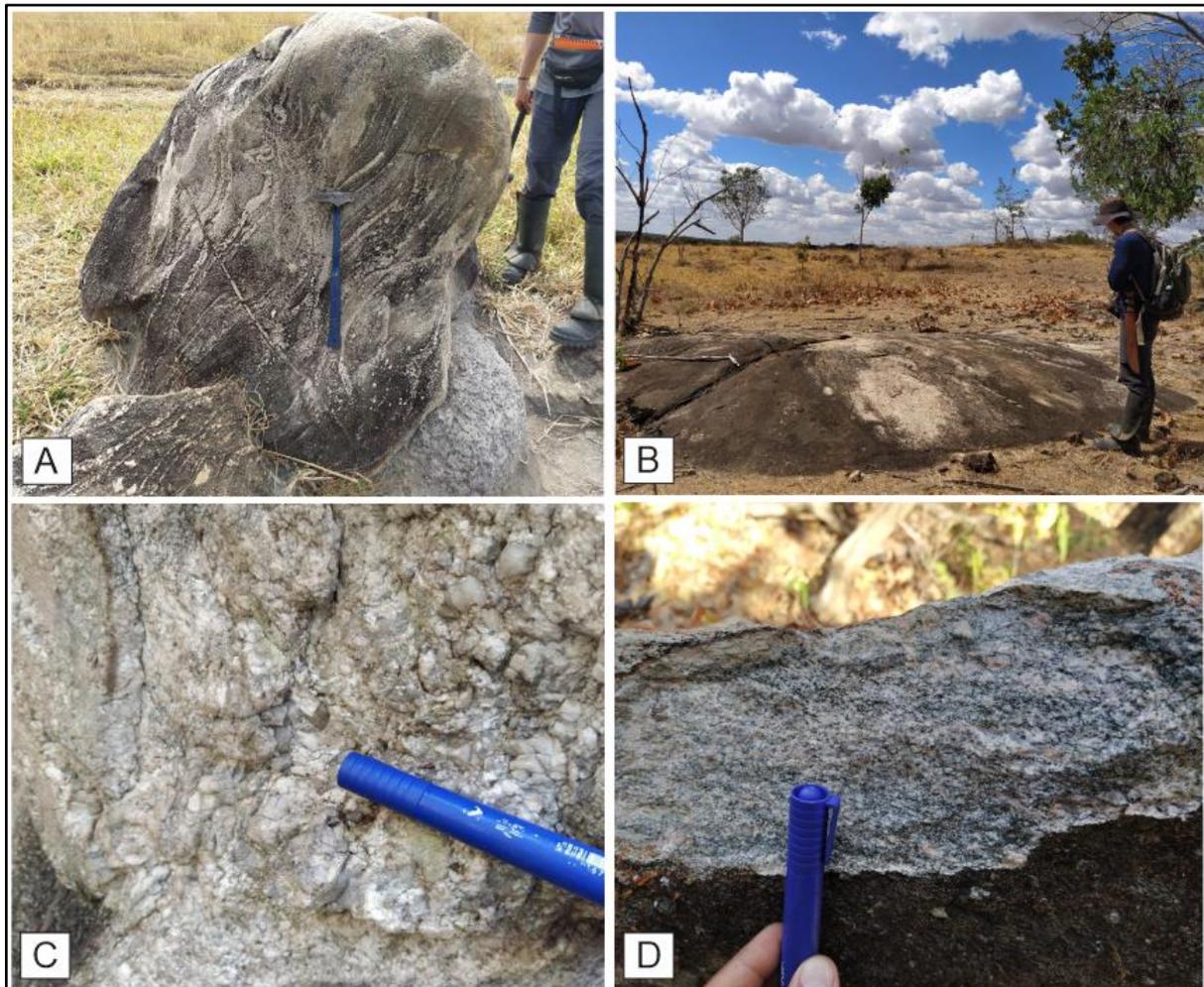


Figura 5.9. Afloramentos do Granito Ribeirão Água Limpa. (A) Matacão de rocha com bandamento gnáissico e composição granítica com evidências de fusão parcial - migmatitos. (B) Afloramento em lajedo, muito comum na Área III. (C) Fácies granítica isotrópica, com granulação grossa, classificado como pegmatítica. (D) Fácies de composição granodiorítica foliada e ocasionalmente bandada.

5.2.4. Intrusões tardi-tectônicas

As unidades que representam intrusões tardi-tectônicas incluem os Granitos Serra do Iran e Rio Caiapó de aproximadamente 588 Ma (Pimentel *et al.*, 1996). São corpos limitados por zonas de cisalhamentos, com foliação milonítica subordinada nas bordas e núcleos com feições ígneas bem preservadas no centro. As características estruturais identificadas em campo corroboram com as idades sugeridas para as unidades, que indicam um contexto pós-orogênico para o alojamento dos plútons.

Granito Serra do Iran

O Granito Serra do Iran ocorre como um corpo intrusivo tardi-tectônico situado na porção central da área abarcada 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 se 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 (Figura 5.10A), 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 (Figura 5.10B) e fina, monzogranitos; 2) fácies intermediárias: tonalitos, quartzo-dioritos e granodioritos; 3) fácies máficas: gabros e dioritos; 4) fácies subvulcânicas: dacitos e riódacitos. A partir desta variação composicional, foram observadas também evidências de mistura magmática, mixing-mingling. Em escala de campo, foi observado mingling com a presença de dois extremos composicionais (Figura 5.10C e 5.9D), e a partir da petrografia foi evidenciado o mixing, com a presença de híbridos composicionais.

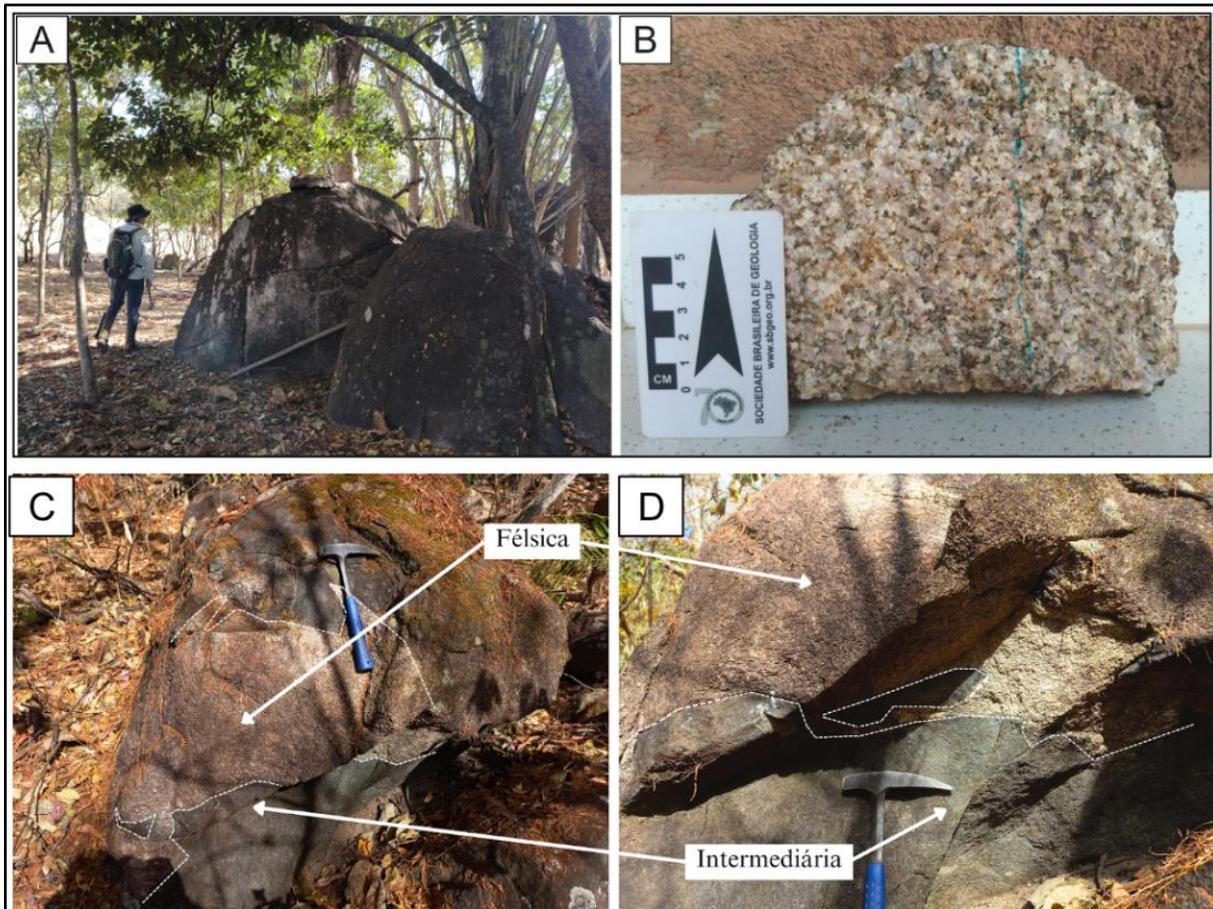


Figura 5.10. (A) Afloramento em bloco do Granito Serra do Iran, os blocos podem alcançar 2 metros de altura, muito comum nas proximidades da Serra da Margarida. (B) Amostra de mão representativa da fácies do Granito Serra do Iran de granulação grossa e textura equigranular. (C - D) Feições de mixing-mingling em afloramento em blocos métricos da Unidade Granito Serra do Iran no ponto (TF23-AV-P141, coordenadas: 431309E 8187001S).

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 PAGO. 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 (Figura 5.11). O outro domínio, compreendido pela fácies granítica fina, apresenta 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 granulométricas. A principal textura identificada na unidade é a porfírica, marcada por megacristais de feldspato potássico que, ocasionalmente, apresentam texturas períticas e rapakivi. Essa fácies porfírica ocorre, de maneira restrita,

associada à diques sin-plutônicos de composição tonalítica (Figura 5.12). Por vezes, as rochas da unidade apresentam foliação bem definida pela orientação dos grãos lamelares de biotita e estiramento de feldspatos, indicando uma deformação influenciada por zonas de cisalhamento.

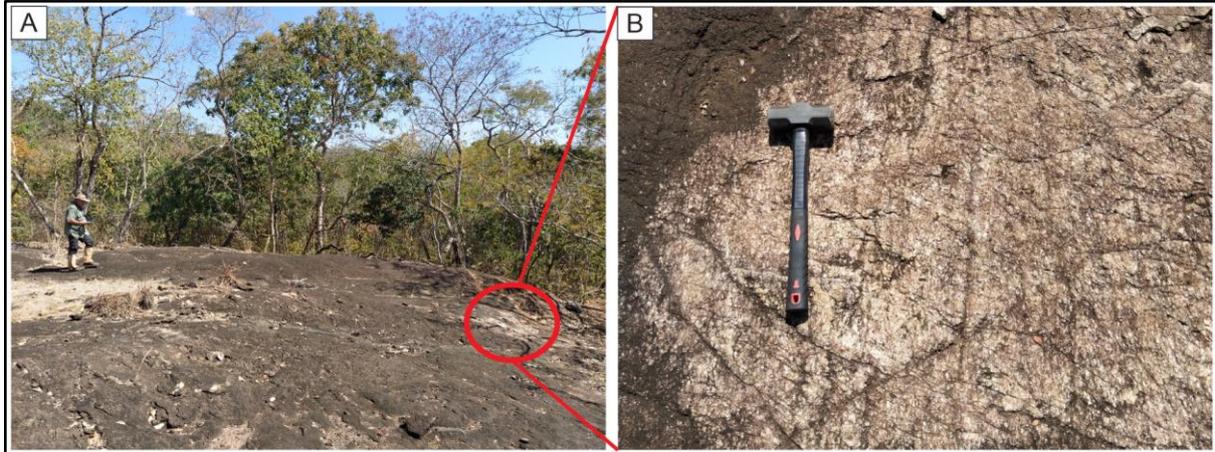


Figura 5.11. TF23-AIII-P15 (Coordenadas X: 439660,33; Y: 8195281,30) - (A) Lajedo de dimensão métrica do Granito Rio Caiapó. (B) Detalhe para a fácies inequigranular seriada com megacristsais de feldspato potássico, classificada como granito porfirítico, e fraturas de direção NW-SE.

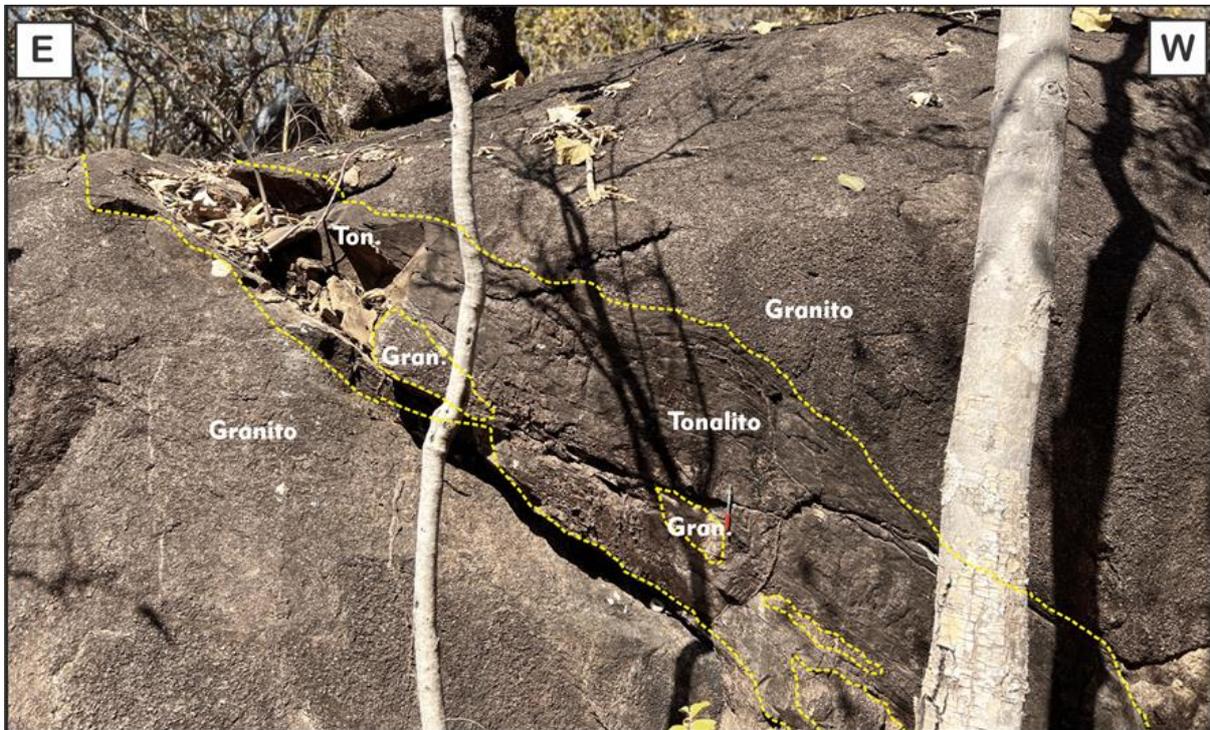


Figura 5.12. Diques sin-plutônicos ao tonalito, hospedados pela fácies granito porfirítico grosso, observados no ponto TF23-II-27 (Coordenadas X: 432888; Y: 8199463).

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 os

anfíbolitos da unidade Córrego da Onça e o Granito Serra do Tatu (Figura 5.13). 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 as intrusões ácidas.

São rochas de composição riolítica, de coloração avermelhada 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.

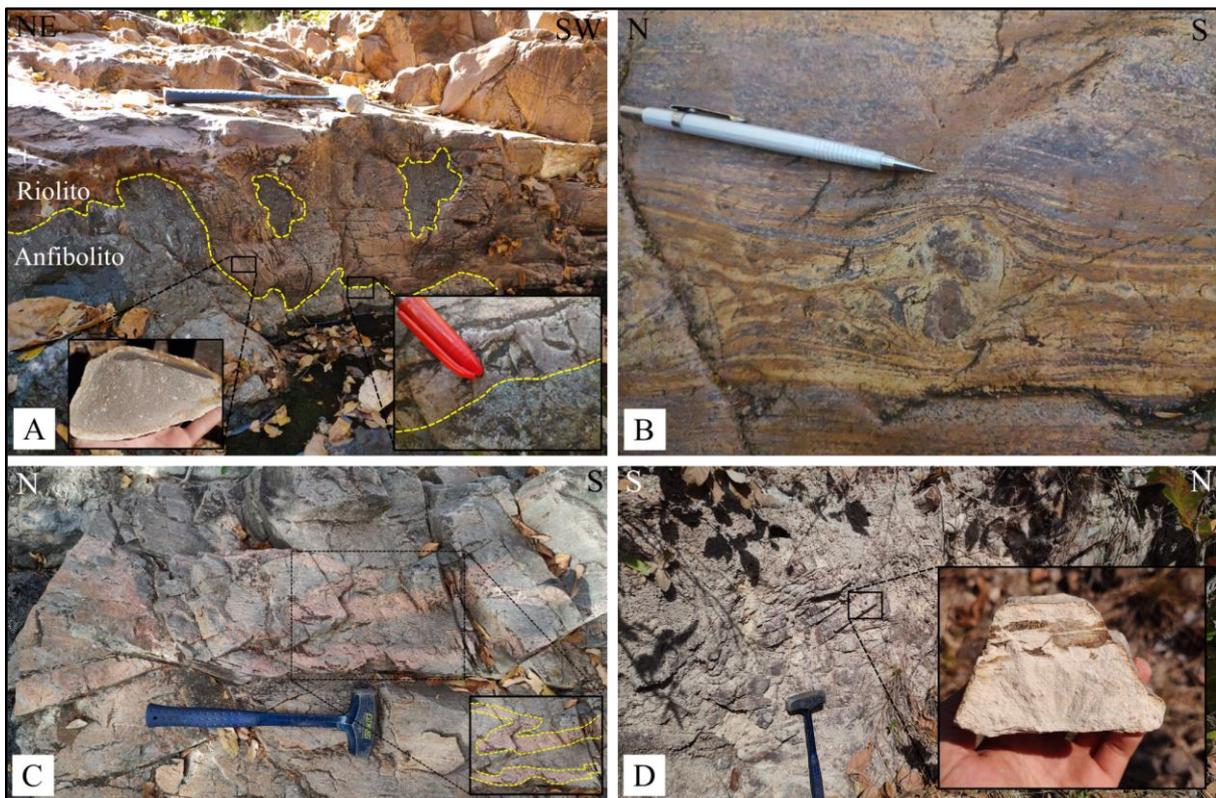


Figura 5.13. Derrames riolíticos característicos da unidade, com afloramento-tipo (A e B) localizado na área VII (Coordenadas: 22S 434487 E 8177659 N). (A) Derrame riolítico avermelhado, sob anfíbolito fino com enclaves do mesmo. Além disso, é possível observar no detalhe, amostra de riolito de coloração bege de textura glomeroporfírica de quartzo e feldspato. (B) Clasto rotacionado ao ser incorporado no fluxo riolítico, com esferulitos visíveis na porção superior da imagem. (C) (Coordenadas: 22S 435676 E 8177906 N), diques decimétricos de riolito cortando tonalito milonitizado do Granito Serra do Tatu. Em D (Coordenadas: 22S 437572 E 8176637 N), afloramento de riolito alterado para caulinita, com texturas primárias de fluxo fracamente preservadas.

5.3. Bacia do Paraná

A Bacia do Paraná abrange a totalidade da porção sul da Área X (Figura 5.14) 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 Área X, abrangendo parte das unidades mencionadas anteriormente. Essa formação exibe relevo de escarpa com orientação aproximada E-W e altitude variando entre 620 e 740 metros. Ela é composta principalmente por arenitos de tonalidade esbranquiçada, intercalados com arenitos conglomeráticos e siltito micáceo. Caracteriza-se por apresentar estruturas de estratificação cruzada tabular, acanalada 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.



Figura 5.14. (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 437339E 8166225N). (C) Arenito fino com estratificação cruzada (Ponto TF23-X-79 431804E 8164059N).

5.4. Província Alcalina de Goiás

As rochas da PAGO, identificadas na área do Projeto Arenópolis, correspondem a 1) conjunto de diques de basanita e basanita fonolítico sem 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 (Figura 5.15) 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.

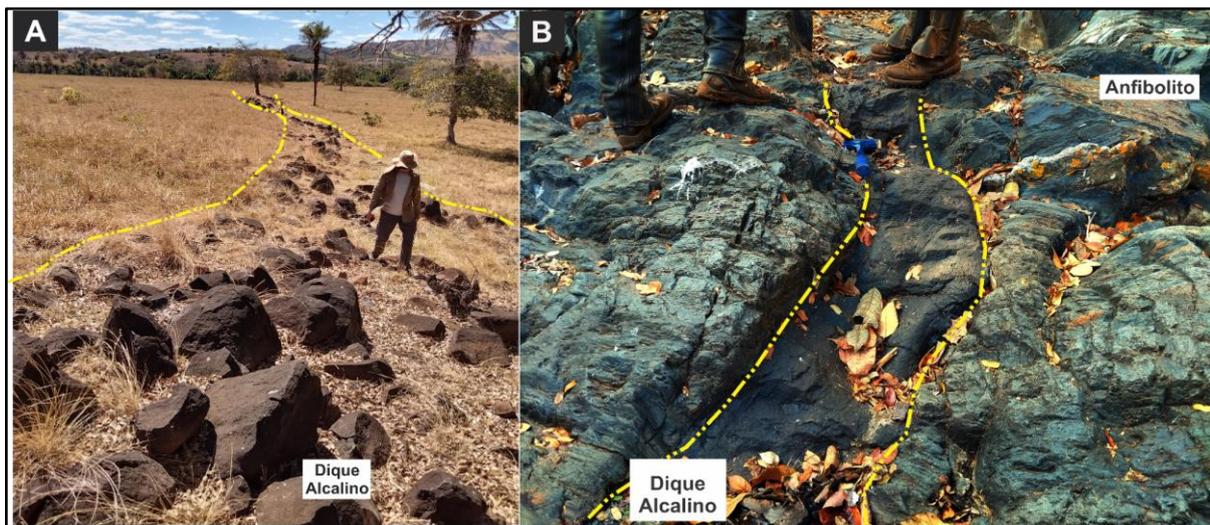


Figura 5.15. Em A, blocos submétricos a métricos alinhados de basanita em pasto, indicando a presença de dique alcalino na Área VII (Coordenadas X: 431410; Y:8177514). Em B, dique alcalino cortando anfibolitos máficos da Unidade Córrego da Onça (Coordenadas: 22S 434922 E 8177863 N).

Rochas Plutônicas: 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 nefelinolitos (Figura 5.16). 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 (Figura 5.16C) e brechas magmáticas (Figura 5.16D).

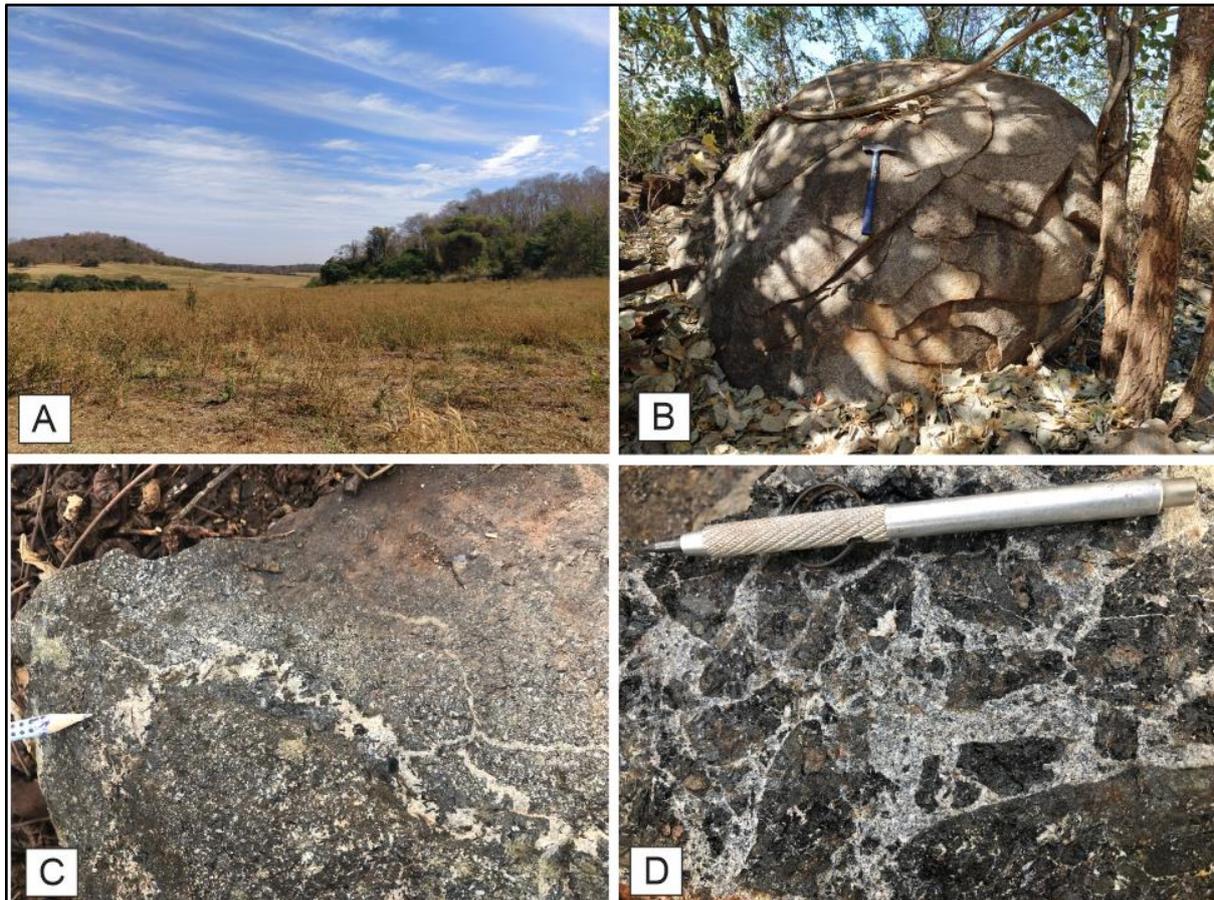
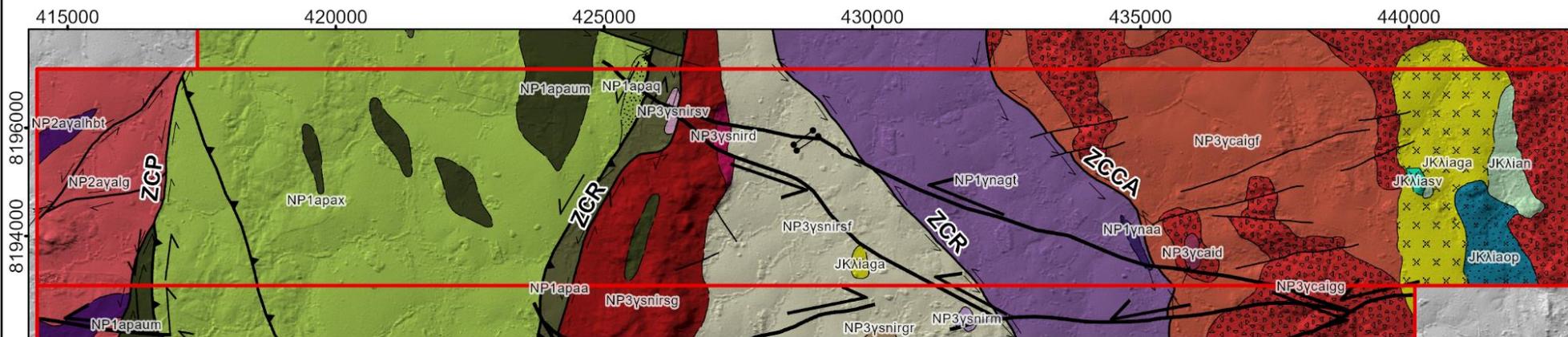


Figura 5.16. (A) Foto panorâmica destacando o relevo encontrado no Complexo Arenópolis. Os melhores afloramentos encontram-se nos morros, enquanto que a porção arrasada é dominada por pasto e plantações com perfis de solo avermelhado. (B) Afloramento com esfoliação esferoidal em nefelinolito (TF23-AIII-P8 Coordenadas X: 440273,5; Y: 8194759,3). (C) Veio carbonatítico alojado em Melteijito. (D) Feições de brechas com clastos de clinopiroxenitos em meio a matriz fina de composição félsica rica em feldspatóides.

6. Geologia Local e Petrografia da Área III

Com base em dados obtidos no campo e em análises petrográficas, bem como na consideração de aspectos geofísicos, fisiográficos e informações provenientes de sensoriamento remoto, este capítulo apresenta uma abordagem mais abrangente das principais características das unidades geológicas identificadas na Área III. Para uma compreensão detalhada das análises petrográficas, foram descritas 15 lâminas delgadas, preparadas a partir de amostras representativas da geologia local. As fichas descritivas completas dessas amostras podem ser consultadas no Anexo A, e o mapa geológico da Área III encontra-se na Figura 6.1.

Neste capítulo, são descritas as principais unidades e suas respectivas fácies que ocorrem no contexto da Área III. Isso inclui, da unidade mais antiga para a mais nova, a Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas, o Gnaisse Arenópolis, o Granito Ribeirão Água Limpa, o Granito Rio Caiapó, Granito Serra do Iran e a Suíte Alcalina de Goiás. Ressalta-se que todas as unidades apresentam idade e evolução do neoproterozoico, com exceção da Suíte Alcalina de Goiás, que apresenta idades associadas ao Cretáceo.



Mesozoico - Cretáceo

Complexo Alcalino Arenópolis JKlia

- JKliav Subvulcânicas
- JKliaga Plutônicas Máficas e Ultramáficas: Gabros Alcalinos, Ijolitos e Melteigitos (op) e Clinopiroxenitos
- JKlian Plutônicas Félsicas: Nefelinitos

Neoproterozoico - Ediacarano

Granito Serra do Iran NP3ysnir

- NP3ysnirsf Fácies Félsicas: Sienogranitos Finos (sf) e Sienogranitos Grossos (sg)
- NP3ysnird Fácies Máficas: Dioritos
- NP3ysnirsv Fácies Subvulcânicas: Dacitos e Riodacitos

Granito Rio Caiapó NP3ycai

- NP3ycaiagg Fácies Félsicas: Sienogranitos Inequigranulares Grossos (gg) e Sienogranitos Finos (gf)
- NP3ycaid Fácies Intermediárias: Dioritos e Granodioritos

Neoproterozoico - Criogeniano

Granito Ribeirão Água Limpa NP2aya

- NP2ayalg Biotita Granodioritos
- NP2ayalhbt Fácies Intermediária: Hornblenda-Biotita Tonalito

Neoproterozoico - Toniano

Gnaise Arenópolis NP1yna

- NP1ynagt Gnaisses Tonalíticos (gt) com Anfibolitos associados (a)

Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas

Unidade Córrego do Santo Antônio

- NP1apaa Fácies Máficas e Ultramáficas: Anfibolitos (a) e Metaultramáficas
- NP1apax Fácies Metassedimentares: Muscovita Xistos (x) e Quartzitos (q)

Figura 6.1: Mapa Geológico Simplificado da Área III.

6.1. Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas

O conjunto de rochas que compõem essa sequência ocorre na porção centro-oeste da Área III e do Projeto Arenópolis. A sequência é composta por duas unidades denominadas de Córrego do Santo Antônio e Córrego da Onça (Pimentel, 1985). Na Área III foi reconhecida apenas a Unidade Córrego do Santo Antônio, ocupando cerca de 29,45 % da área (Figura 6.2), a qual está acomodada em contato tectônico com o Granito Serra do Iran e o Granito Ribeirão Água Limpa.

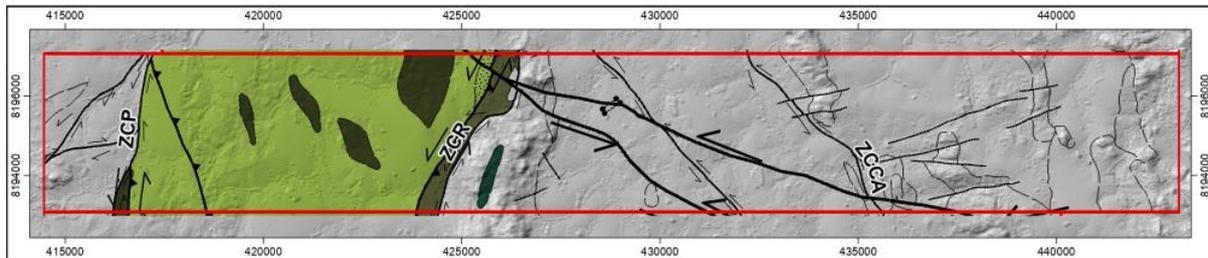


Figura 6.2: Localização da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas na Área III.

6.1.1. Unidade Córrego Santo Antônio

Sua ocorrência é caracterizada por faixas alongadas de direção NNW-SSE de corpos máficos e ultramáficos metamorfizados em meio a xistos e quartzitos. A ocorrência da unidade em afloramentos preservados é escassa, sendo limitada a pequenos morros e lajedos, e esporadicamente em córregos e drenagens (Figura 6.3).



Figura 6.3: A - Fotografia panorâmica ilustrando as unidades Granito Serra do Iran, destacado pela Serra da Margarida, e unidade Córrego Santo Antônio da Sequência MVS Arenópolis-Piranhas. A linha tracejada amarela representa o contato entre as duas unidades.

Corpos máficos e ultramáficos

Na Área III ocorrem dois principais corpos máficos e ultramáficos, com direção NW-SE e aproximadamente 3 km de comprimento e 1 km de largura. Em grande parte dos afloramentos, não foi possível coletar amostras representativas com suas principais texturas e estruturas preservadas devido ao alto nível de intemperismo (Figura 6.4). Na Área III, foram descritos anfibolitos e rochas metaultramáficas como representantes da sub-unidade.



Figura 6.4: A (TF23-AIII-P97 - Coordenadas X: 423631,24; Y: 8196346,87) e B (TF23-AIII-P96 - Coordenadas X: 423842,33 Y: 8196355,66) Afloramentos escassos e altamente intemperizados dificultaram uma melhor caracterização dos corpos máfico-ultramáficos da Unidade Córrego Santo Antônio. Os exemplos mostram as ocorrências mais comuns dessas rochas na Área III.

Os anfibolitos (Figura 6.6-A) são descritos como rochas de granulação fina à média com orientação bem definida pelos cristais prismáticos de hornblenda, com algumas contendo seções basais pseudo hexagonais. São compreendidos por hornblenda (~35 %), plagioclásio (~35 %), clinopiroxênio (~15 %), clorita (~5 %), e veios de quartzo (~10 %). O domínio nematoblástico é restrito aos prismas orientados dos anfibólios, enquanto que ao longo da lâmina há domínios granoblasticos compostos essencialmente por plagioclásio (Figura 6.6-B). O diagrama composicional ACF é mostrado na Figura 6.5.

Os cristais de plagioclásio apresentam teores de anortita em torno de An₃₂. Além disso, encontram-se parcialmente intemperizados, dificultando a análise em alguns casos. O clinopiroxênio apresenta-se quase que completamente alterado, com crescimento de hornblenda ao centro e clorita nas bordas (Figura 6.7-A). Suas bordas encontram-se arredondadas que indicam uma reabsorção e alteração para hornblenda e clorita. (Figura 6.7). A hornblenda, por sua vez, apresenta-se em pelo menos duas gerações. Uma está presente nas bordas de alteração dos piroxênios, sem um hábito muito bem definido. A outra geração é composta por cristais com hábitos e pleocroísmo bem definidos. O veio presente na lâmina é composto essencialmente por quartzo e plagioclásio e não aparenta estar deformado, resultando em um caráter tardio.

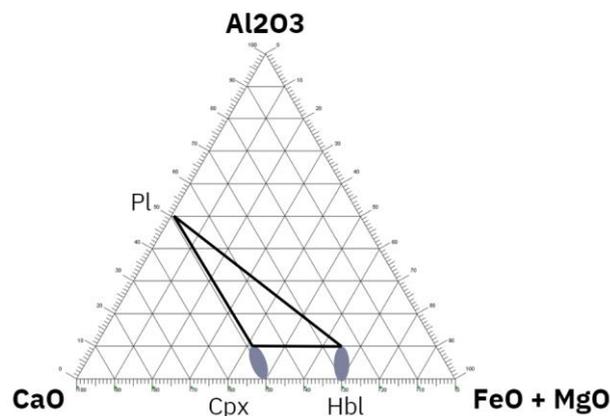


Figura 6.5: Diagrama composicional ACF para a lâmina TF23-AIII-P228 considerando a origem metamórfica para os clinopiroxênios, indicando uma fácies anfibolito superior.

No geral, interpreta-se o protólito como uma rocha ígnea plutônica de composição máfica que sofreu o pico do metamorfismo em fácies anfibolito. A presença do clinopiroxênio implica em um magma de composição básica, enquanto que a granulação fina à média pode indicar que o protólito seja um gabro. As gerações

da hornblenda podem indicar processos de alteração (uralitização) e metamorfismo. Além disso, há cristais de clinopiroxênio parcialmente substituídos por hornblenda que corroboram com a hipótese.

Com relação a origem do clinopiroxênio, existem duas hipóteses: i) origem ígnea, uma vez que para ser proveniente de reações metamórficas, significa uma fácies anfibolito superior, o que seria discordante com o grau metamórfico regional; ii) origem metamórfica com o diagrama de composição teórico acima (Figura 6.5). Por fim, a assembleia de quartzo e epidoto representam um fluxo hidrotermal de baixa temperatura posterior.

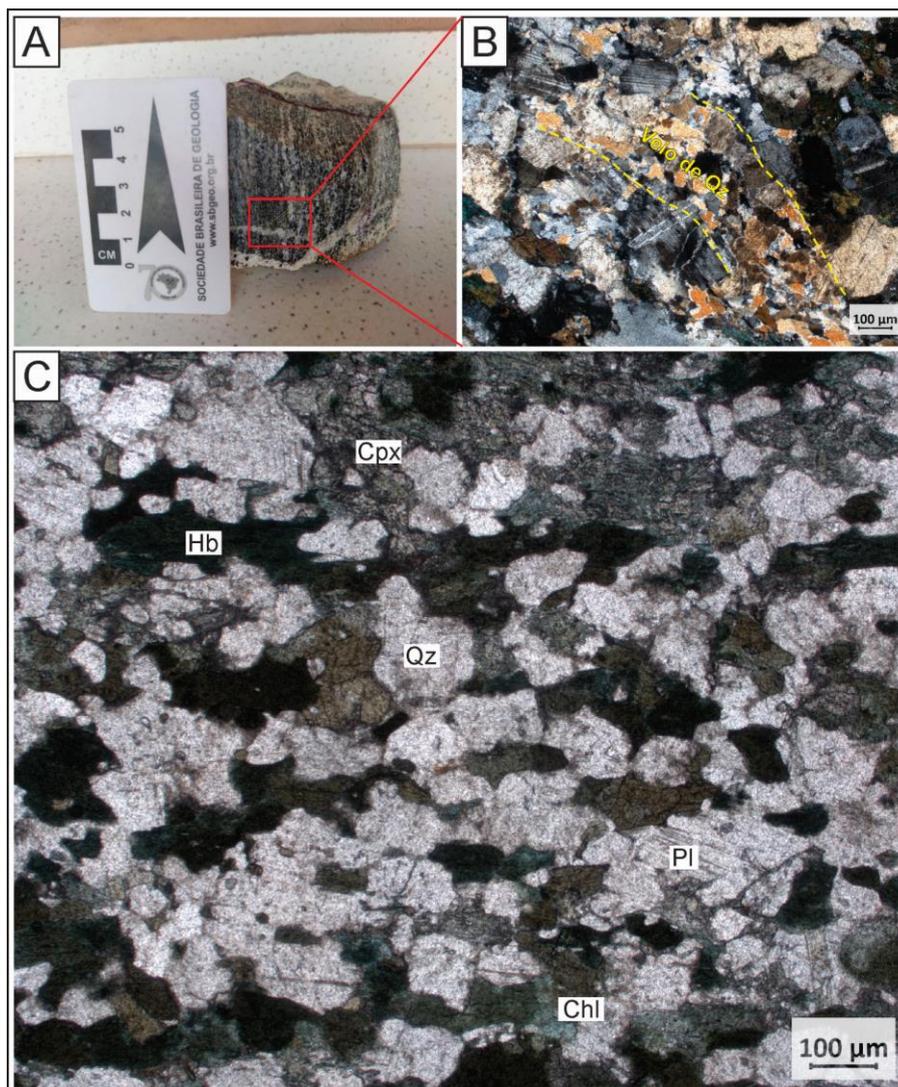


Figura 6.6: Amostras e petrografia de anfibolitos da unidade Córrego Santo Antônio na Área III. A - Amostra de mão na qual observa-se o bandamento composicional entre assembleias quartzo-feldspáticas e minerais máficos, além do veio discordante com a foliação. B (TF23-AIII-P228 - Coordenadas X: 414985,42; Y: 8195084,14) Destaque para o veio de quartzo em lâmina com polarizadores cruzados. C - Fotomicrografia a nicóis paralelos mostrando a presença de grãos de quartzo recristalizados, hornblenda em textura nematoblástica orientada e porfiroclastos de plagioclásio.

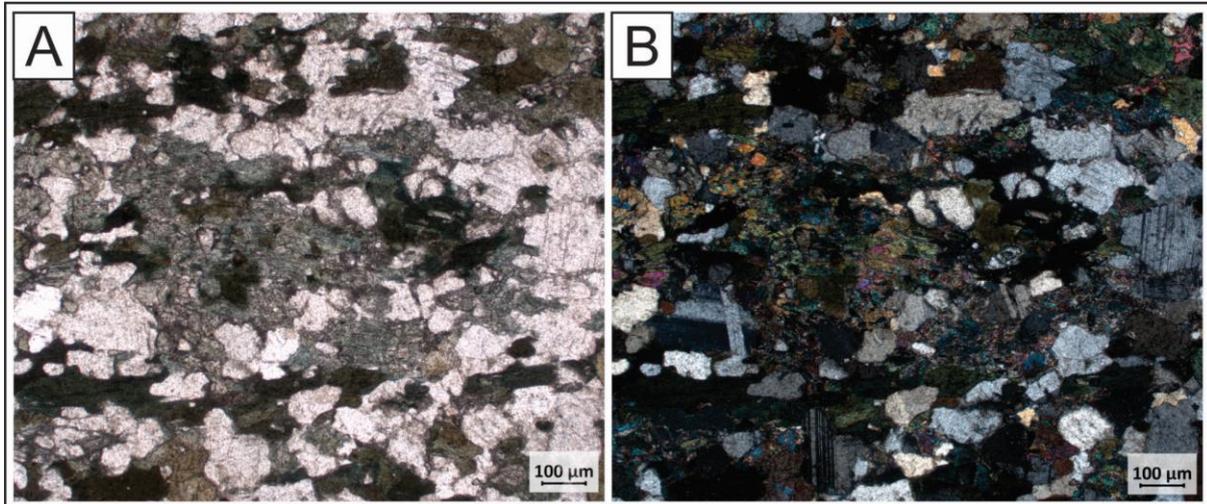


Figura 6.7: A e B (TF23-AIII-P228 - Coordenadas X: 414985,42; Y: 8195084,14) - Fotomicrografias com polarizadores paralelo e cruzado, respectivamente, destacando, no centro das imagens, um cristal de clinopiroxênio reliquiar, parcialmente reabsorvido e alterado. Dentre as gerações de hornblenda identificadas em lâmina, acredita-se que uma delas seja proveniente da hidratação do piroxênio.

As rochas metaultramáficas identificadas na Área III apresentam alto grau de intemperismo e, por esse motivo, não foi possível realizar uma caracterização petrográfica em detalhe. Entretanto, em outras áreas, foram descritas rochas compostas por anfibólios de granulação fina a média em meio a uma matriz fina esverdeada composta por serpentina, clorita e tremolita.

Rochas Metassedimentares

Esse grupo de rochas compreende uma variação de rochas classificadas como mica xistos e que apresentam uma grande variedade dentre seus minerais constituintes (Figura 6.8-A). Dentre as rochas descritas na Área III, estão quartzitos, muscovita-xistos, quartzo-muscovita xistos, granada-cianita xistos e quartzo-granada-muscovita xistos. Em alguns casos, observou-se clorita como alteração posterior. A granulação geral dessas rochas é fina, com algumas exceções para os porfiroblastos de granada e cianita e alguns cristais de muscovita com granulação média. Os porfiroblastos de granada apresentam-se rotacionados, com a xistosidade subordinada deformada por seu crescimento.

Assim como ocorre com os corpos máficos e ultramáficos, as rochas metassedimentares encontram-se muito intemperizadas (Figura 6.8-B). Na Área III, grande parte dos afloramentos mostram rochas avermelhadas com grande parte de assembleia mineralógica transformada para óxidos e hidróxidos de ferro, preservando apenas a xistosidade e os cristais de quartzo (Figura 6.8-A e B).

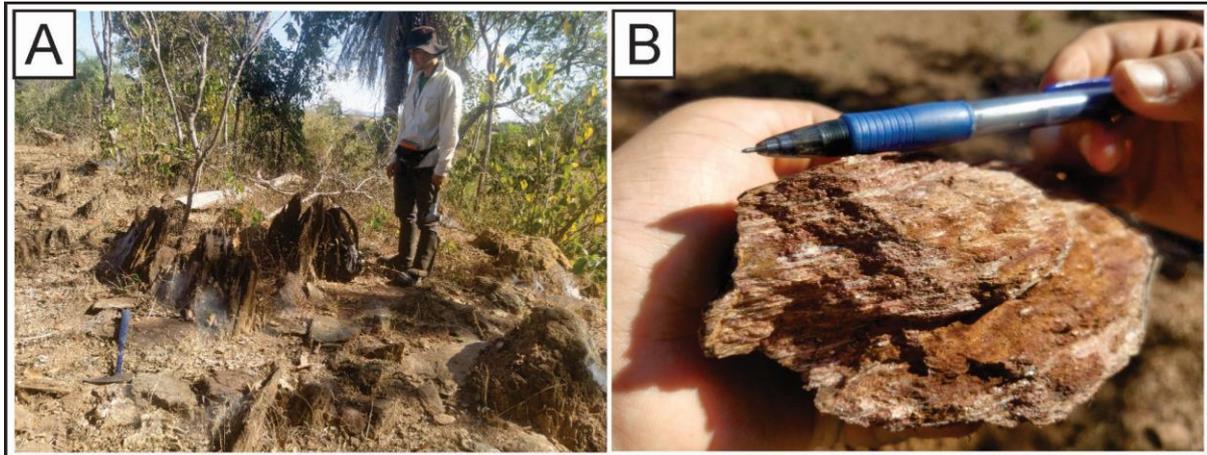


Figura 6.8: A (TF23-AIII-P98 - Coordenadas X: 423566,52; Y: 8196345,83) - Afloramento comum de se identificar os mica-xistos da Unidade Córrego Santo Antônio da Sequência MVS Arenópolis-Piranhas. B - Amostra de mão com coloração avermelhada devido ao alto teor em óxidos e hidróxidos de ferro e lamelas esbranquiçadas que podem representar uma alteração de aluminossilicatos como cianita e/ou sillimanita.

6.2. Gnaiss Arenópolis

Na Área III, o Gnaiss Arenópolis é limitado a oeste pelo Granito Serra do Iran e pela Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas, e a leste pelo Granito Rio Caiapó (Figura 6.10-A), compreendendo cerca de 16,8% da área (Figura 6.9). Nessa região, a unidade ocorre como blocos (Figura 6.10-B) e lajedos métricos (Figura 6.10-C). As principais fácies mapeadas na região incluem ortognaisses tonalíticos, com fácies anfíbolíticas subordinadas.

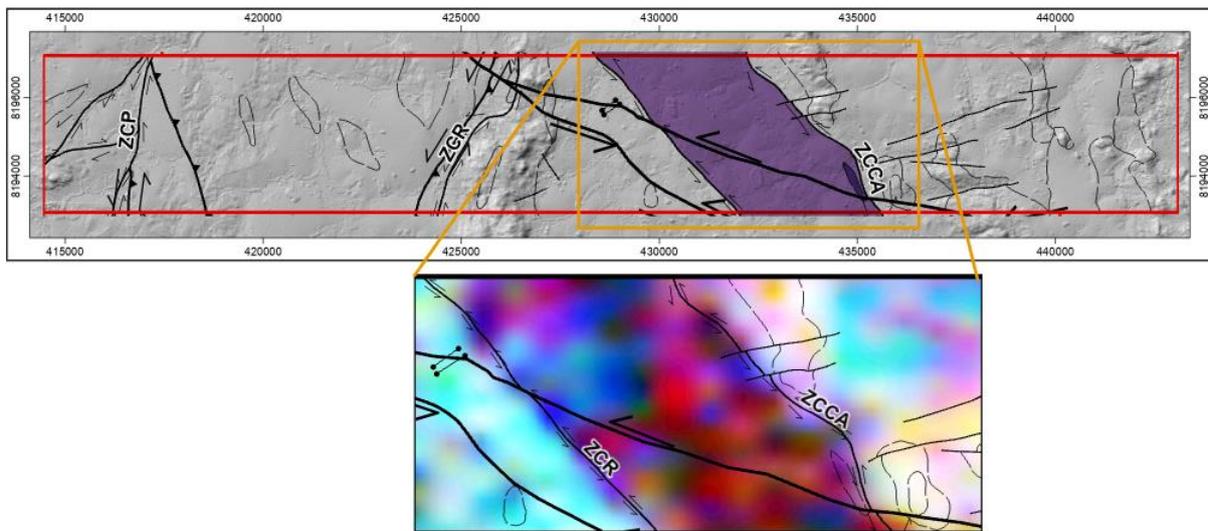


Figura 6.9: Localização do Gnaiss Arenópolis na Área III, bem como a sua resposta gamaespectrométrica contrastante com as unidades adjacentes.

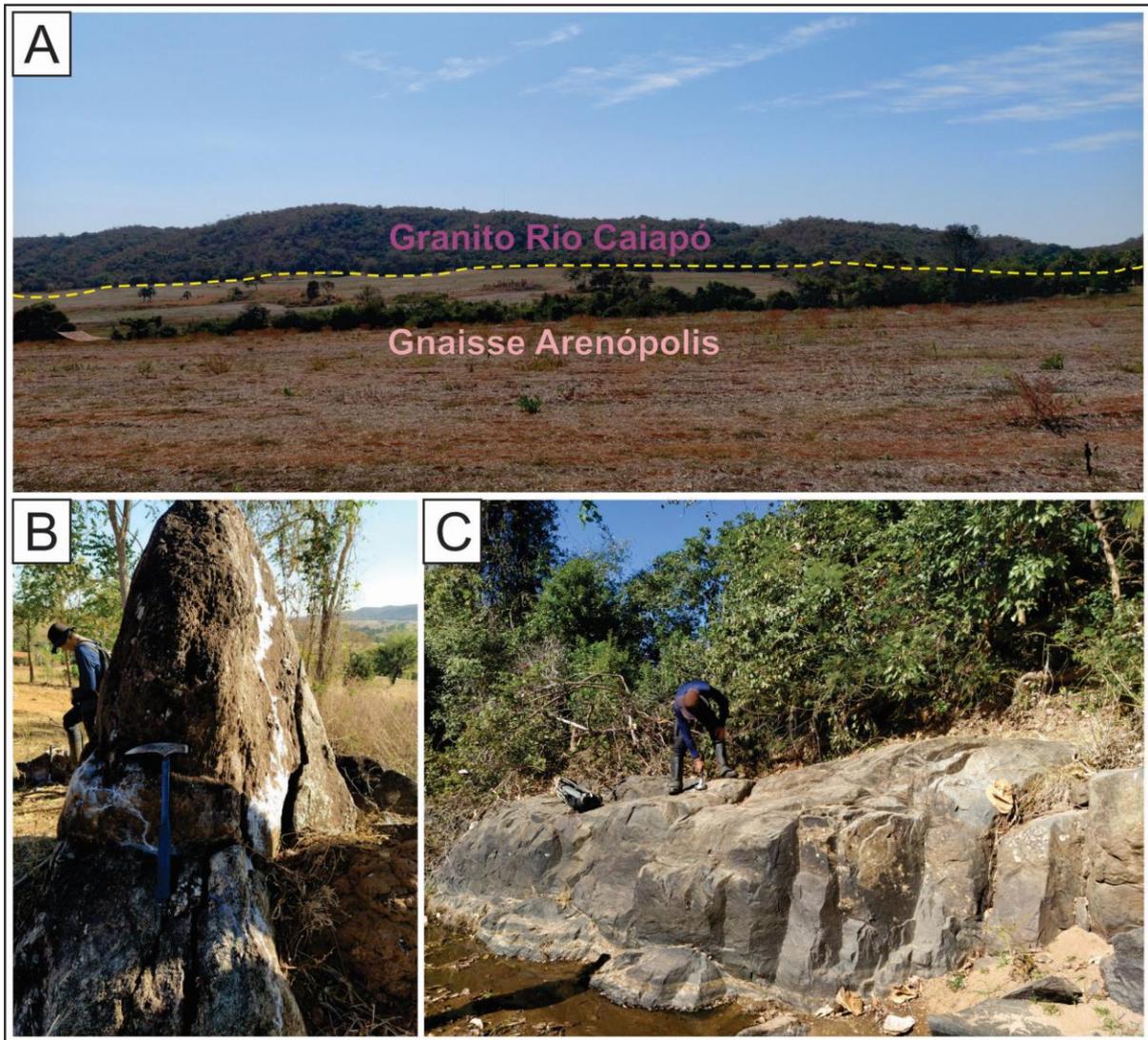


Figura 6.10: A - Fotografia panorâmica de oeste para leste destacando a Serra do Retiro Velho, sobre a qual aflora o Granito Rio Caiapó. A região mapeada como Gnaiss Arenópolis representa uma área com relevo aplainado. B (TF23-AIII-P104 - Coordenadas X: 433262,36; Y: 8193759,02) e C (TF23-AIII-P106 - Coordenadas X: 434953,57; Y: 8193673,35) - Tipos de afloramentos da unidade que ocorrem na Área III.

Nessa região, a principal foliação se mantém como o bandamento gnáissico com direção predominantemente NW-SE e mergulhos subverticais. A lineação de estiramento mineral é subparalela ao bandamento gnáissico e apresenta um baixo caimento, entre 5° e 10°, para o sentido NW. A foliação milonítica, composta predominantemente por porfiroclastos de plagioclásio envoltos por lamelas de biotita, ocorre de forma localizada, especialmente próxima ao contato do Gnaiss Arenópolis com o Granito Rio Caiapó.

Ortognaisses Tonalíticos

A fácies predominante mapeada da unidade inclui ortognaisses tonalíticos de granulação fina a média (Figura 6.11), compostos por domínios lepidoblásticos de hornblenda e biotita, ocasionalmente com muscovita subordinada, e porfiroclastos de plagioclásio, por vezes rotacionados e parcialmente recristalizados. Além disso, também há faixas de composição quartzo-feldspática (Figura 6.11-C) com granulação média a grossa e coloração esbranquiçada que cortam a principal estrutura planar da unidade.

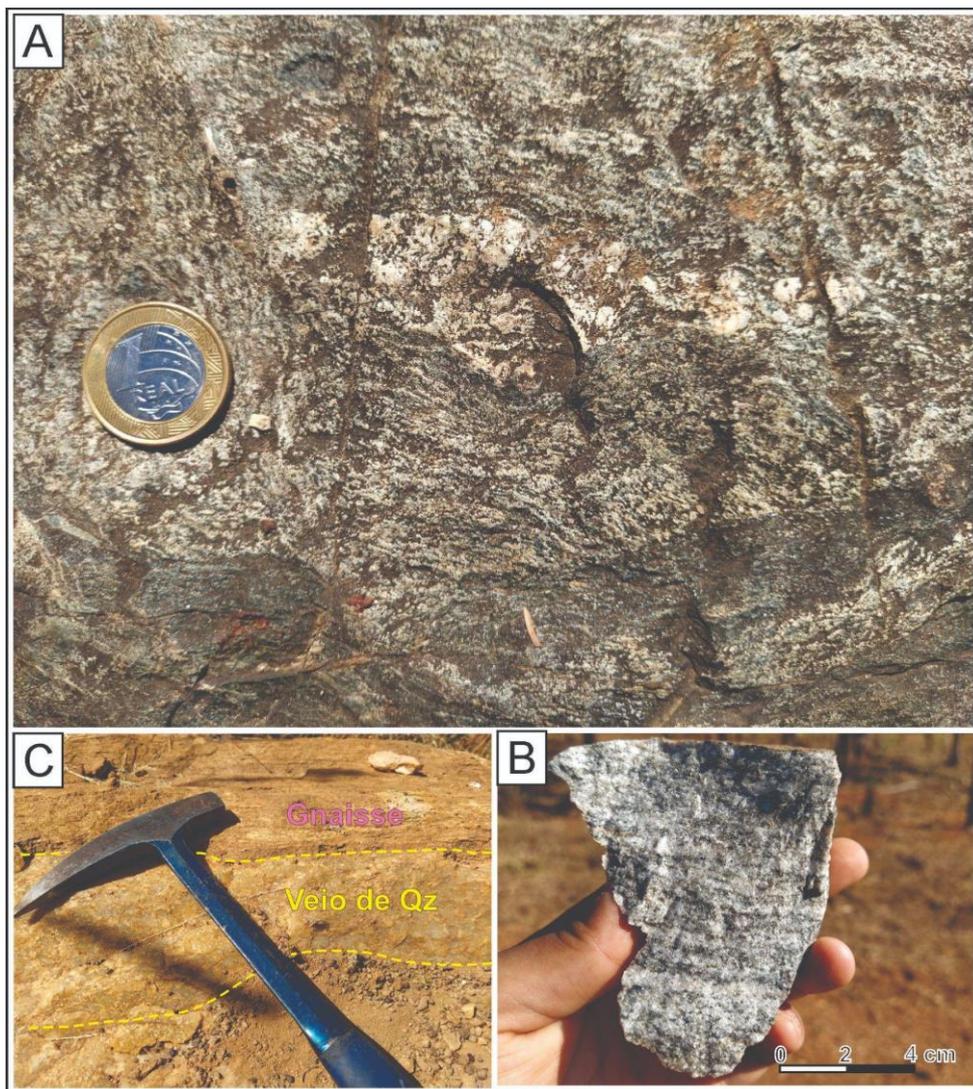


Figura 6.11: A (TF23-AIII-P106 - Coordenadas X: 434953,57; Y: 8193673,34) - Bandamento bem definido por composições máficas e félsicas com veios de quartzo concordantes com a foliação; C (TF23-AIII-P46 - Coordenadas X: 429869,06; Y:8195789,38) - Veios preenchidos por quartzo concordantes com a foliação são comuns na unidade. B (TF23-AIII-P105 - Coordenadas X: 433382,34; Y: 8193879,79) - Amostra de mão com granulação média e bandamento bem definido, com predominância de bandas quartzo-feldspáticas sobre as bandas máficas.

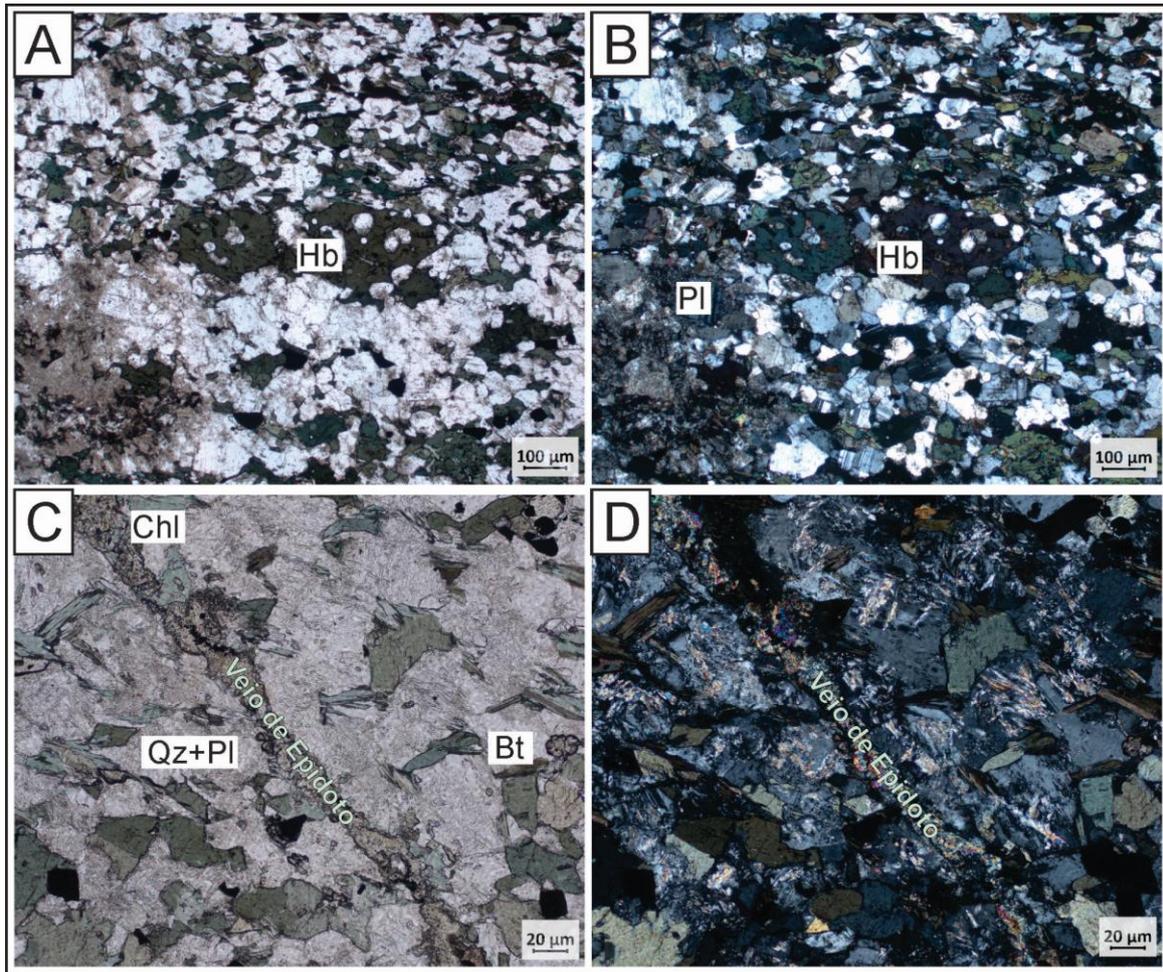


Figura 6.12: A e B (TF23-AIII-P107 - Coordenadas X: 435025,93; Y: 8193694,78) - Fotomicrografias a nicóis paralelos e cruzados, respectivamente, na quais é possível observar as bandas quartzo-feldspáticas e bandas máficas dominadas por hornblenda, embora também ocorra a presença de plagioclásio em menor quantidade. C e D - Fotomicrografias a nicóis paralelos e cruzados, respectivamente, da mesma lâmina, porém outra seção, em que destaca-se o veio preenchido majoritariamente por epidoto.

As rochas são caracterizadas por gnaisses ortoderivados, com protólito de composição tonalítica, marcadas pela segregação de sílica que gera o bandamento composicional observado. Essas rochas apresentam intensa deformação, definido em função da recristalização de cristais de quartzo a partir do mecanismo de rotação de subgrãos, indicando temperaturas acima de 450°C. De acordo com a grade petrogenética NCKFMASH (Bucher & Grapes, 2011), a paragênese com plagioclásio, hornblenda e biotita ocorre em equilíbrio em uma faixa de temperatura entre 450°C e 550°C, o que condiz com fácies anfíbolito inferior. A formação da muscovita é interpretada como produto do retrometamorfismo da biotita, que alcança condições da fácies xisto verde. Entretanto, isso significa a geração de outras fases minerais

com o Fe e/ou Mg que saíram da estrutura da biotita, as quais não foram observadas em lâmina.

Microscopicamente, a rocha apresenta plagioclásio (~25%), quartzo (~25%), hornblenda (~20%), biotita (~10%), clorita (~10%), epidoto (~6%), opacos (~4%), identificados como pirita e hematita, e titanita em fase acessória. Apresenta granulação fina à média com orientação bem definida pelos cristais lamelares de biotita e cristais prismáticos de hornblenda (Figura 6.12-A e B). O domínio lepidoblástico é restrito aos cristais lamelares de biotita, os quais apresentam-se parcialmente ou totalmente substituídos por clorita (cloritização) (Figura 6.12-C e D). Esse domínio aparenta estar em equilíbrio com o domínio nematoblástico, definido por cristais prismáticos de hornblenda.

Os cristais de plagioclásio formam contatos predominantemente retos entre si e possuem teores de anortita em torno de An₃₀. Além disso, encontram-se parcialmente intemperizados, dificultando a análise em alguns casos. Esse domínio é classificado como porfiroclástico, uma vez que alguns cristais estão aparentemente rotacionados, porém, em algumas seções, em que há porfiroclastos de granulação média, há outros cristais menores nas bordas que podem indicar uma recristalização parcial dos plagioclásios.

Em lâmina, há porções com alternância na quantidade de cada mineral constituinte e respectiva textura, ora predominando o domínio porfiroclástico, ora o nematoblástico e lepidoblástico, dando um aspecto bandado à rocha. Além disso, há veios preenchidos por epidoto. No geral, interpreta-se o protólito como uma rocha ígnea plutônica de composição quartzo-diorítica, a qual sofreu metamorfismo em fácies anfibolito e posterior retrometamorfismo para fácies xisto-verde.

Anfibolitos

A fácies dominada por anfibolitos da unidade Gnaisse Arenópolis ocorre de forma subordinada aos ortognaisses tonalíticos. Na Área III, ocorre como uma lente de orientação NW-SE circundada pela fácies ortognaissica tonalítica em blocos e lajedos próxima ao Córrego da Areia. As rochas que a compõem são descritas como anfibolitos de coloração verde escura, com granulação fina e composta predominantemente por cristais de hornblenda e plagioclásio (Figura 6.13-A e B). Por vezes, foi observada uma assembleia composta por epidoto, hornblenda, plagioclásio e quartzo, definida como uma paragênese hidrotermal (Figura 6.13-C). Nessa fácies,

também notou-se crenulação com a presença de sulfetos nos planos da foliação, além de veios de composição quartzo-feldspática.

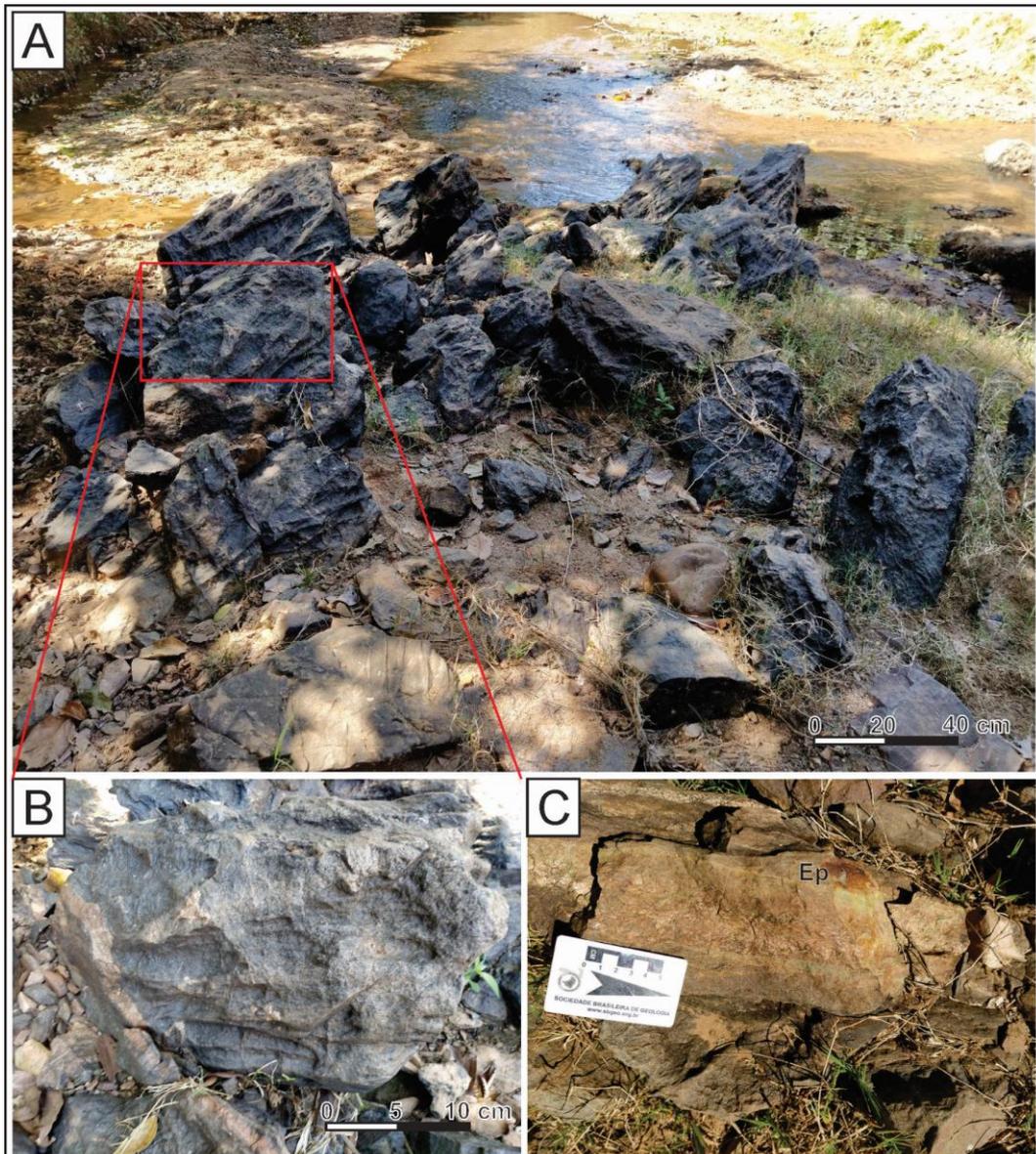


Figura 6.13: A (TF23-AIII-P108 - Coordenadas X: 435082,88; Y: 8193831,32) - Afloramento na beira do Córrego da Areia, no qual há anfibolitos com evidências de hidrotermalismo na unidade do Gnaiss Arenópolis. B - Destaque para a estrutura do veio discordante com a foliação principal. C - Assembleia hidrotermal esverdeada, composta por epidoto, feldspato potássico e ocasionalmente sulfetos.

6.3. Granito Ribeirão Água Limpa

A unidade denominada Granito Ribeirão Água Limpa representa a região no extremo oeste da Área III (Figura 6.14), compreendendo cerca de 9,2% da área de mapeamento e ocorrendo como blocos métricos (Figura 6.15-A e B) em lajedos (Figura 6.15-C e D) e blocos soltos. Constitui uma unidade em contato com a Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas, Unidade Córrego Santo

Antônio. O contato entre as unidades é tectônico, classificado através de critérios estruturais como uma zona de cisalhamento com cinemática sinistral e orientação aproximadamente N-S.

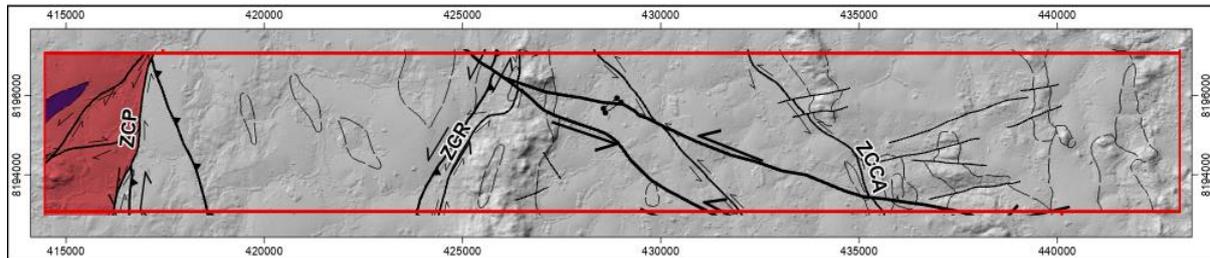


Figura 6.14: Localização do Granito Ribeirão Água Limpa na Área III.

Na Área III, foram traçadas duas zonas de cisalhamento sinistrais em decorrência da foliação milonítica observada e indicadores cinemáticos em porfiroclastos de feldspatos em afloramentos. Os corredores de cisalhamento explicam a variação na deformação observada ao longo da campanha de mapeamento.

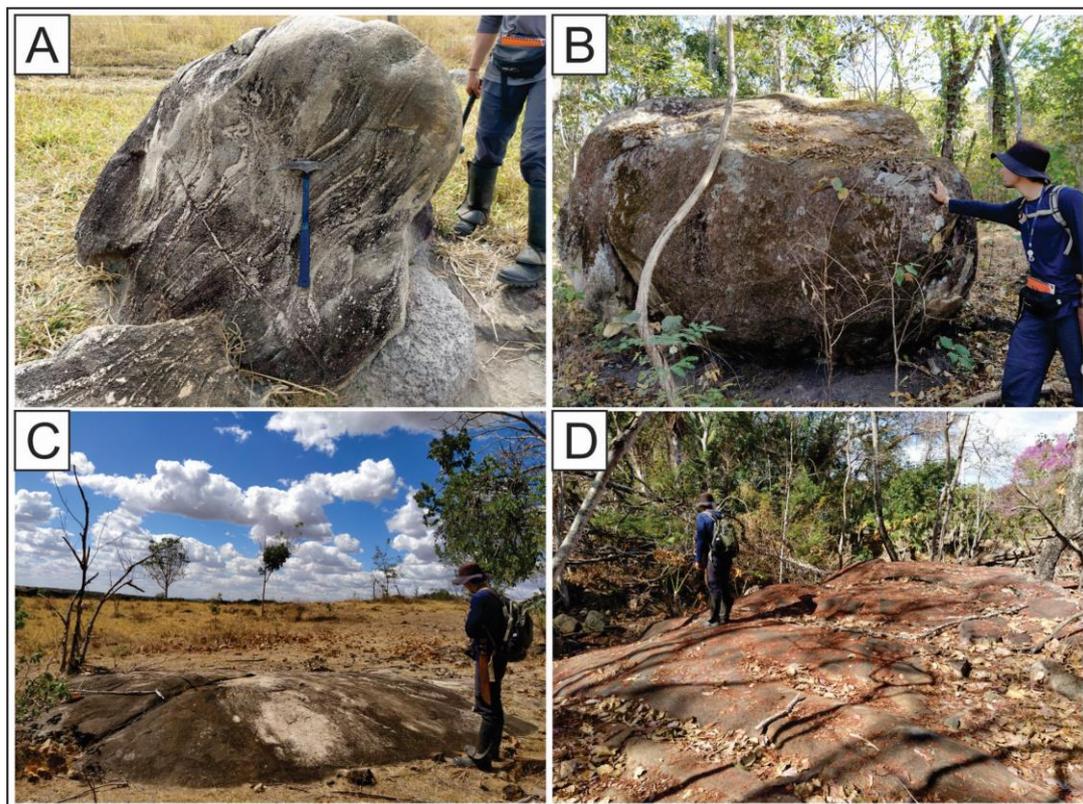


Figura 6.15: Afloramentos mais comuns na região do Granito Ribeirão Água Limpa. A (TF23-AIII-P70 - Coordenadas X: 415314,92; Y: 8195726,50) - Alguns pontos, o granito apresenta sinais de migmatização com estruturas, texturas e composições típicas. B (TF23-AIII-P211 - Coordenadas X: 414791,02; Y: 8193785,13) - Grandes blocos que variam de escala métrica a decamétrica. C (TF23-AIII-P227 - Coordenadas X: 415189,55; Y: 8194912,54) e D (TF23-AIII-P231 - Coordenadas X: 414937,03; Y: 8195512,75) - Afloramentos em lajedo.

Biotita Granodiorito

Na Área III, a fácies mais representativa para a unidade é descrita como um biotita granito a granodiorito equigranular, leucocrático, de coloração avermelhada a esbranquiçada, granulação média e muita variação no quesito deformacional (Figura 6.16-A e B), sendo descritas em alguns pontos evidências de migmatização e em outros como um granito isotrópico. A mineralogia é composta predominantemente por plagioclásio (~35%), quartzo (~30%), biotita (~20%) e K-feldspato (~15%).

Dentre as evidências de migmatização, foram observadas leucossomas com formas irregulares (Figura 6.16), assembleias com granulação mais grossa e composição rica em álcalis. A variação deformacional observada ao longo da unidade é reflexo das zonas de cisalhamento mapeadas, principalmente na Área III. Além disso, foram descritas paragêneses hidrotermais compostos por grande quantidade de epidoto e feldspato potássico.

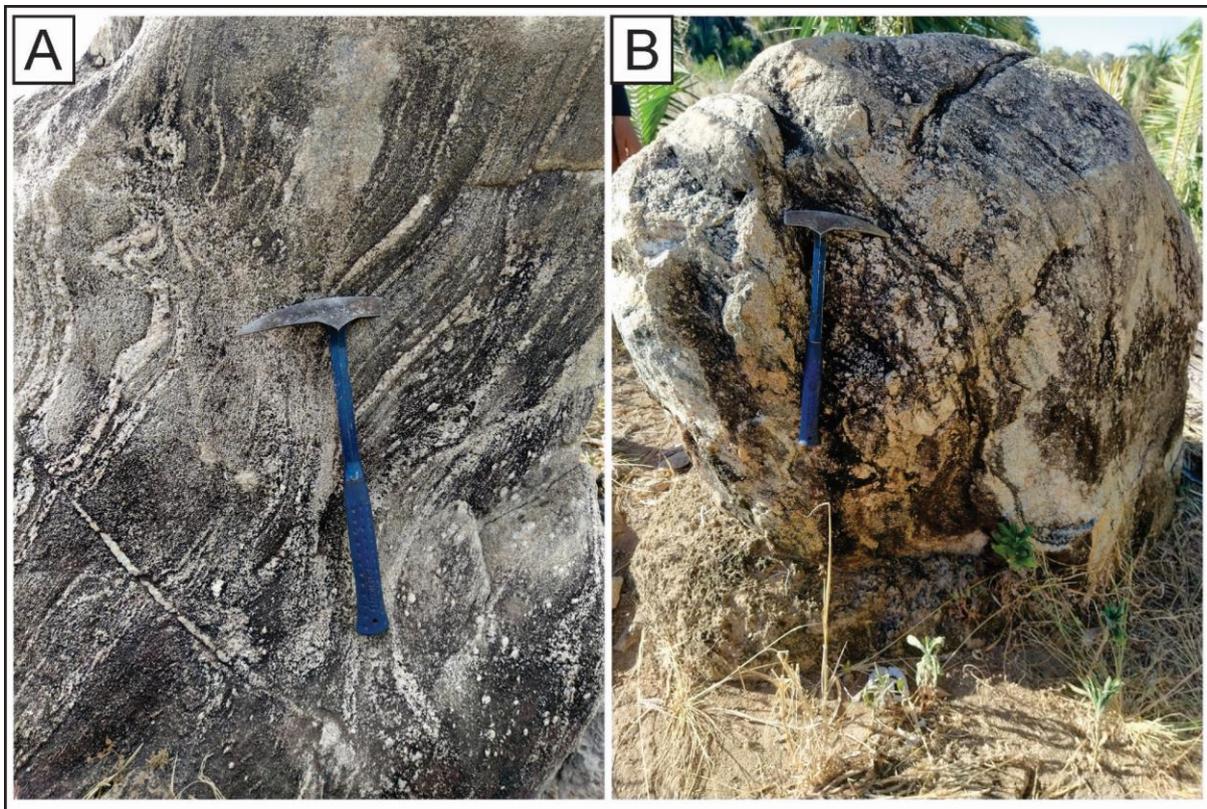


Figura 6.16: A (TF23-AIII-P70 - Coordenadas X: 415314,92; Y: 8195726,50) e B (TF23-AIII-P208 - Coordenadas X: 415432,93; Y: 8193703,34) - Estruturas dos leucossomas com arranjos irregulares, granulação mais grossa e composição mais félsica e potássica.

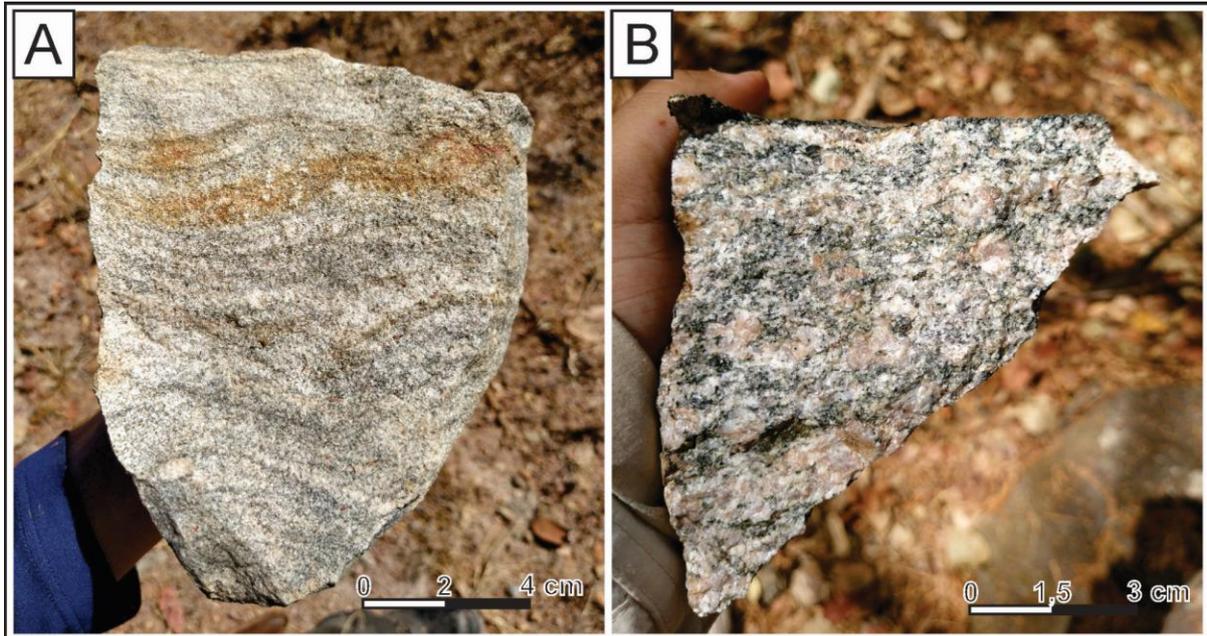


Figura 6.17: A (TF23-AIII-P218 - Coordenadas X: 414030,30; Y: 8194257,72) - Amostra com forte foliação, muito comum nos pontos visitados na região da Área III. Acredita-se que esteja relacionada às zonas de cisalhamento observadas nas proximidades. B (TF23-AIII-P226 - Coordenadas X: 415106,10; Y: 8194870,53) - Amostra com foliação menos penetrativa.

Ocasionalmente, as rochas apresentam bandamento composicional bem marcado por composições ricas em biotita, quartzo e plagioclásio com granulação fina, enquanto que as outras bandas apresentam uma composição mais félsica, com porfiroclastos de K-feldspato rotacionados e de granulação grossa, conferindo um aspecto de textura porfirítica, uma vez que os outros constituintes da assembleia mineralógica (quartzo, plagioclásio e biotita) estão em granulação fina a média.

Em alguns afloramentos, foram descritas bandas com cerca de 10 cm de espessura compostas por anfibolitos de granulação fina (Figura 6.18). Essas bandas máficas por vezes aparentam estar rompidas pela deformação, conferindo um aspecto de xenólito ou enclave.

Hornblenda-Biotita Tonalito

Em diversos afloramentos na Área III, foram observadas rochas de composição tonalítica. Dessa forma, foi discretizada uma fácies para a unidade. Essas rochas apresentam textura granular, granulação média, aparentemente equigranular e caráter isotrópico, composta essencialmente por quartzo (~30%), hornblenda (~25%), plagioclásio (~25%), biotita (~15%), feldspato potássico (~5%).

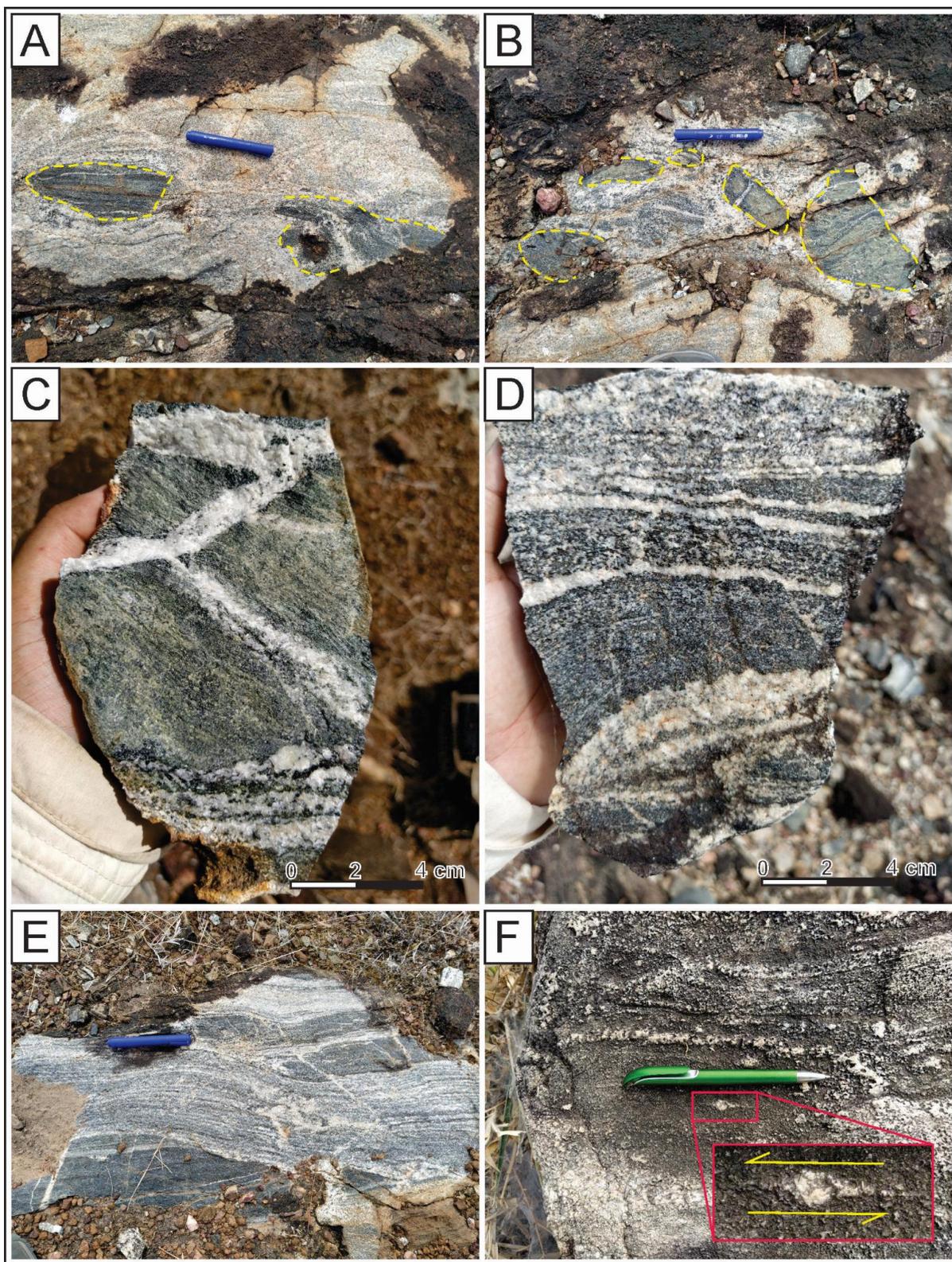


Figura 6.18: A e B (TF23-AIII-P228 - Coordenadas X: 414985,42; Y: 8195084,14) - Fragmentos de anfibolitos, classificados como xenólitos, em meio ao Granito Ribeirão Água Limpa. C e D - Destaque para os xenólitos intensamente cortados por veios quartzo-feldspáticos esbranquiçados. E - Estrutura bandada e fraturamento intenso. F - Sigmóide de plagioclásio com caudas de recristalização mostrando uma cinemática sinistral.

6.4. Granito Rio Caiapó

O Granito Rio Caiapó está localizado na porção leste da Área III, e nordeste do Projeto Arenópolis. Compreende aproximadamente 27% da Área III (Figura 6.19), e está limitada à oeste pelo Gnaisse Arenópolis e a leste pelo Corpo Arenópolis da Província Alcalina de Goiás. No contexto da Área III, foram mapeadas as fácies félsicas e intermediárias, compostas por sienogranitos, granodioritos e dioritos. Além disso, também foram observadas ocorrências de rochas com alterações hidrotermais que não foram individualizadas no mapa por serem relevantes dentro da escala de trabalho.

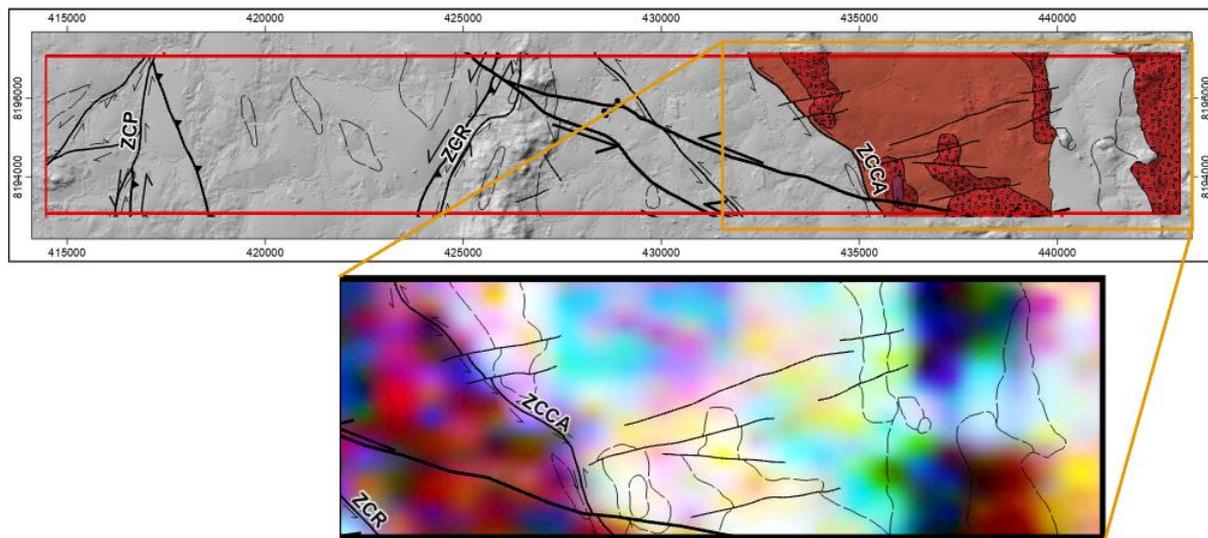


Figura 6.19: Localização do Granito Rio Caiapó na Área III, associado a sua resposta gamespectrométrica.

Assim como o Granito Serra do Iran, a unidade também pode ser separada em dois principais domínios geomorfológicos controlados, principalmente, pela granulação das rochas. Ocorre, também, uma fácies intrusiva ácida classificada como granodiorito individualizada no mapa geológico. A unidade também é marcada pela presença de diques alcalinos representantes do Complexo Alcalino Arenópolis da PAGO. Ocorre, principalmente, como grandes blocos isolados e lajedos em meio ao pasto e matações em um relevo aplainado, porém, na Área III também ocorre associado à Serra do Retiro Velho.

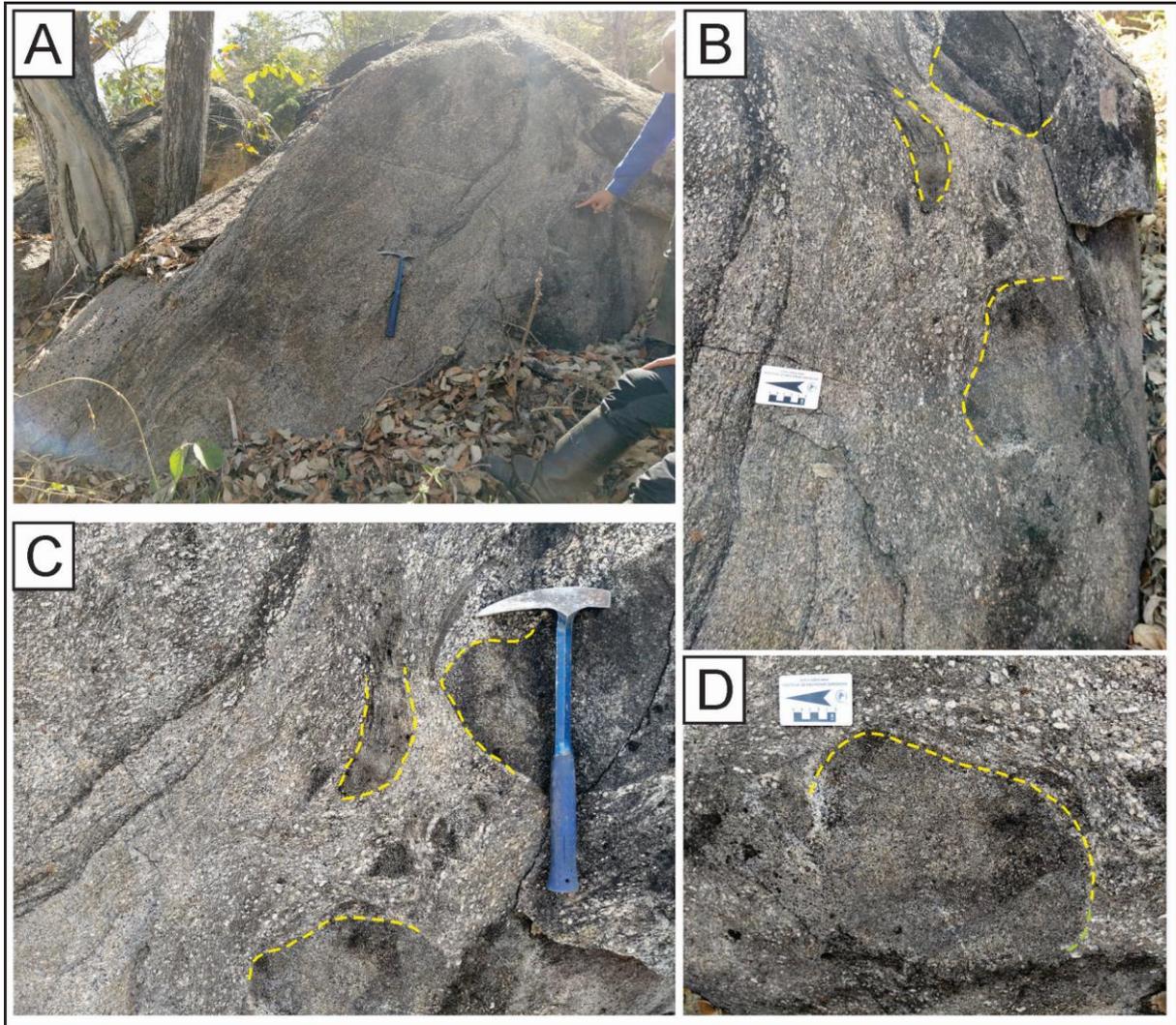


Figura 6.20: (TF23-AIII-P122 - Coordenadas X: 436957,5; Y: 8193951,07) A - Afloramento com a presença de enclaves, foliação de fluxo magmático, e estruturas do tipo *schlieren*. B e C - Ênfase nos enclaves máficos e nas estruturas do tipo *schlieren*. D - Enclave máfico com foliação de fluxo magmático envolvendo-o.

Além disso, estruturas do tipo *schlieren* foram observadas, que indicam processos associados à evolução do *stock* granítico. Dentre eles, a feição (Figura 6.20) indica um fluxo magmático, interpretado como decorrente da convecção da câmara. Ocorrem, também, enclaves de composições diferentes, provavelmente granodioríticas, mais ricas em minerais máficos, que indicam diferentes pulsos magmáticos.

6.4.1. Fácies Félsica

Sienogranito Inequigranular Grosso

As rochas pertencentes a fácies inequigranular estão restritas às porções mais elevadas na Área III. Essas rochas apresentam megacristais que alcançam cerca de 3 centímetros. Acredita-se que a granulação seja um fator que controla o relevo, uma vez que as porções mais rebaixadas apresentam a fácies de granulação fina do mesmo granito.

Apresenta coloração rosada, sendo leucocrática, de granulação fina à grossa (0,05 - 4 cm). Apresenta textura porfiritica com fenocristais de microclínio e ortoclásio (1 - 4 cm), e matriz inequigranular seriada composta por plagioclásio e quartzo. São constituídos essencialmente por K-feldspato (~40%), quartzo (~30%), plagioclásio (~10%), , hornblenda (~10%) e biotita (~10%), além de minerais acessórios que incluem titanita (Figura 6.21-C e D), magnetita e zircão. Classificada como um biotita-sienogranito.

Localmente, apresenta agregados irregulares de cristais hipidiomórficos a automórficos de biotita e hornblenda formando uma textura granular (Figura 6.21-A). Além disso, apresenta textura especial classificada como pertita, marcada por lamelas de exsolução de cordões de plagioclásio em cristais de microclínio (Figura 6.21-B).

Em algumas seções, cristais de hornblenda mostram estar sendo alterados para biotita (biotitização). Já os feldspatos se mostram alterados para caulinita, nos cristais de microclínio, e sericita, nos cristais de plagioclásio. Por fim, alguns cristais de biotita primários apresentam alteração para clorita.

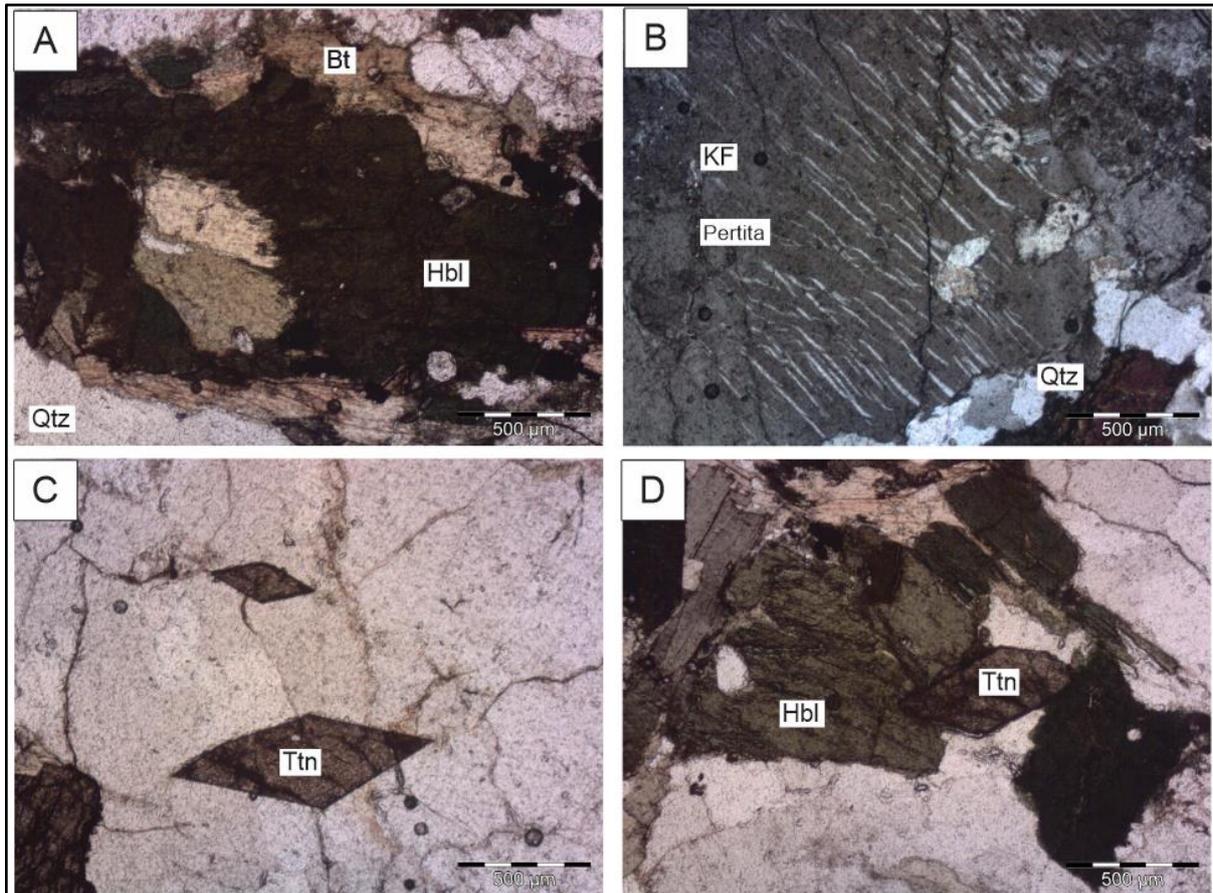


Figura 6.21: Aspectos gerais do Granito Rio Caiapó (A1-P75 Coordenadas UTM: 8198247,142; 456834,2163). A - Agregados de hornblenda e biotita, com a hornblenda constantemente nos núcleos dos agregados com biotita ao redor. B - Cristal de feldspato potássico com textura pertítica, marcada por lamelas em cordões. Notar a diferença no tamanho do cristal com relação ao quartzo em contato, definindo a textura localmente porfirítica. C - Cristais de Titanita euédricos com hábito losangular típico. D - Cristal de titanita parcialmente englobado por cristal de hornblenda.

Sienogranito Fino

Esta fácies apresenta a mesma composição mineralógica e classificação petrográfica que a fácies sienogranítica grossa do Granito Rio Caiapó. O critério que diferencia essa fácies é a textura e granulação. Dessa maneira, apresenta uma textura equigranular, de granulação fina (< 1 mm) e mineralogia composta por microclínio, ortoclásio, quartzo, plagioclásio, hornblenda e biotita. Essa fácies está relacionada a regiões mais arrasadas do terreno, as quais podem ser reconhecidas no mapa ternário RGB (Figura 6.19), no qual observa-se em tom azulado.

Granodiorito

Além das fácies de composição granítica, o Granito Rio Caiapó apresenta fácies menos evoluídas. Em regiões próximas ao contato com o Gnaiss Arenópolis,

foram caracterizadas rochas compostas por quartzo (~30%), plagioclásio (~20%), biotita (~20%), hornblenda (~15%), feldspato potássico (~10%), epidoto (~3%), e clorita (~2%), bem como titanita e apatita como fases acessórias. São rochas inequigranulares, de granulação fina a média (0,1 mm - 1,0 mm). Possuem textura porfírica com fenocristais (Figura 6.22-C e D) de ortoclásio e plagioclásio (An_{38}), e matriz inequigranular seriada (Figura 6.22-A e B). Os cristais de biotita encontram-se alterados pelo processo de cloritização, enquanto os plagioclásios possuem textura em peneira, por conta do processo de sericitização. Desta forma, estas rochas foram caracterizadas como biotita-granodioritos.

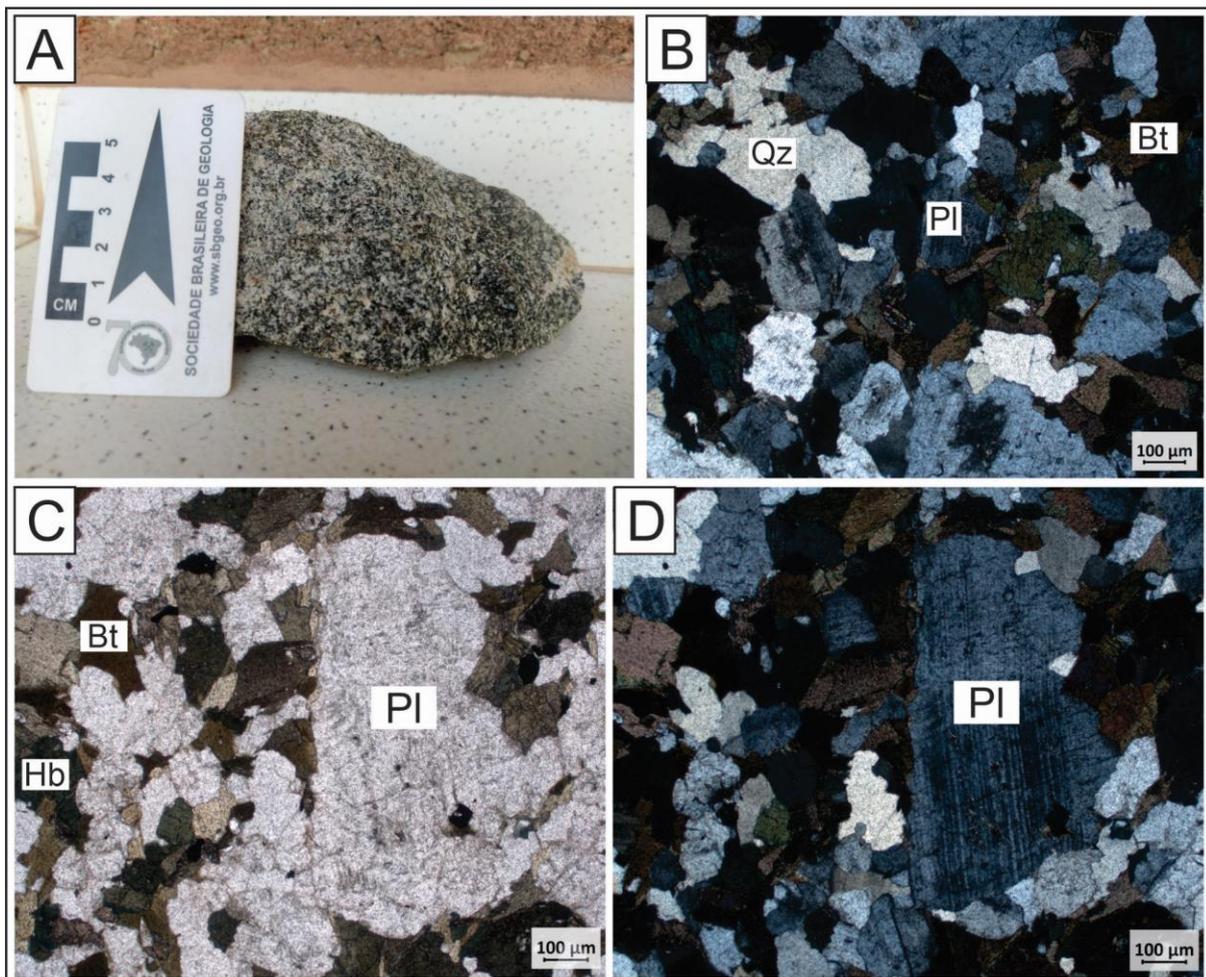


Figura 6.22: A (TF23-AIII-P114 - Coordenadas X: 435836,90; Y: 8193673,70) - Amostra de mão representativa classificada como um biotita granodiorito. B - Fotomicrografia a nicóis cruzados destacando a ocorrência de biotita, plagioclásio e quartzo. C e D - Fotomicrografia a nicóis paralelos e cruzados, destacando o aspecto dos fenocristais de plagioclásio.

6.5. Granito Serra do Iran

Essa unidade está localizada na porção mais elevada da Área III, estando relacionada à Serra da Margarida. A unidade está limitada à oeste pela Unidade Córrego Santo Antônio da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas e a leste pelo Gnaiss Arenópolis (Figura 6.23). A unidade, que engloba 18,5% da Área III (Figura 6.24), pode ser separada em dois principais domínios geomorfológicos controlados, principalmente, pela granulação das rochas graníticas. Também ocorrem diferentes fácies que refletem em alguma variação composicional da câmara magmática e, por isso, foram individualizadas em fácies félsica, intermediária, máfica, subvulcânica e calcissilicática. Além disso, a unidade também é marcada pela presença de xenólitos de anfibólitos pertencentes à Unidade Córrego Santo Antônio e diques alcalinos relacionados ao Complexo Alcalino Arenópolis.



Figura 6.23: TF23-AIII-P86 - Coordenadas X: 426237,91; Y: 8195977,82 - Fotografia panorâmica de leste para oeste mostrando ao fundo a Serra do Retiro Velho, seu contato com o Gnaiss Arenópolis e, para oeste, o Granito Serra do Iran. A foto foi registrada em uma das porções da Serra da Margarida.

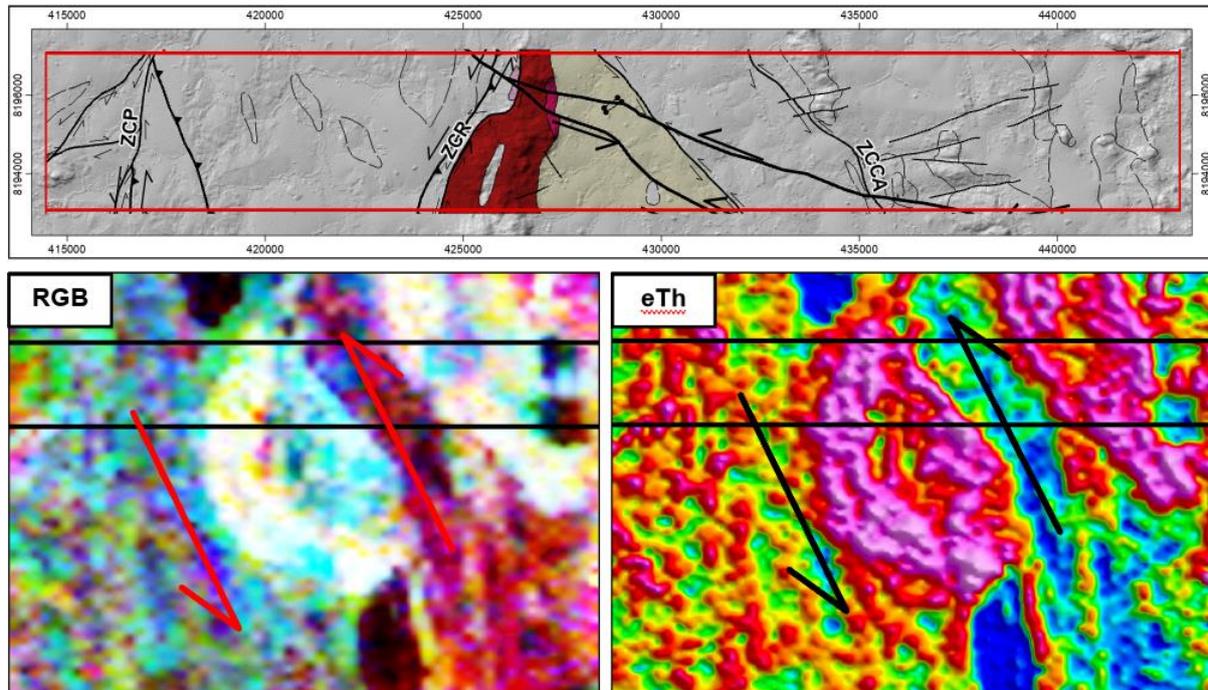


Figura 6.24: Localização do Granito Sera do Iran na Área III e as suas respectivas respostas gamaespectrométricas no mapa ternário e equivalente de tório.

6.5.1. Fácies Félsica

A fácies félsica representa o grupo de rochas mais comum para a unidade, classificada como um sienogranito. Entretanto, há uma variação no que diz respeito à granulação e que exerce um controle geomorfológico à unidade (Figura 6.25). Durante a etapa de campo, notou-se que os domínios de granulação grossa estão restritos à região de serra, enquanto que a porção mais rebaixada, apresenta uma granulação fina a média. Essa diferença é notada no produto gamaespectrométrico, em composição RGB (K, eTh e eU), como pode ser visto na Figura 6.24. Os sienogranitos de granulação grossa representam o domínio de coloração branca, enquanto que os sienogranitos de granulação média a fina apresentam uma resposta azulada. Em campo, atestou-se que as porções de relevo aplainado estão ocupadas por grandes plantações e pasto, justificando a cor azulada no mapa ternário RGB.

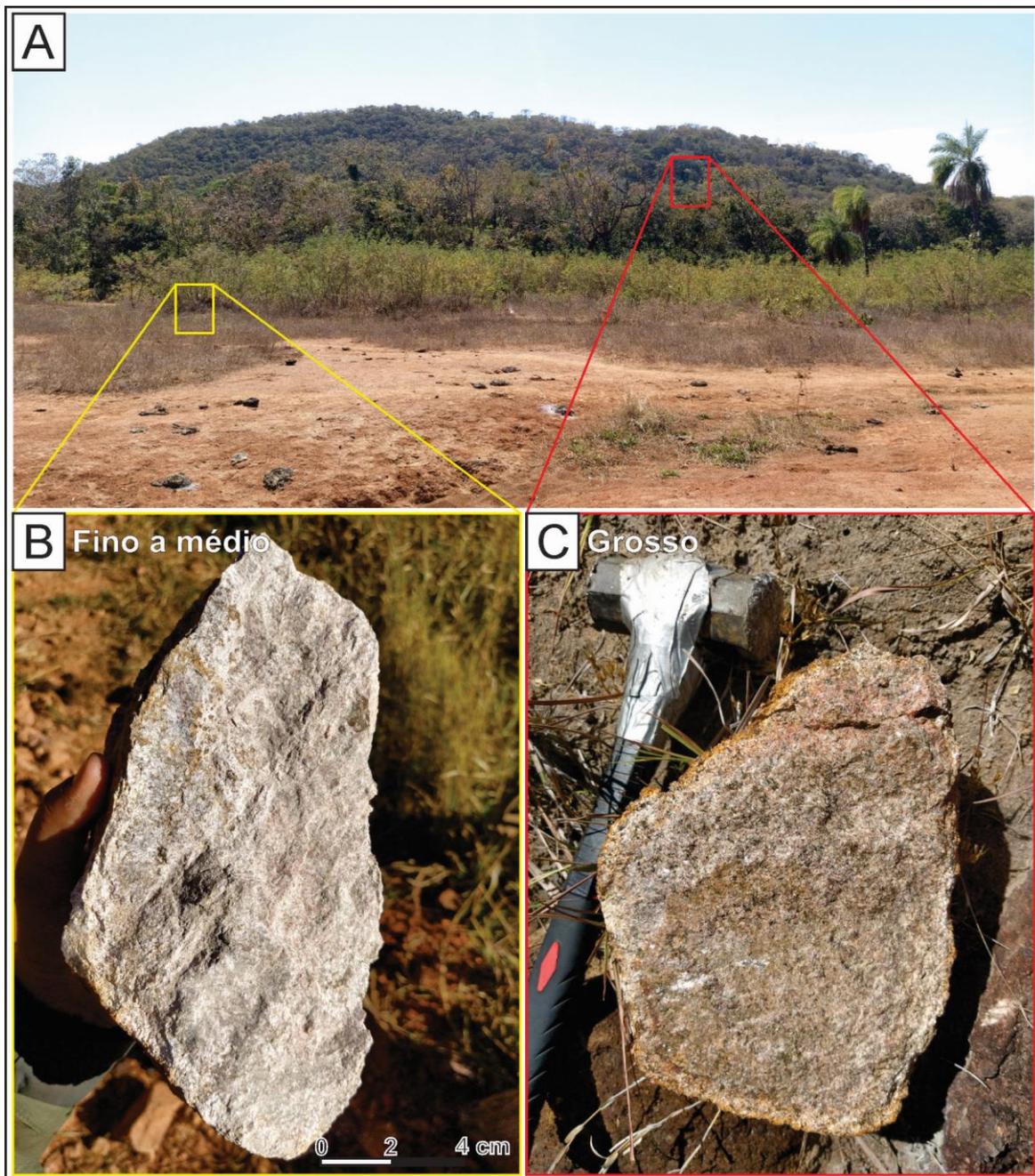


Figura 6.25: Destaque para a granulação distinta entre as fácies que exerce um controle geomorfológico na região. As rochas de granulação grossa sustentam o relevo formado pela Serra da Margarida.

Microscopicamente, a fácies félsica é composta por microclínio (~40%), quartzo (~25%), plagioclásio (~15%), biotita (~11%), hornblenda (~5%), epidoto (~3%), clorita (~1%), com titanita, zircão, apatita como fases acessórias. É descrita como rocha inequigranular, de granulação fina à grossa (0,1 - 3,5 mm). Apresenta textura porfírica, com matriz inequigranular seriada (0,1 - 1 mm), e fenocristais de microclínio e quartzo (1 - 3 cm). Localmente, a assembleia formada pelos minerais citados apresenta uma textura equigranular (Figura 6.26). Entretanto, em grande

parte da lâmina, as lamelas de biotita aparentam estar ocupando a região entre os cristais dos feldspatos. Como texturas especiais, foram observados exsoluções de plagioclásio em microclínio, denominada pertita (Figura 6.26 - C e D). Os cristais de feldspato se mostram alterados para caulinita, no microclínio, e sericita, no plagioclásio. Por fim, alguns cristais de biotita primários apresentam alteração de cloritização.

A compilação dos dados texturais e mineralógicos permite classificar a rocha como um hornblenda-biotita sienogranito. A textura inequigranular seriada, bem como a relação de contato entre os minerais, permite inferir que a ordem de cristalização é: i) máficos (biotita + hornblenda); ii) plagioclásio; iii) microclínio; iv) quartzo. Analisando a composição modal, percebe-se que o magma gerador da rocha apresentava uma composição rica em álcalis.

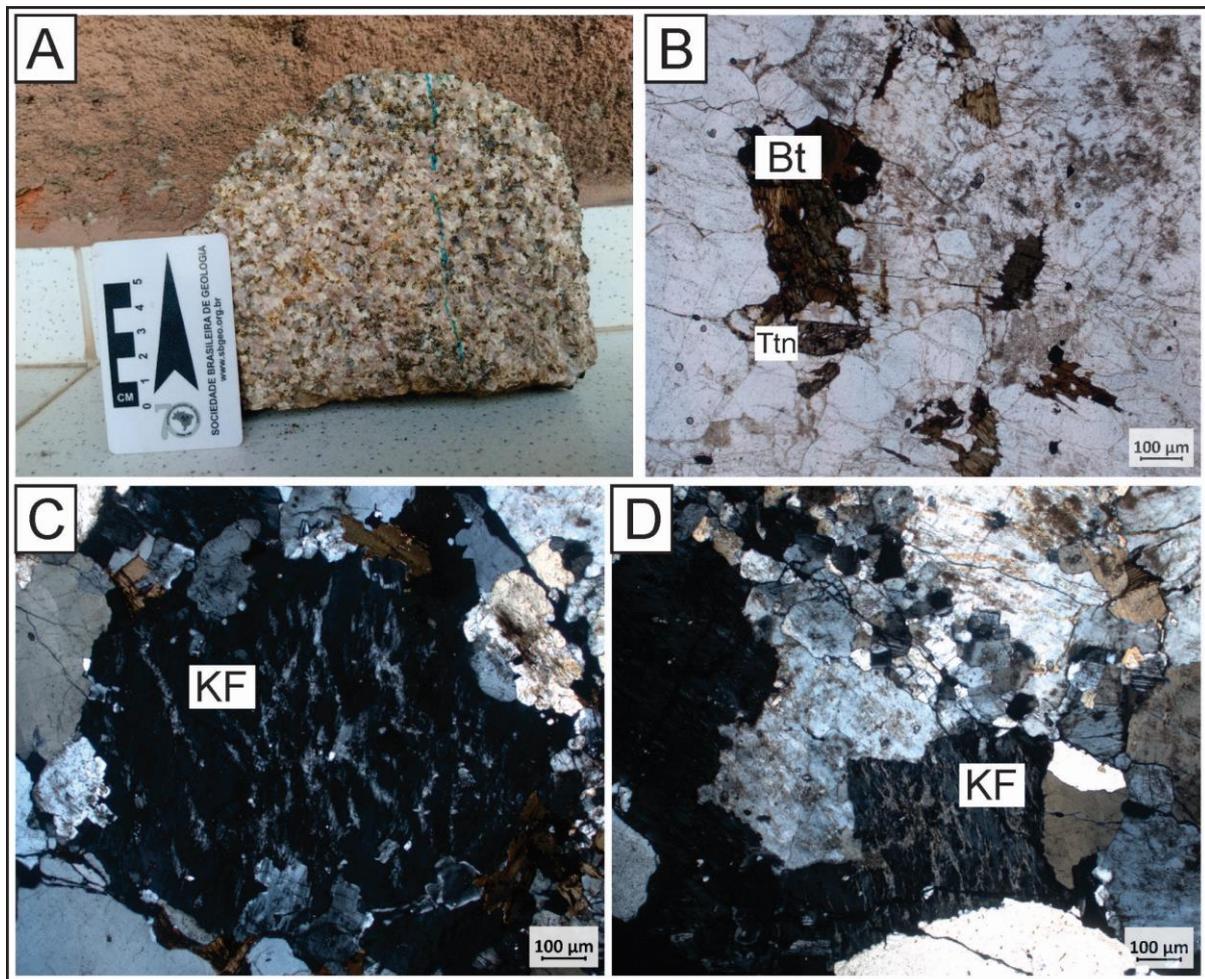


Figura 6.26: A (TF23-AIII-P157 - Coordenadas X: 427450,29; Y: 8194110,78) - Amostra de mão representativa da fácies félsica e classificada como um sienogranito de granulação grossa. B - Fotomicrografia a nicóis paralelos destacando a ocorrência de biotita e titanita. C e D - Fotomicrografia a nicóis cruzados destacando o aspecto dos microclínios em granulação grossa e média, respectivamente, além das exsoluções denominadas de pertitas.

6.5.2. Fácies Intermediária

Além disso, na porção leste do Granito Serra do Iran, próximo ao contato com o Gnaiss Arenópolis, ocorrem rochas intermediárias classificadas como granodioritos (Figura 6.27). Possuem composição caracterizada por quartzo (~35%), plagioclásio (~20%), hornblenda (~20%), microclínio (~17%), biotita (~5%), e clorita (~2%), com a presença de opacos, titanita, apatita e zircão como minerais acessórios. Estas rochas são descritas como inequigranulares de granulação fina a grossa (0,1 mm até aproximadamente 3 cm). Possuem textura porfírica (Figura 6.27), com fenocristais de microclínio. Pode-se ainda perceber que os cristais de plagioclásio (que apresentam teor de anortita de aproximadamente An₄₂) encontram-se alterados pelo processo de saussuritização. O processo de biotitização ocorre em alguns cristais de hornblenda, enquanto a biotita é intensamente cloritizada. Desta forma, pode-se classificar a rocha como um hornblenda-granodiorito. No contexto da Área III, essa rocha foi identificada em apenas um ponto durante o mapeamento e, dessa forma, não foi individualizada no mapa da área.

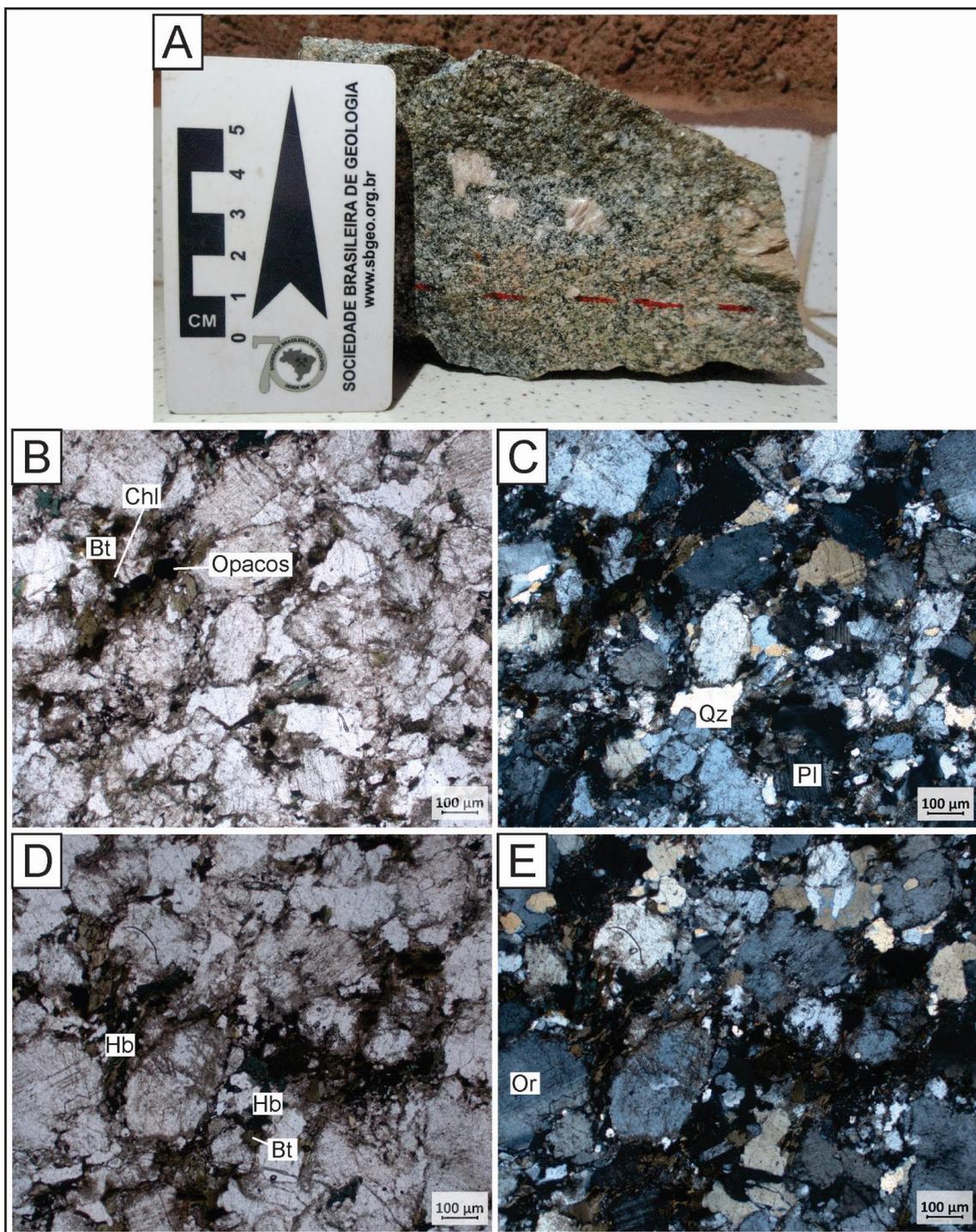


Figura 6.27: A (TF23-AIII-P48 - Coordenadas X: 428967,96; Y: 8196436,98) - Amostra de mão de granodiorito, um dos representantes da fácies intermediária do Granito Serra do Iran. B e C - Fotomicrografia a nicóis paralelos e cruzados destacando a ocorrência de biotita, clorita, plagioclásio e opacos. D e E - Fotomicrografia a nicóis paralelos e cruzados destacando a ocorrência de hornblenda, ortoclásio e biotita.

6.5.3. Fácies Máfica

Dentre a fácies máfica, também ocorrem as rochas intrusivas classificadas como dioritos. São constituídos por plagioclásio (~50%), hornblenda (35%) e piroxênio (~15%) em uma textura granular, localmente subofítica e granulação média (Figura 6.28). Essas rochas foram mapeadas na Área III na borda leste do domínio de sienogranitos de granulação grossa, próximos a quebra de relevo associada à Serra da Margarida.



Figura 6.28: Amostra de mão do diorito mapeado nas proximidades da Serra da Margarida e em contato com a fácies félsica do Granito Serra do Iran.

6.5.4. Fácies Subvulcânica

A fácies vulcânica foi identificada na borda oeste da unidade representada pelo Granito Serra do Iran. Compreende rochas com fenocristais de feldspatos e quartzo e matriz fina rosada à acinzentada (Figura 6.29-A e B). Através de análise microscópica, foi definida a assembléia com quartzo (~40%), plagioclásio (~35%), hornblenda (~10%), biotita (~7%), microclínio (~5%), epidoto (~2%) e opacos (~1%) com fase acessória representada por cristais de zircão (<1%).

A rocha é descrita como holocristalina, inequigranular, de granulação fina à média (0,1 mm - 1,0 mm). Apresenta textura porfirítica (inequigranular bimodal aproximadamente), com matriz composta predominantemente por cristais de quartzo e plagioclásio, com alguns agregados compostos por hornblenda e biotita. A hornblenda também ocorre em meio a matriz isoladamente e com granulação fina. Os fenocristais são compostos essencialmente de plagioclásio, com teor de anortita aproximadamente An_{15} sugerindo uma composição próxima ao oligoclásio e caráter sódico. Também ocorrem fenocristais de quartzo, os quais apresentam uma extinção levemente ondulante e texturas de engolfamento, indicando uma instabilidade por descompressão e processo de resfriamento rápido (Figura 6.29-D).

Os dados permitem a classificação da rocha em sub-vulcânica félsica saturada em sílica, denominada dacito. A textura porfirítica e granulação fina indica que a cristalização ocorreu em profundidade intermediária a rasa, através de um magma de composição dacítica rico em sódio, podendo estar associado a um estágio vulcânico da câmara magmática geradora do Granito Serra do Iran. Os indícios de texturais, tais quais o engolfamento de quartzo e fenocristais de feldspato e quartzo, são evidências de um resfriamento rápido, reforçando a interpretação de um ambiente sub-vulcânico para a rocha, considerando que a matriz não é fina o suficiente para considerá-la vulcânica.

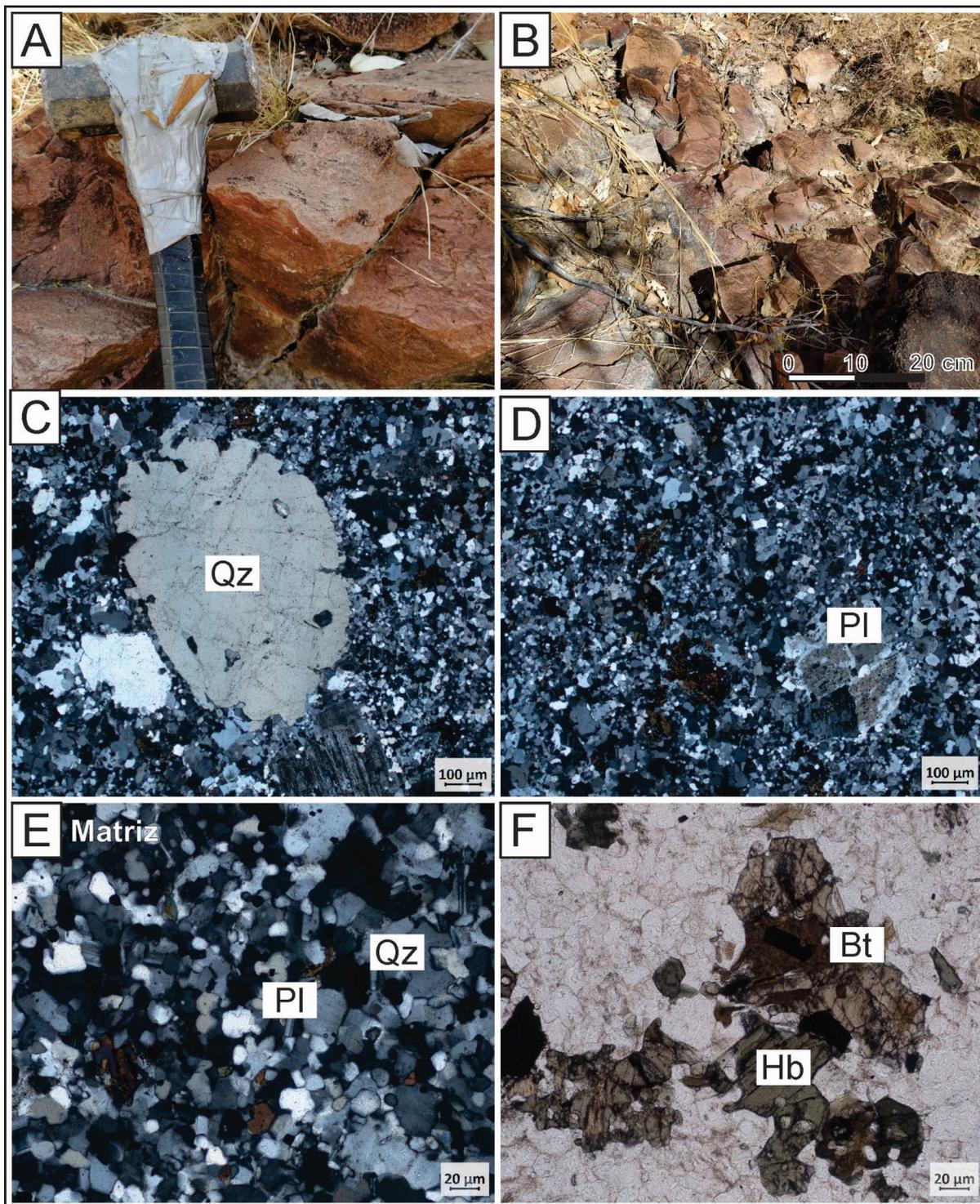


Figura 6.29: A e B (TF23-AIII-P196 - Coordenadas X: 425551,36; Y: 8193852,32) - Afloramentos em blocos próximos a drenagem com rochas rosadas, fenocristais de feldspatos e matriz fina. C e D - Fotomicrografia a nicóis cruzados com destaque para os fenocristais de quartzo, com bordas de engolfamento, e plagioclásio. E - Matriz felsítica composta por quartzo e plagioclásio, parcialmente recristalizada e com alguns grãos de anfibólio. F - Agregados compostos por hornblenda e biotita ao longo da lâmina.

6.5.5. Rochas Calcissilicáticas

Na Área III, apenas um afloramento continha rochas calcissilicáticas, as quais encontram-se associadas ao Granito Serra do Iran, nas porções mais elevadas topograficamente. O afloramento consiste em blocos e lajedos *in situ* parcialmente intemperizados com uma estrutura bandada pouco pronunciada e veios constituídos principalmente por quartzo e plagioclásio. Ao microscópio, a rocha é constituída por diopsídio (~25%), granada (~20%), quartzo (~20%), hornblenda (~20%) e plagioclásio (~15%). A granada é eudral e varia de fina a média, com textura poiquiloblástica e englobando os demais minerais identificados (Figura 6.30).

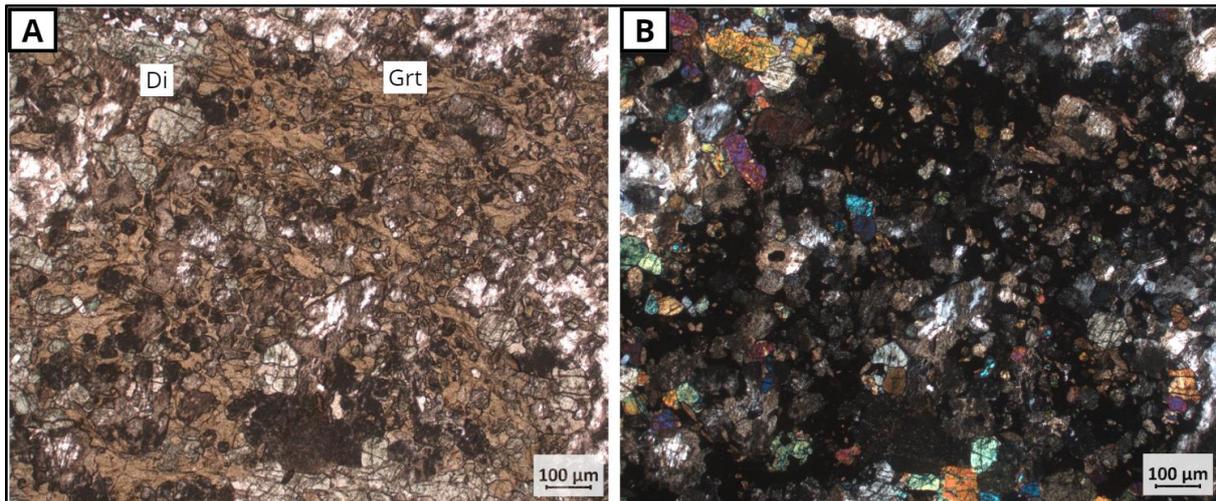


Figura 6.30: Fotomicrografias a nicóis paralelos e cruzados, respectivamente, destacando a textura principal da rocha, com a ocorrência de granada englobando cristais de diopsídio.

6.6. Rochas hidrotermais

A presença de rochas que sofreram alterações hidrotermais, embora não tenham sido destacadas individualmente no mapa geológico, representa ocorrências significativas na Área III. As rochas hidrotermalizadas ocorrem ao longo de toda a área, sempre próximas de contatos entre as unidades, os quais correspondem com zonas de cisalhamento dispostas preferencialmente segundo a direção NNW-SSE. Nesses corredores deformacionais, a associação mais comum é de epidoto e feldspato potássico (Figura 6.31), e ocasionalmente clorita.

É possível perceber que a alteração potássica é sobreposta por uma alteração rica em epidoto, que ocorre preferencialmente em veios. Os protólitos identificados dos produtos hidrotermais constituem granitos e ortognaisses associados às unidades Granito Serra do Iran, Granito Água Limpa e Gnaiss Arenópolis.

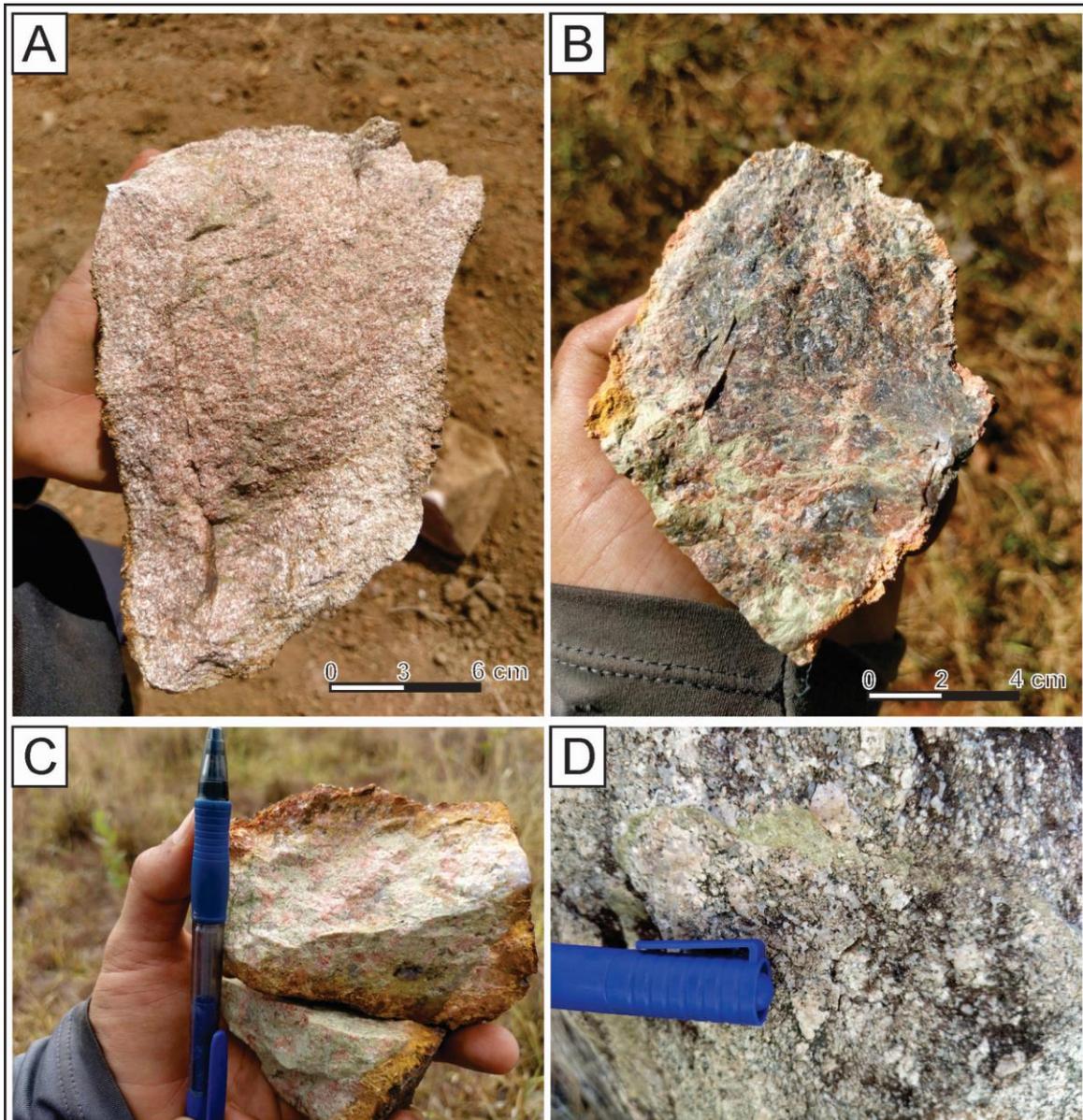


Figura 6.31: A (TF23-AIII-P247 - Coordenadas X: 429491,27; Y: 8195271,08) e B (TF23-AIII-P155 - Coordenadas X: 427713,39; Y: 8194244,75) - Paragênese hidrotermal composta por epidoto e feldspato potássico em granitos gerando um aspecto brechado às rochas. C (TF23-AIII-P69 - Coordenadas X: 415716,93; Y: 8195598,41) e D (TF23-AIII-P208 - Coordenadas X: 415432,93; Y: 8193703,33) - Paragênese hidrotermal composta predominantemente por epidoto e feldspato potássico.

6.7. Província Alcalina de Goiás (PAGO)

As rochas da PAGO que ocorrem na área do Projeto Arenópolis estão relacionadas ao Complexo Alcalino Arenópolis, o qual está localizado no extremo leste e abarca aproximadamente 9,4 % da Área III (Figura 6.32). A unidade é intrusiva no Granito Rio Caiapó e devido a essa interação com as rochas graníticas, foram geradas zonas de fenitização como auréolas nas rochas encaixantes (Figura 6.42). A fenitização é um processo que resulta da interação de um magma rico em fluidos com

a rocha encaixante fria, gerando, portanto, modificações na composição química e, conseqüentemente, mineralógica, de ambos os corpos (Torres, 2017). Além disso, foram individualizadas fácies plutônicas, que compreendem gabros alcalinos (Figura 6.34), clinopiroxenitos e nefelinolitos com flogopita, e fácies vulcânicas que foram identificadas em diversos locais do Projeto Arenópolis como diques alcalinos porfíricos.

O Complexo Alcalino Arenópolis apresenta um formato semicircular, com afloramentos restritos a morros e colinas espalhados ao longo da área. O restante é compreendido por solos de alta fertilidade de cor vermelho escuro gerados pela pedogênese das rochas alcalinas e, por esse motivo, a área é repleta de plantações. No mapa ternário RGB (Figura 6.32), é observada a baixa resposta em todos os elementos para a região, o que corrobora a ocorrência de rochas máficas. Além disso, no produto GHT, observam-se diversas estruturas perpendiculares à disposição circular do complexo alcalino. Na Área III, há ocorrências de diques alcalinos que correspondem com essas estruturas.

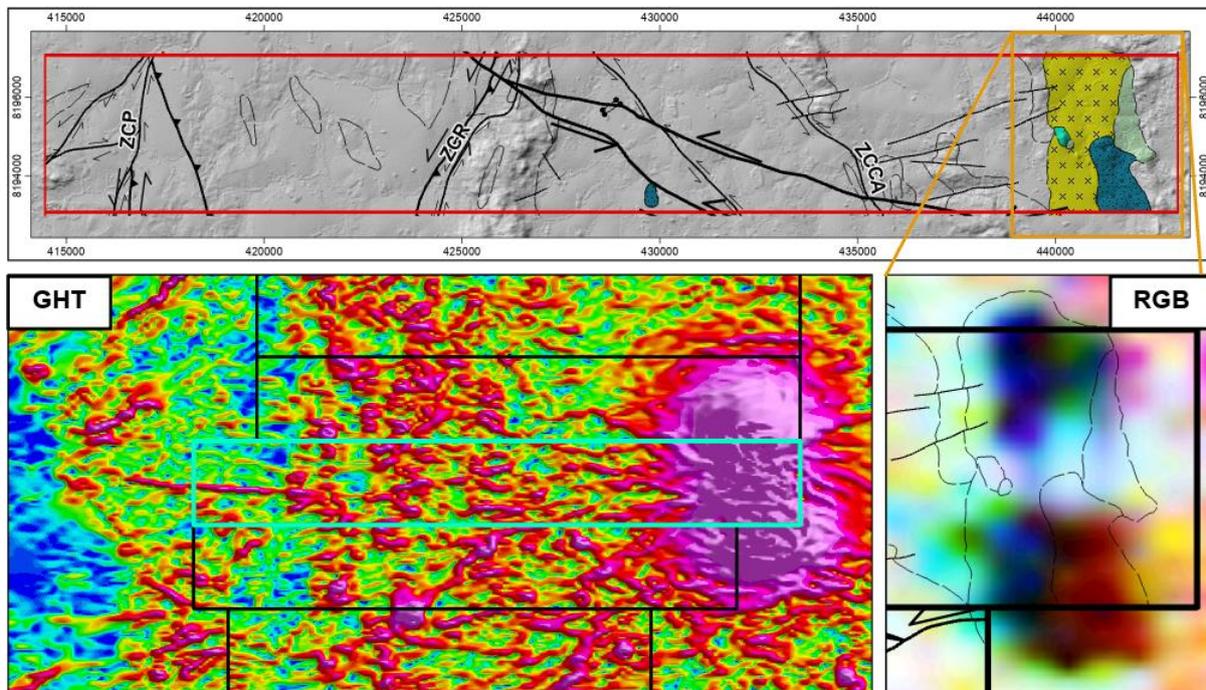


Figura 6.32: Localização do Complexo Alcalino Arenópolis na Área III e as suas respectivas respostas magnetométricas e gamaespectrométricas no Gradiente Horizontal Total e no Mapa Ternário RGB.

A fácies plutônica representa uma sequência de clinopiroxenitos a nefelinolitos com ijolitos e melteigitos como membros intermediários. A nefelina é o feldspatóide dominante identificado em todas as rochas do complexo, mesmo em pequenas

quantidades. A flogopita também representa um mineral comum em todas as rochas, o que indica uma fonte magmática metassomatizada rica em K. Além disso, foram observadas brechas magmáticas com fragmentos angulosos de clinopiroxenitos e matriz de composição félsica residual (Figura 6.33).

A sequência observada indica se tratar de um complexo com afinidade sódica, caracterizada como uma série ijolítica:

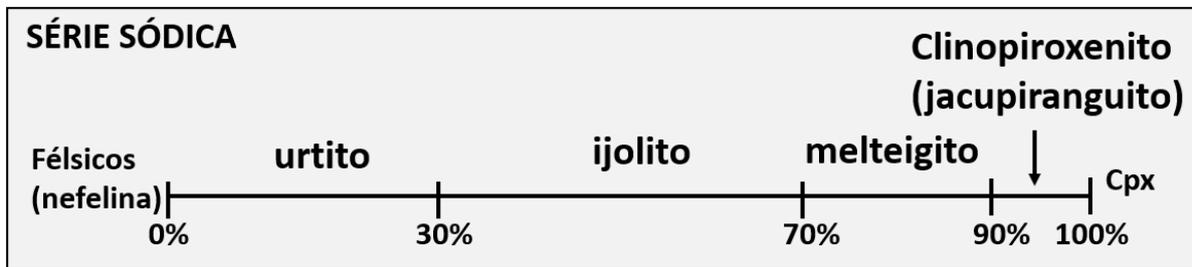


Gráfico 6.1: Série petrogenética de afinidade sódica para complexos alcalino-carbonatíticos (Le Maitre, 2002).



Figura 6.33: A - Melteigito composto predominantemente por titanoaugita, com porção félsica intersticial, cortado por um veio carbonatítico. B - Brecha carbonática com fragmentos de clinopiroxenitos em matriz sienítica.

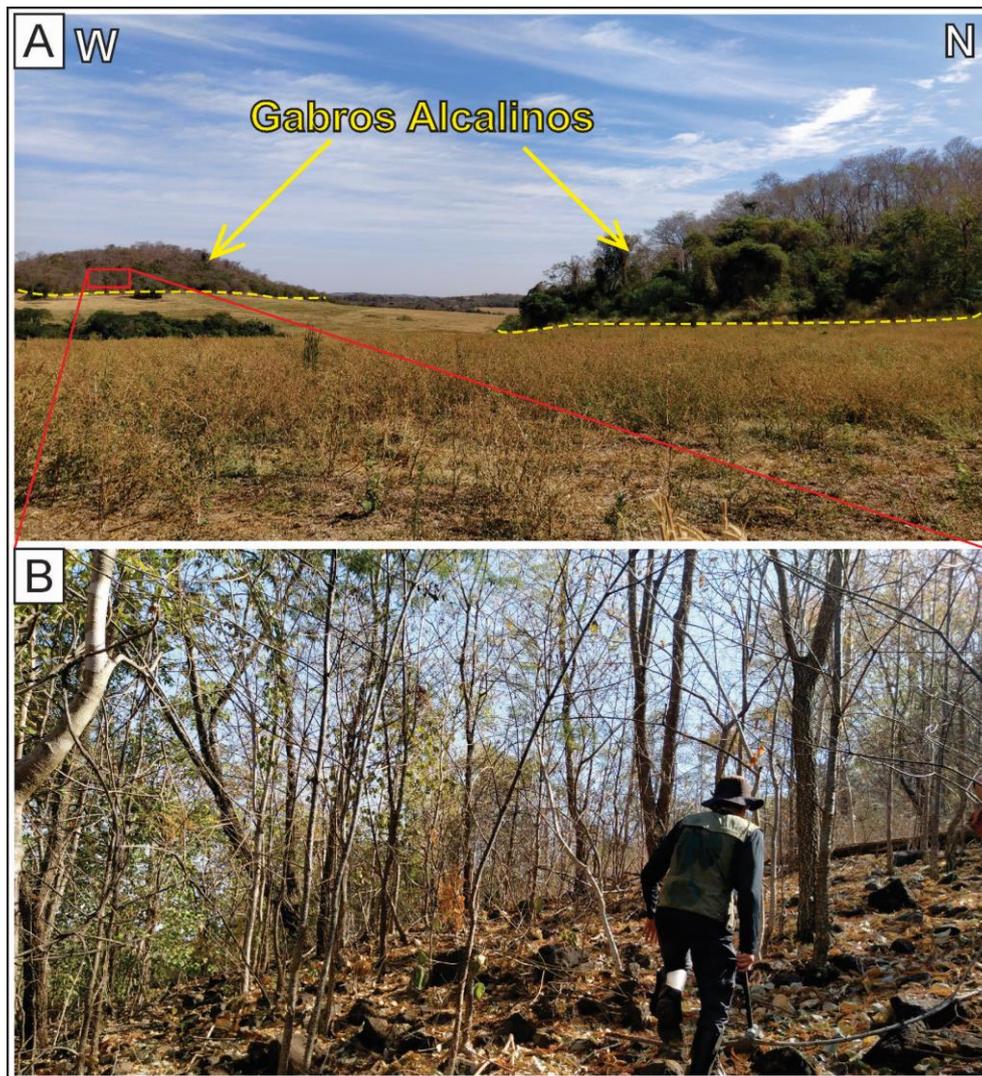


Figura 6.34: A (TF23-AIII-P258 - Coordenadas X: 441173,18; Y: 8194610,84) - Fotografia com destaque para os morros mapeados como gabros alcalinos em contato com a porção mais arrasada. B (TF23-AIII-P7 - Coordenadas X: 440198,37; Y: 8194903,93) - Afloramento em blocos soltos ao longo de um dos morros em destaque.

6.7.1. Fácies Plutônica

Na Área III foram identificados gabros alcalinos, nefelinolitos e clinopiroxenitos como representantes da fácies plutônica do Corpo Arenópolis. Os gabros podem ser descritos como rochas de coloração escura, inequigranulares, de granulação fina à média (0,1-1,0 mm). A assembleia mineralógica é definida por plagioclásio (~50 %), olivina (~20 %), titanoaugita (~15 %), flogopita (~10 %) e opacos (~5 %). Apresentam domínios com textura poiquilítica, com cristais de olivina sendo circundados por cristais de clinopiroxênio e, por vezes, de flogopita (Figura 6.35-A e B). Os cristais de olivina, por vezes, aparecem circundados por cristais de titanoaugita, sugerindo uma corona de reação neste mineral. O plagioclásio, em grande parte da lâmina, apresenta

textura granular, porém, quando em contato com a titanogaugita, pode apresentar textura sub-ofítica e, por vezes, ofítica (Figura 6.35-C e D). Dentre os minerais opacos, predominam a ilmenita e a magnetita.

A textura poiquilítica indica uma ordem de cristalização iniciada pelas olivinas e seguido pela titanogaugita (Figura 6.36), a qual consumiu parte da olivina em um campo de instabilização. Com o decréscimo da temperatura, o plagioclásio cristalizou e devido à composição inicial do magma, que devia ser mais rico em cálcio e alumínio, predominou em relação ao restante da assembleia. A olivina indica um magma insaturado em sílica e corrobora com a ocorrência de diques alcalinos nas proximidades associados ao Corpo Arenópolis.

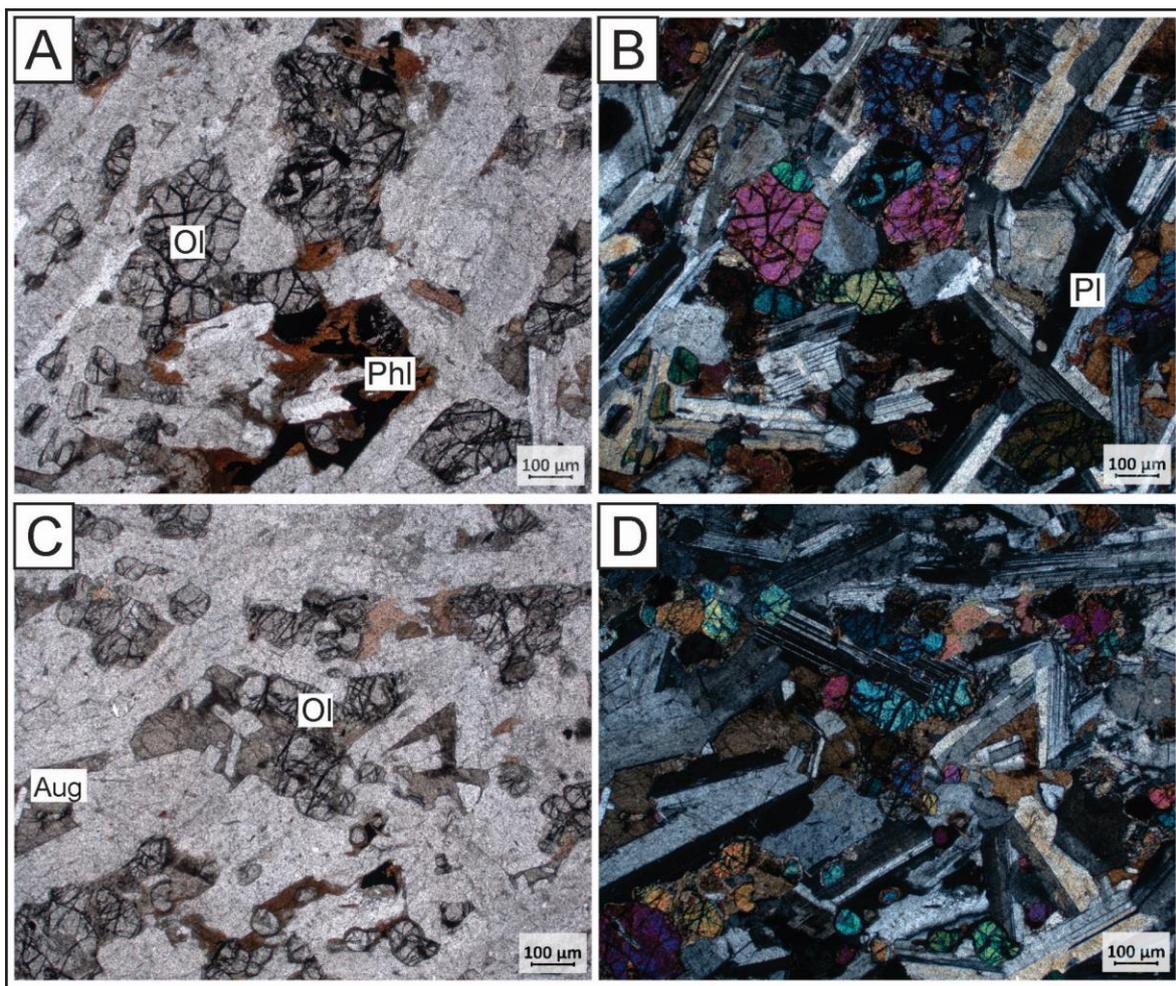


Figura 6.35: A e B (TF23-AIII-P168 - Coordenadas X: 429798,10; Y: 8193589,43) - Fotomicrografia em nicóis paralelos e cruzados, respectivamente, destacando a presença de olivina e flogopita. C e D - Fotomicrografia em nicóis paralelos e cruzados, respectivamente, destacando a textura sub-ofítica dos plagioclásios.

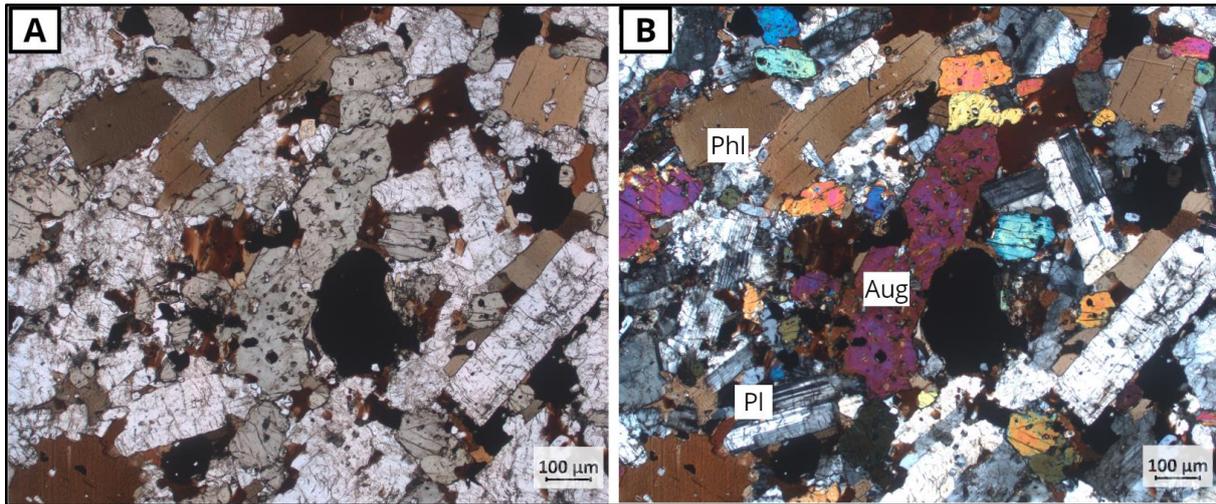


Figura 6.36: A e B (TF23-AIII-P261 - Coordenadas X: 441002,25; Y: 8193113,17) - Fotomicrografia em nicóis paralelos e cruzados, respectivamente, destacando a presença de olivina, flogopita e titanoaugita.

O nefelinolito é descrito como uma rocha equigranular, de granulação média (~1,0 mm). Apresenta textura predominantemente granular marcada por contatos normais entre todos os minerais constituintes. A titanoaugita aparenta sempre estar associada a flogopita (Figura 6.37-A e B), sendo em alguns casos em textura poiquilítica, com a flogopita englobando a titanoaugita. Além disso, há domínios glomeroporfíricos de plagioclásio e, por vezes, uma textura subofítica em respeito aos cristais de nefelina (Figura 6.37-C e D). A textura poiquilítica identificada na lâmina, indica que o primeiro mineral a cristalizar foi a titanoaugita, seguida pela flogopita e plagioclásio. A nefelina, embora tenha se cristalizado por último, apresentou alta taxa de crescimento, conferindo tamanho maior com comparação aos outros minerais.

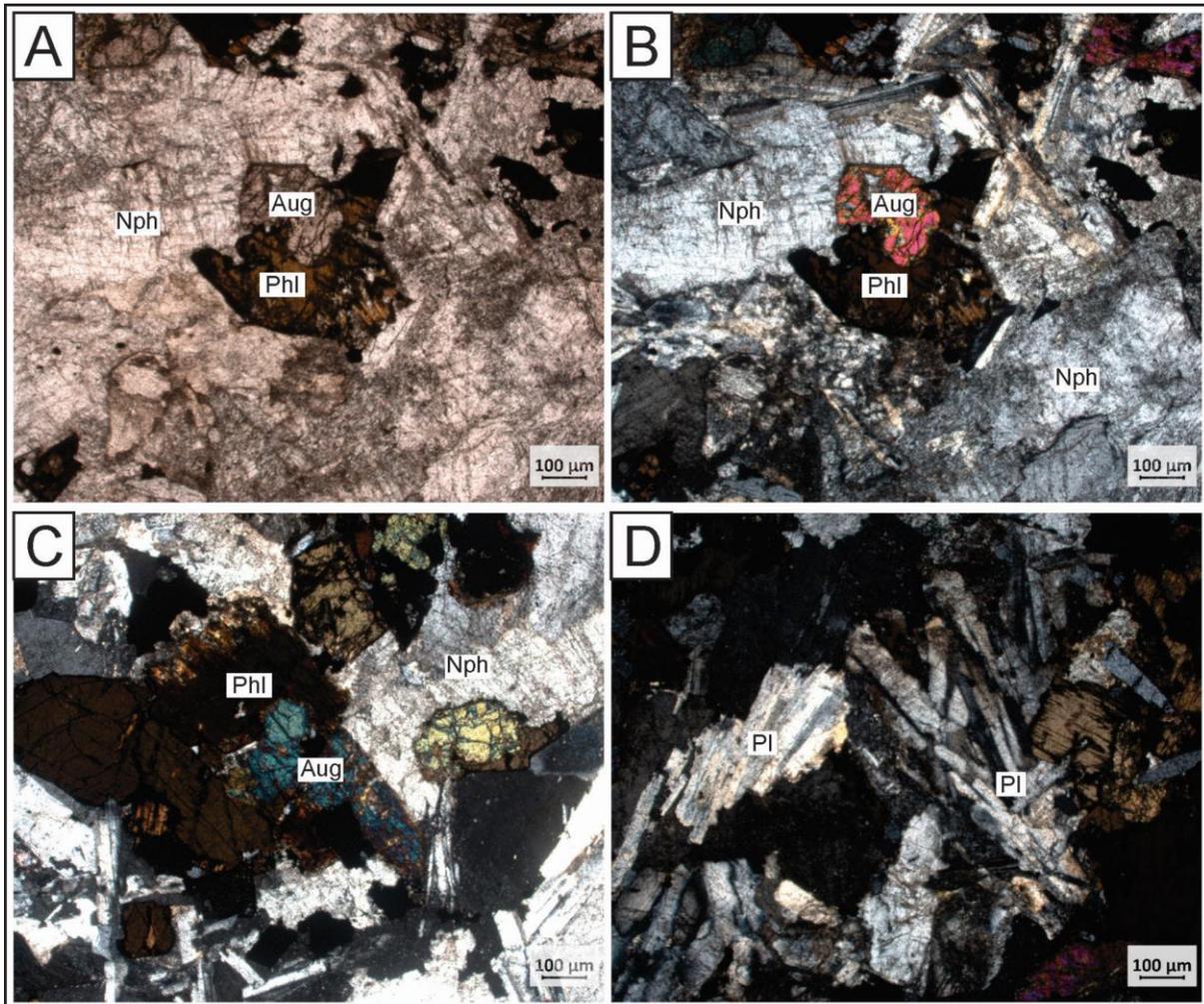


Figura 6.37: A e B (TF23-AIII-P8 - Coordenadas X: 440273,49; Y: 8194759,30) - Fotomicrografia em nicóis paralelos e cruzados, respectivamente, destacando a presença da titanoaugita e flogopita em agregados granulares e cristais de nefelina ao redor em maior quantidade. C e D - Fotomicrografia em nicóis cruzados destacando alguns agregados glomeroporfíricos de plagioclásio, por vezes em textura sub-ofítica.

O olivina clinopiroxenito apresenta granulação fina à grossa (0,05-3,0 cm) (Figura 6.38) com a mineralogia composta por titanoaugita (~60 %), flogopita (~20 %), olivina (~10 %), plagioclásio (~5 %) e opacos (~5 %), com fase acessória representada por titanita (<1 %). Em lâmina (Figura 6.39), a textura predominante é poiquilítica, com cristais de olivina representando os chadacristais e cristais de titanoaugita representando os oicocristais, circundando cristais de olivina. É comum encontrar cristais de flogopita englobando os minerais citados como oicocristais centimétricos. Ocasionalmente, a titanoaugita apresenta zonação composicional, que pode representar o enriquecimento em Ti e Fe. De maneira intersticial, há um mineral incolor, parcialmente intemperizado, classificado como plagioclásio. Os minerais

opacos, que compreendem em grande parte magnetita, sucedem a cristalização de augita.

As características texturais indicam que a olivina teve cristalização precoce, conferindo o aspecto arredondado. As texturas poiquilíticas podem indicar um processo de segregação magmática do Corpo Arenópolis, sendo esta rocha representativa das fácies mais máficas. A ocorrência de plagioclásio em interstícios sugere a evolução do magma para composições mais félsicas, o que corrobora com a ocorrência de olivina gabros nas proximidades (TF23-AIII-261).

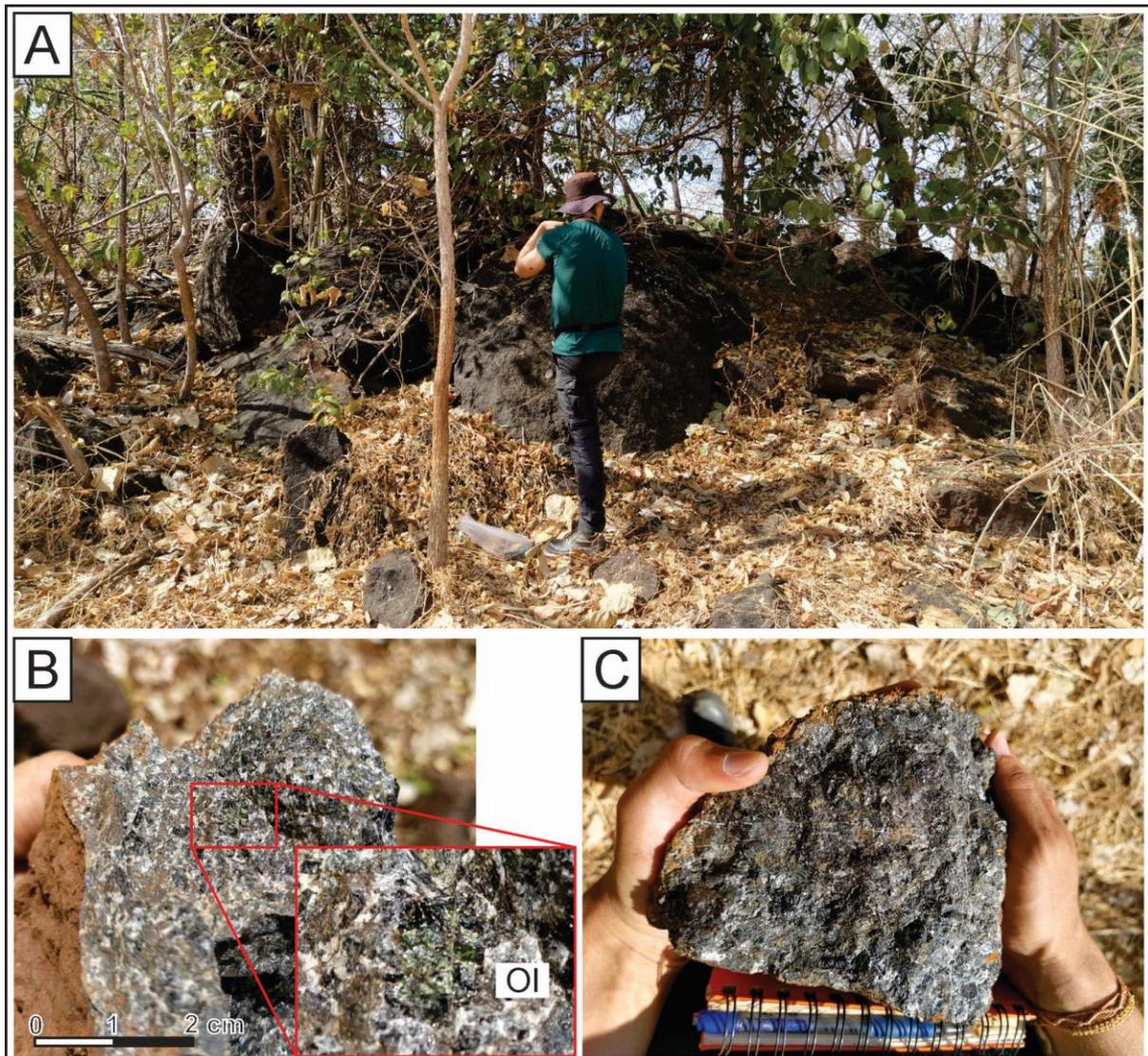


Figura 6.38: A (TF23-AIII-P258 - Coordenadas X: 441156,24; Y: 8194748,89) - Afloramento em lajedo composto por rochas ultramáficas alcalinas. B e C - Destaque para os clinopiroxenitos compostos essencialmente por titanaugita e flogopita, localmente com nefelina e plagioclásio ocupando os espaços intersticiais.

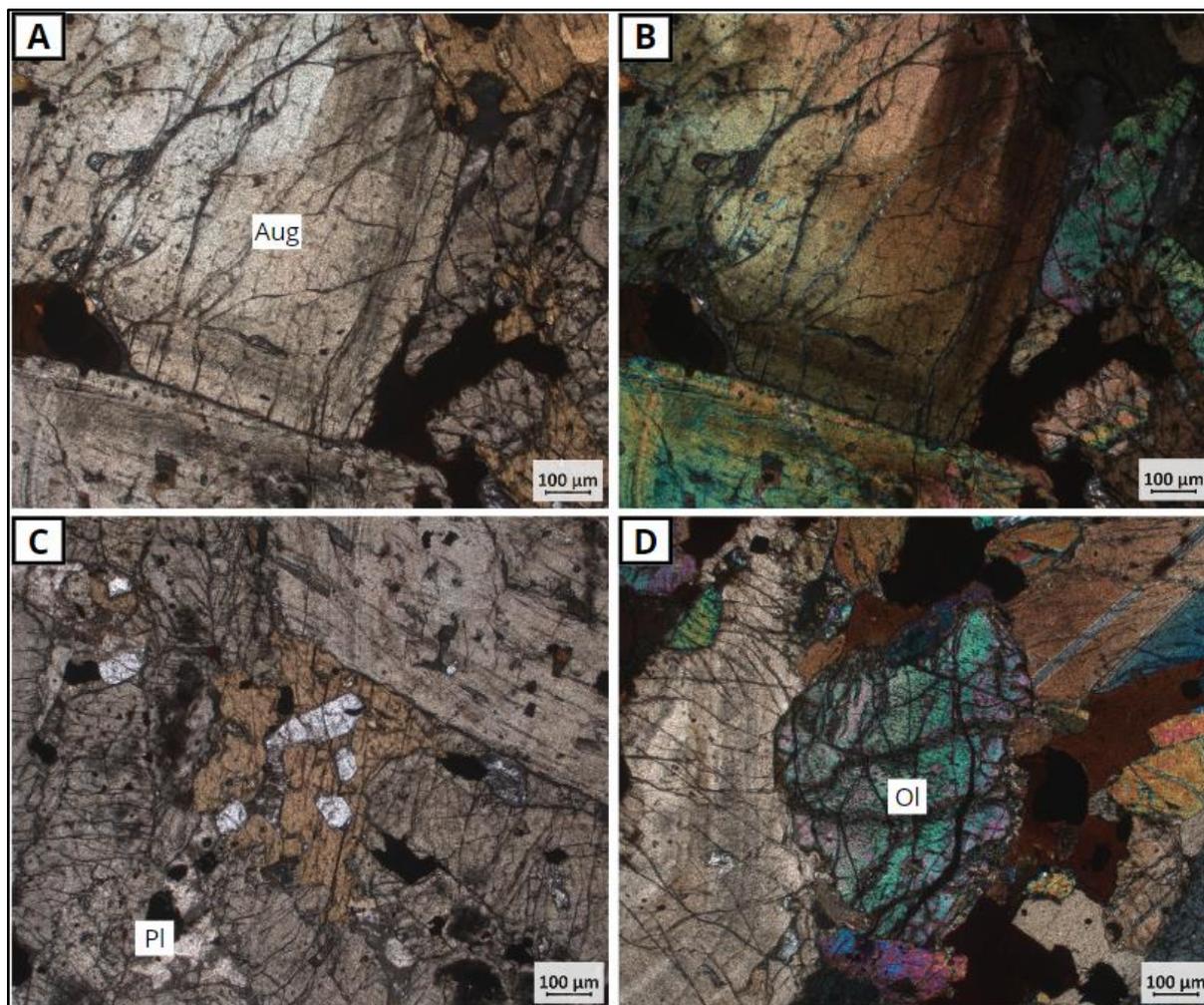


Figura 6.39: A e B - Fotomicrografia a nicóis paralelos e cruzados, respectivamente, com destaque para a zonação composicional da titanoaugita. C - Fotomicrografia a nicóis paralelos, com destaque para a textura poiquilítica em titanoaugitas e o plagioclásio intersticial alterado. D - Fotomicrografia a nicóis cruzados com destaque para a olivina intensamente fraturada e forma arredondada.

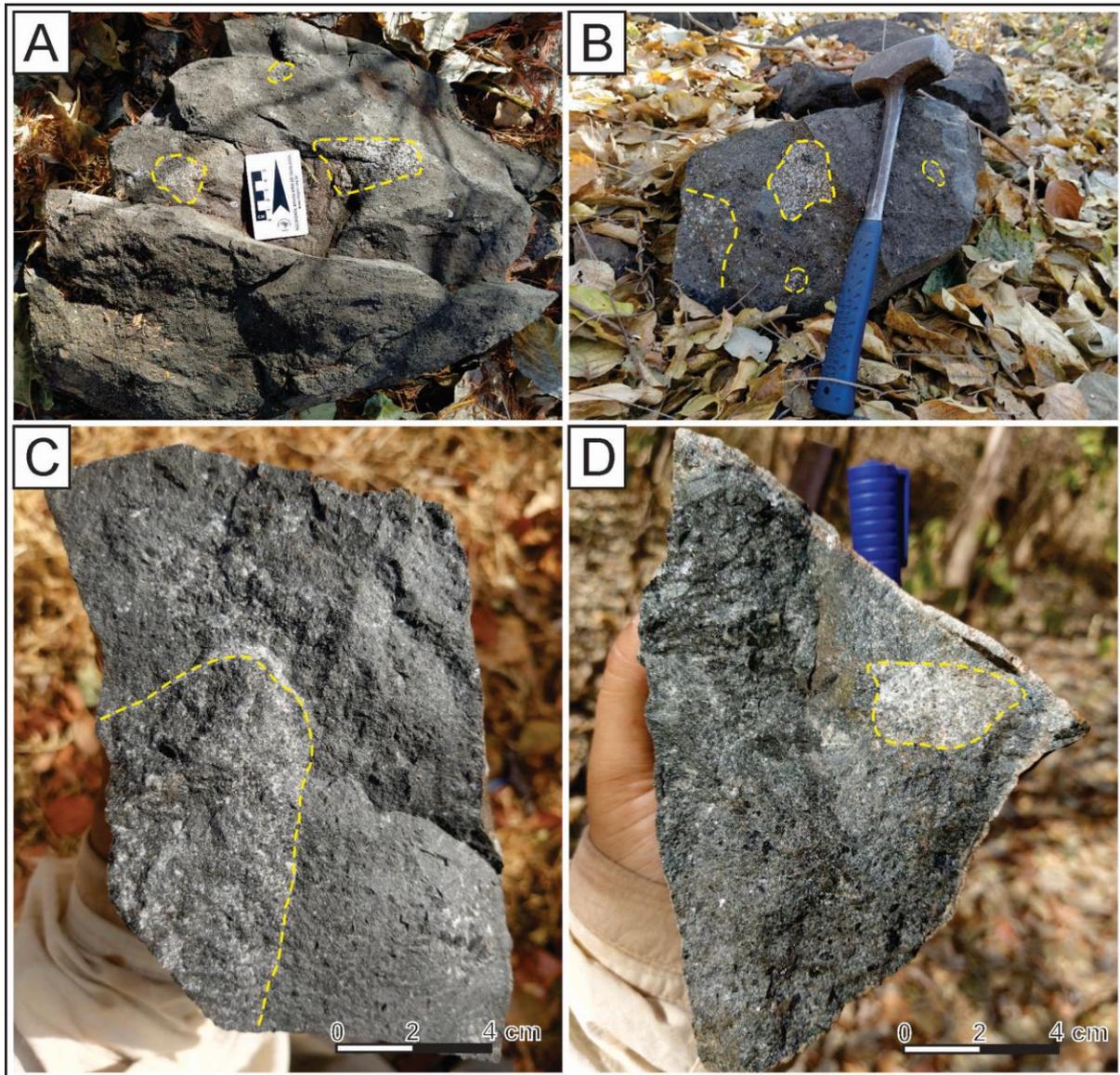


Figura 6.40: A e B (TF23-AIII-P7 - Coordenadas X: 440198,37; Y: 8194903,93) - Blocos in situ evidenciando os enclaves de gabros e sienitos em meio aos diques porfiríticos. C e D - Nota-se que os enclaves apresentam uma composição mais félsica, indicando que os diques representam fases posteriores.

6.7.2. Fácies Vulcânica

Diques alcalinos porfiríticos foram identificados espalhados ao longo de toda a Área III. São descritos como rochas melanocráticas, de granulação fina a muito fina, comumente com fenocristais de titanogaugita e raramente olivina. Na matriz, há um alto teor de magnetita, o que confere o magnetismo e a alta densidade. Constantemente, apresenta orifícios em sua carapaça de alteração que pode representar a alteração dos piroxênios e olivina (Figura 6.41). Essas rochas foram encontradas também como diques em sienogranitos da unidade Granito Serra do Iran e Granito Rio Caiapó (Figura 6.42). Através dos critérios descritivos e relações de

contato entre as outras fácies do Corpo Arenópolis, entende-se que essas rochas compreendem as últimas fases de cristalização ou os últimos pulsos magmáticos.

Além disso, vale destacar a ocorrência de enclaves leucocráticos, de granulação fina a média classificados como sienitos. Essas estruturas foram observadas nos diques porfíricos descritos a seguir e podem representar autólitos alojados em brechas de conduto (Figura 6.40).

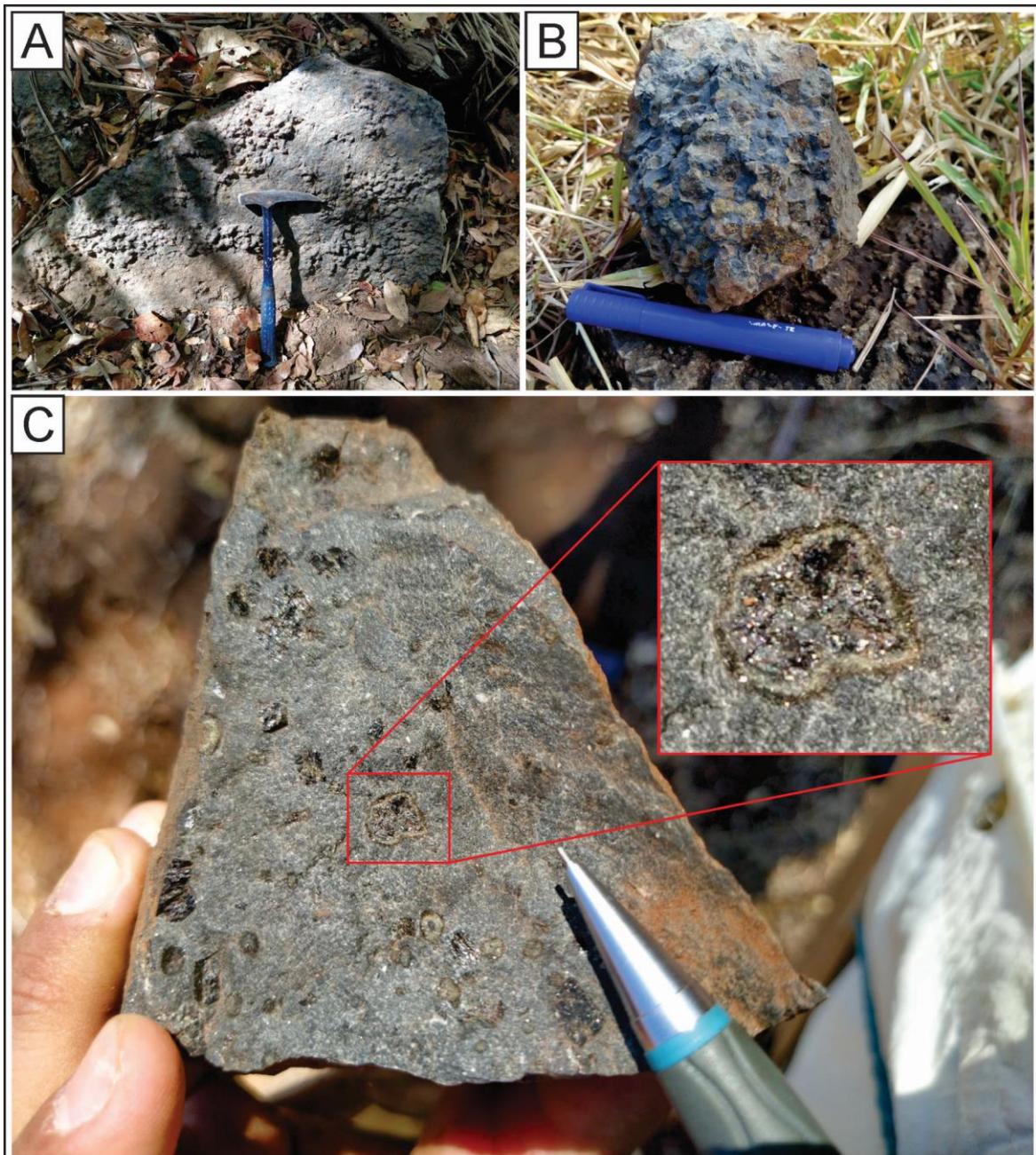


Figura 6.41: A (TF23-AIII-P184 - Coordenadas X: 426455,65; Y: 8193302,10) e B (TF23-AIII-P185 - Coordenadas X: 426439,23; Y: 8193365,63) - Blocos de diques alcalinos. Nota-se a facilidade de se identificar os fenocristais de piroxênio através da rugosidade na superfície da rocha. C (TF23-AIII-P9 - Coordenadas X: 440393,38; Y: 8194860,09) - Destaque para as bordas de alteração em alguns exemplos de piroxênio.

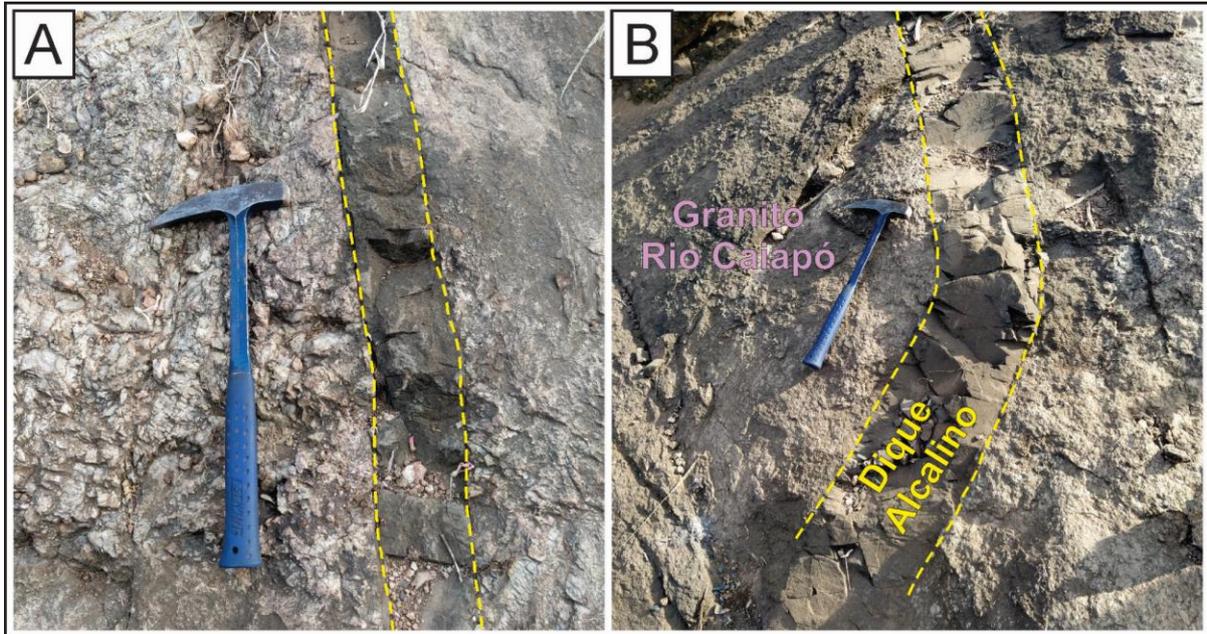


Figura 6.42: A e B - Dique alcalino que corta o Granito Rio Caiapó. Próximo ao dique, em contato com o granito porfírico, há uma zona de granulação fina, classificada como zona de fenitização.

7. Geologia Estrutural

A área do Projeto Arenópolis está inserida no contexto tectônico do Orógeno Brasília, no domínio sul do Arco Magmático Goiás, também chamado de Arco de Arenópolis, cuja estruturação ocorreu durante a orogênese Brasileira em um sistema deformacional compressivo (Trompette, 1994). A evolução do Orógeno Brasília é marcada pelo fechamento oceânico, seguido por uma colisão continental, contendo evidências da formação de arcos de ilha, arcos continentais e orógeno continental (Almeida et al. 1977, Pimentel et al. 2016).

Esse contexto é refletido na área de estudo a partir de lineamentos estruturais, falhas e zonas de cisalhamento que delimitam os contatos entre as unidades geológicas mapeadas. Durante a etapa de campo, foram adquiridos dados de foliação (S_n), lineações de estiramento mineral (L_n), falhas e fraturas, além de feições indicativas de zonas de cisalhamento.

A Figura 7.1 mostra o Mapa Estrutural do Projeto Arenópolis, no qual pode-se visualizar os diferentes domínios estruturais.

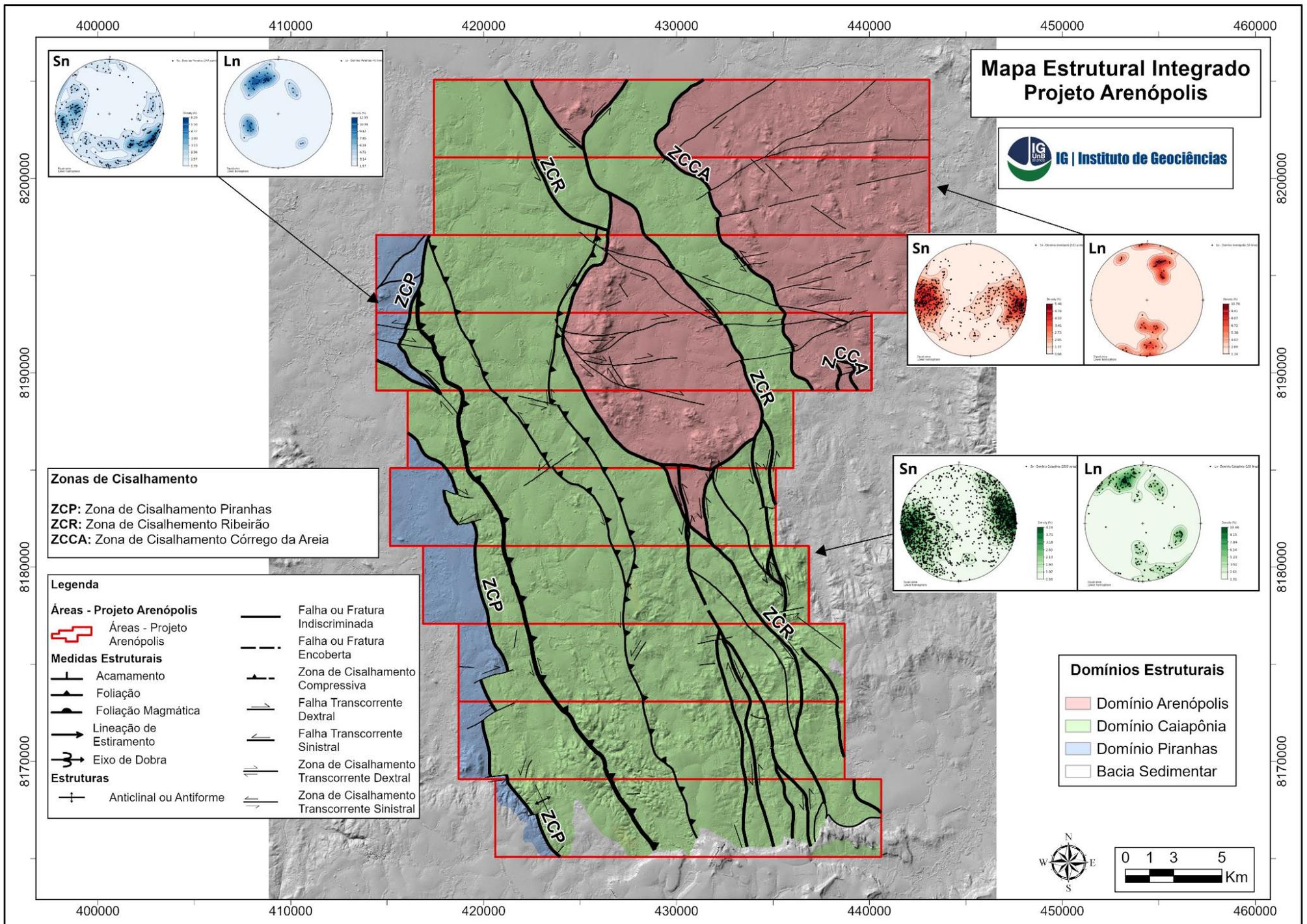


Figura 7.1: Mapa Estrutural Integrado do Projeto Arenópolis.

7.1. Domínios Estruturais

Foram discriminados três domínios estruturais na área do Projeto Arenópolis e na Área III, os quais foram denominados: Domínio Arenópolis, Domínio Caiapônia e Domínio Piranhas. Tais domínios foram individualizados com base em dados estruturais coletados em campo e posterior correlação entre as estruturas e suas respectivas tendências e estilos deformacionais. A interpretação de dados geofísicos e a partir de sensores remotos também foi levada em consideração para a delimitação dos domínios. Vale ressaltar que na área do Projeto Arenópolis há a ocorrência de rochas sedimentares da bacia do Paraná que não foram consideradas para o mapa de domínios estruturais.

Domínio Arenópolis

O domínio Arenópolis é composto pelas unidades Granito Rio Caiapó e Granito Serra do Iran, além de rochas calcissilicáticas da unidade Ribeirão Santo Antônio. Na unidade Granito Serra do Iran, o domínio Arenópolis apresenta-se na forma de um sigmóide de escala regional e cinemática sinistral, delimitado pela Zona de Cisalhamento Ribeirão. Neste contexto, nas zonas de sombra de pressão foram descritas rochas calcissilicáticas, bem como nas proximidades da zona de cisalhamento foram encontradas foliações miloníticas e granitos com aspecto brechado, caracterizados pela presença de epidoto e feldspato potássico. Na unidade Granito Rio Caiapó, foram observadas foliações miloníticas nas proximidades da Zona de Cisalhamento Córrego da Areia, porém também foram descritas zonas de cisalhamento de menor ordem em regiões mais internas do plúton, onde também foram verificadas foliações de fluxo magmático.

Desta forma, as foliações do domínio Arenópolis apresentam uma tendência N-S, com mergulhos de predominância de médio-alto ângulo até subverticais. As lineações foram classificadas como lineação de estiramento mineral, medidas principalmente nas proximidades de zonas de cisalhamento, e portanto apresentam direção N-S e baixo ângulo, em torno de 10°. Entende-se que as medidas de foliação com alto mergulho estão associadas à proximidade com as zonas de cisalhamento, as quais estão relacionadas com as medidas de lineação praticamente paralelas à orientação da foliação.

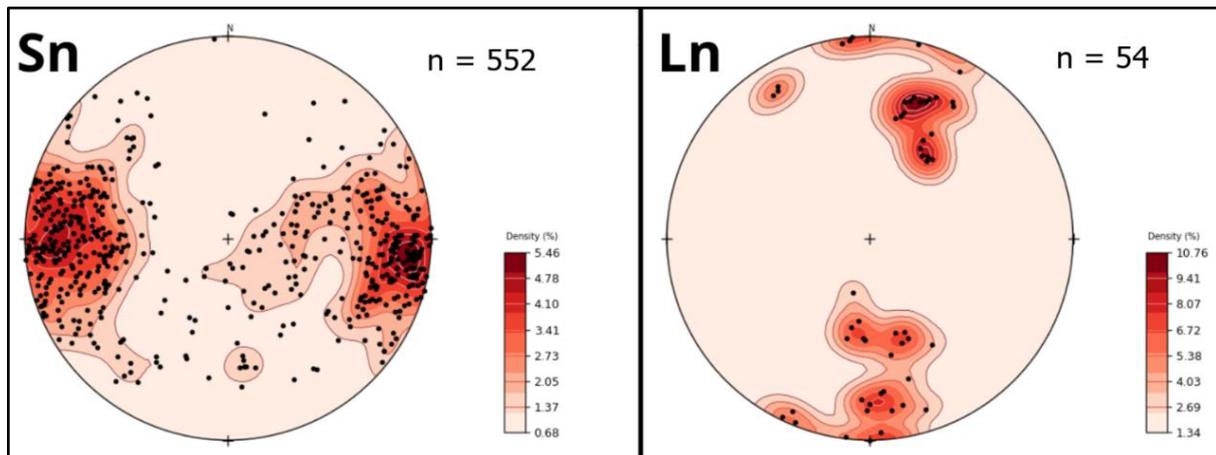


Figura 7.2: Estereogramas referentes ao domínio estrutural Arenópolis. (Sn) Contornos de probabilidade relativos aos polos das foliações, destacando a orientação preferencial de direção N-S; e (Ln) Representação das medidas de lineação destacando a principal direção N-S.

Domínio Caiapônia

O domínio Caiapônia engloba as unidades Córrego da Onça e Ribeirão Santo Antônio, que constituem a Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas, na Área III, além das unidades Granito Serra do Tatu, Gnaissé Arenópolis e Gnaissé Ribeirão no restante das área do Projeto Arenópolis. O domínio é caracterizado por uma orientação predominante NW-SE tanto das foliações quanto das lineações, sendo limitado a oeste pela Zona de Cisalhamento Piranhas, no contato com a unidade Granito Ribeirão Água Limpa, onde foram descritas foliações miloníticas em rochas graníticas e rochas, localmente, intensamente deformadas. Já na porção leste, o domínio é limitado pela Zona de Cisalhamento Córrego da Areia, que ocorre no contato entre o Gnaissé Arenópolis e o Granito Rio Caiapó. Ainda, pode-se verificar a presença do Granito Serra do Iran inserido na porção central do domínio Caiapônia, sendo limitado pela Zona de Cisalhamento Ribeirão, que circunda o domínio Arenópolis.

Ressaltam-se duas regiões do domínio com características distintas. No extremo sul, as medidas de foliação não apresentam uma orientação preferencial bem definida, destacando alguns pontos com direção W-E nas proximidades com as coberturas sedimentares da Bacia do Paraná. Outra região de destaque do domínio está localizada na porção oeste, próximo ao Domínio Piranhas. Nessa área, as medidas de foliação exibem uma orientação NW-SE, bem como alto ângulo de mergulho e lineação com mesma direção, porém, caimentos suaves. Essa forte estruturação está relacionada com a Zona de Cisalhamento Piranhas.

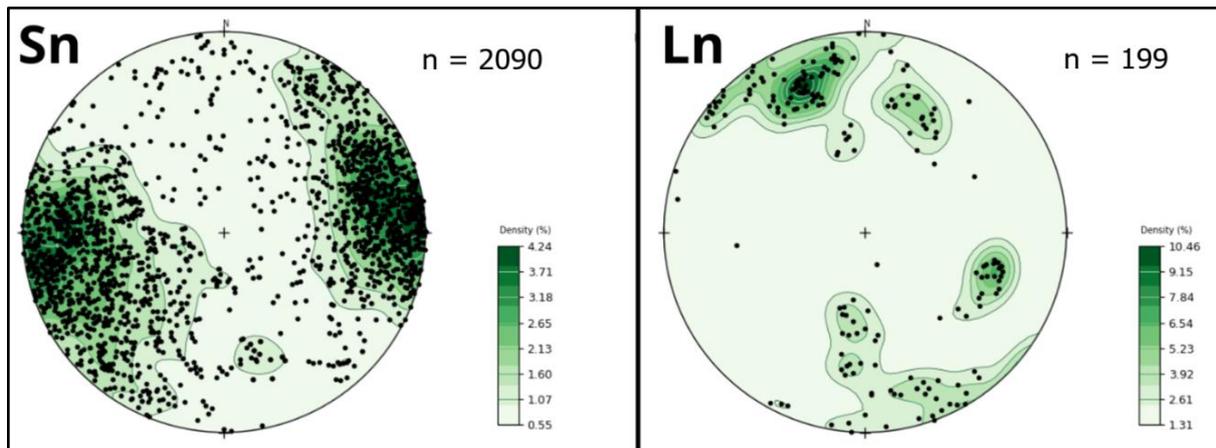


Figura 7.3: Estereogramas referentes ao domínio estrutural Caiapônia. (Sn) Contornos de probabilidade relativos aos polos das foliações, destacando a orientação preferencial de direção NW-SE; e (Ln) Representação das medidas de lineação destacando a principal direção NW-SE e baixo caimento.

Domínio Piranhas

O domínio Piranhas corresponde a unidade Ribeirão Água Limpa, que é limitada a leste pela Zona de Cisalhamento Piranhas (ZCP). Neste contexto, foram observadas foliações miloníticas, as quais apresentam orientação que varia entre NE-SW, na porção norte das áreas, e NW-SE, nas porções sul, o que acompanha o padrão anastomosado das zonas de cisalhamento. Na região da Área III, foi possível observar um padrão S-C regional da ZCP, que possui cinemática principal sinistral, mas que pode ser dextral, para acomodar a deformação. As lineações também apresentam orientação NE-SW e NW-SE, com mergulho baixo a subhorizontal, o que é coerente com a presença das zonas de cisalhamento.

Conforme interpretado em Lineamentos Morfoestruturais (Figura 4.7), há uma tendência NE-SW no Domínio Piranhas, refletido, principalmente, por algumas medidas de lineação. Considerando a Figura 2.2, nota-se uma proximidade com o Lineamento Transbrasiliano à noroeste das áreas do Projeto Arenópolis. Dessa forma, correlacionado aos produtos disponíveis, interpreta-se que essa componente NE-SW possa ser uma influência do LTB.

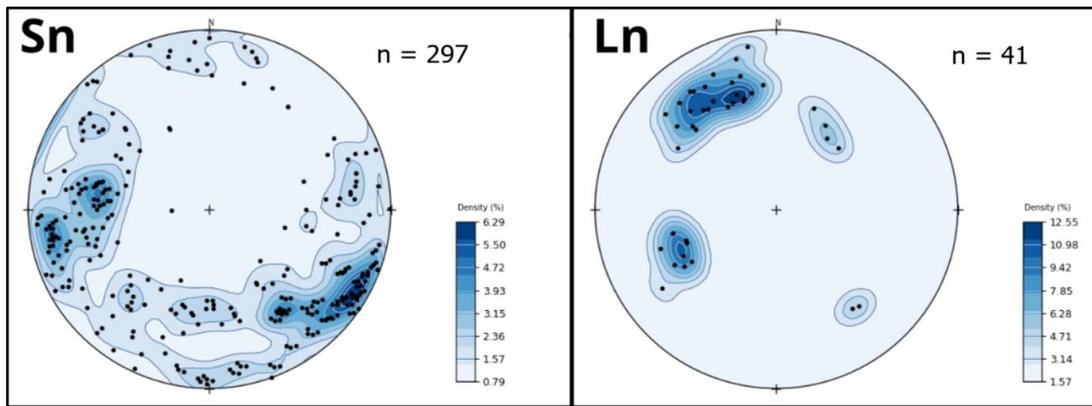


Figura 7.4: Estereogramas referentes ao domínio estrutural Caiapônia. (Sn) Contornos de probabilidade relativos aos polos das foliações, sem uma orientação preferencial bem definida devido a contribuição dos pontos ao norte da área; e (Ln) Representação das medidas de lineação destacando a principal direção NW-SE e médio caimento.

7.2. Arcabouço Estrutural Dúctil

A foliação (Sn) se apresenta como a principal estrutura planar na área (Figura 7.5-A), impressa em todas as unidades do Projeto Arenópolis, exceto nas rochas associadas à intrusão alcalina e às rochas sedimentares da Bacia do Paraná. No geral, as foliações apresentam um mergulho sub-vertical e uma orientação preferencialmente NW-SE.

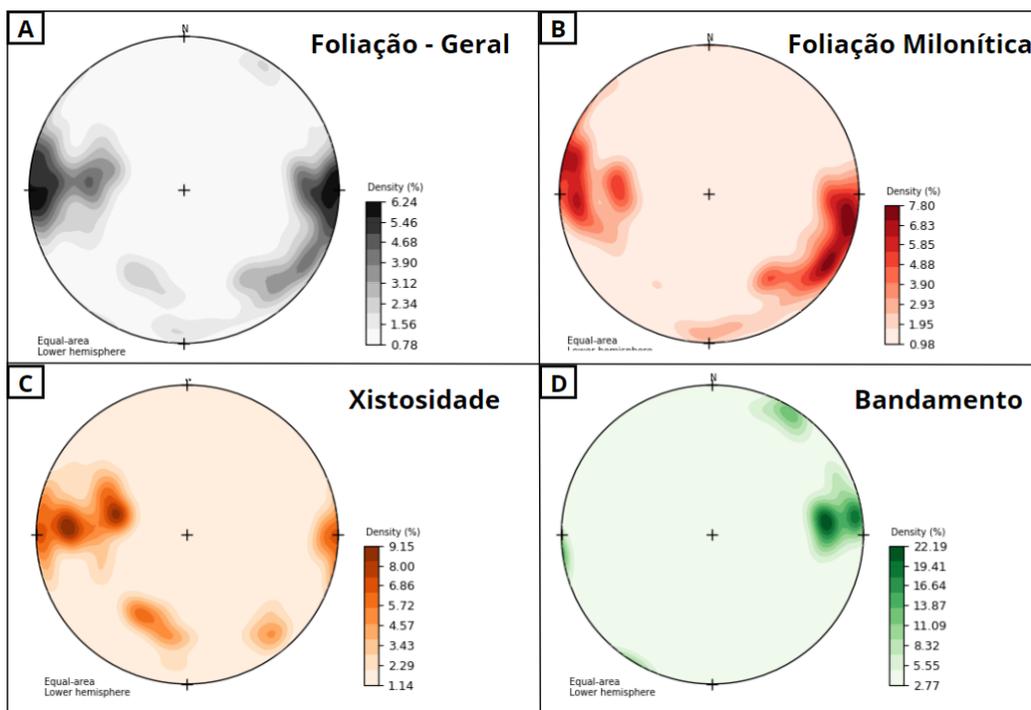


Figura 7.5: Estereogramas referentes às medidas de diferentes foliações caracterizadas em cada unidade. A - Estereograma geral da Área III. B - Estereograma de foliações miloníticas. C - Estereograma de foliações do tipo xistosidade. D - Estereograma de foliações tipo bandamento composicional.

Na Área III, foram observados três tipos de foliação, que se desenvolvem como xistosidade, bandamento gnáissico e foliação milonítica associadas, respectivamente, à Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas, Gnaissé Arenópolis e às intrusões graníticas representadas pelo Granito Serra do Iran e Rio Caiapó.

Rochas identificadas com foliação milonítica, estão localizadas preferencialmente nas proximidades de zonas de cisalhamento, sendo identificadas tanto em granitos como em rochas ultramáficas da Unidade Córrego Santo Antônio. Nas ultramáficas, foram observados anfibólios estirados e deformados, enquanto os granitos apresentam uma trama formada por uma matriz de minerais recristalizados, como quartzo e biotita, envolvendo porfiroclastos de feldspatos (Figura 7.6-A).

A foliação definida como xistosidade foi observada nas rochas da Sequência Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas. Essa feição é marcada por uma estrutura penetrativa e com orientação preferencial de filossilicatos em textura lepidoblástica identificados na unidade como muscovita e clorita. Em alguns pontos, foi observada cianita em textura nematoblástica e orientada conforme a trama geral da rocha.

Na unidade Gnaissé Arenópolis, foi observada outro tipo de foliação, a qual é demarcada por bandamento gnáissico milimétrico a centimétrico e localmente por foliação milonítica. O bandamento é marcado por uma segregação dos minerais máficos e félsicos, gerada por processos metamórficos. As bandas máficas são compostas predominantemente por hornblenda, enquanto que as bandas félsicas compreendem grãos de plagioclásio e quartzo. A foliação milonítica foi definida na Área III próxima ao contato com o Granito Serra do Iran, sendo caracterizada por lamelas de biotita contornando porfiroclastos de feldspatos, por vezes rotacionados, com formato sigmoidal e cinemática sinistral. As lamelas de mica apresentam uma granulação fina, em torno de 0,3 mm, enquanto que os porfiroclastos de plagioclásio atingem granulação média, com tamanho entre 0,8 e 1,2 mm.

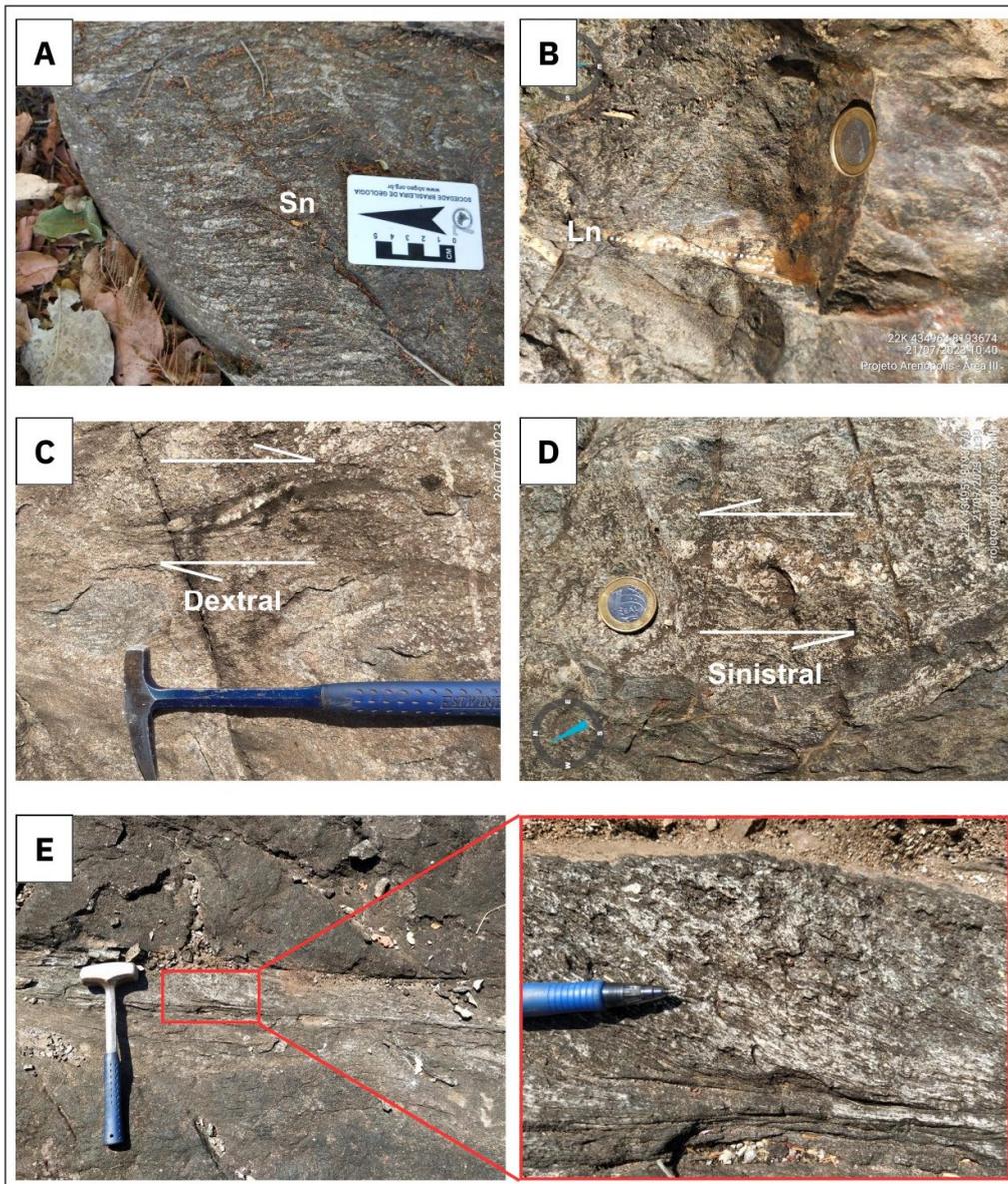


Figura 7.6: A - Representação da trama dúctil (foliação milonítica) no Gnaiss Arenópolis. B - Lineação de estiramento mineral em quartzo com orientação NW-SE. C - Sigmóide de quartzo com cinemática dextral. D - Sigmóide de feldspato com cinemática sinistral. E - Zona de cisalhamento em escala de afloramento.

Foram identificadas lineações no Gnaiss Arenópolis e Granito Rio Caiapó (Figura 7.7). O estereograma de lineações de todas as medidas da Área III mostra um sentido predominantemente NW-SE, com caimento variando em 4° e 32°. Nas rochas graníticas, a lineação é de estiramento mineral em feldspato potássico e, por vezes, em plagioclásio. Já nos ortognaisses tonalíticos do Gnaiss Arenópolis, o estiramento é restrito aos cristais de plagioclásio.

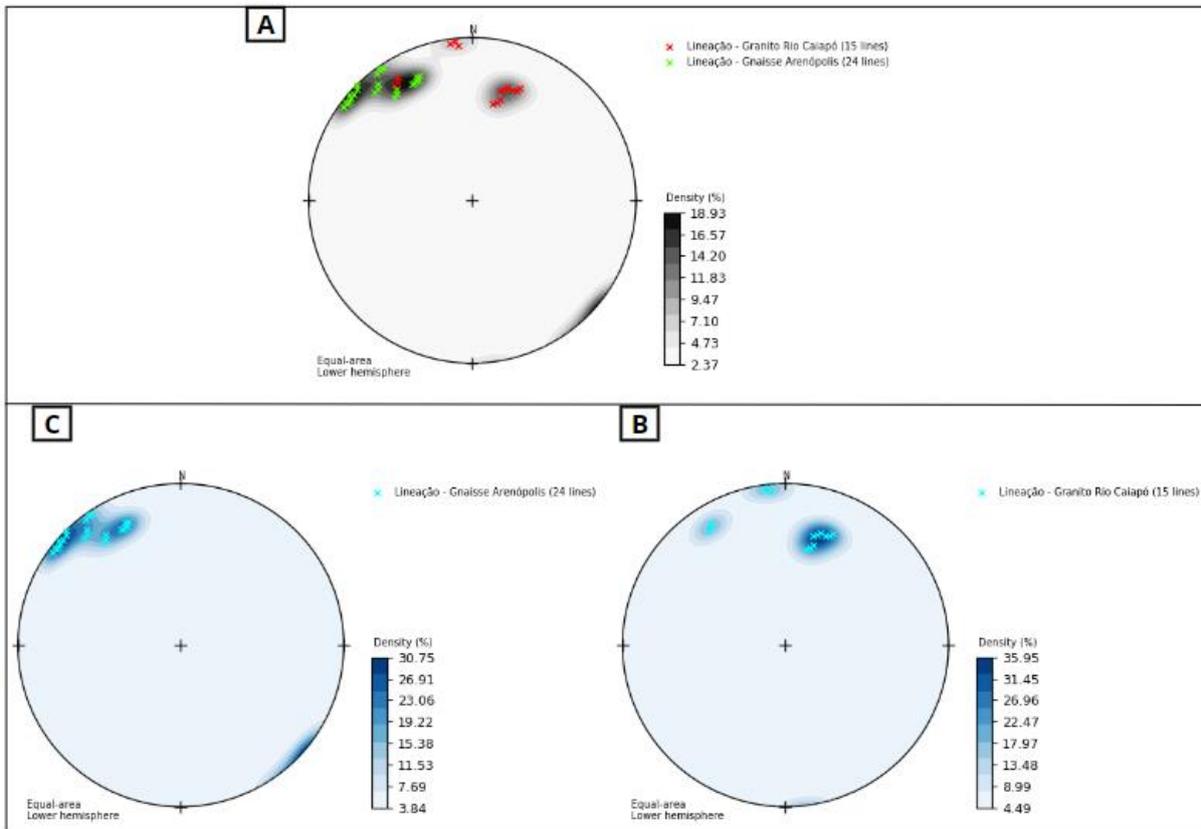


Figura 7.7: A - Estereograma com todas as medidas de lineação da Área III. B - Estereograma com as medidas de lineação extraídas no Gnaiss Arenópolis na Área III. C - Estereograma com as medidas de lineação extraídas no Granito Rio Caiapó na Área III.

7.3. Arcabouço Estrutural Rúptil

A Figura 7.8 mostra a tendência geral das estruturas rúpteis da Área III, como falhas e fraturas. Desta forma, podemos perceber que, de forma geral, a área apresenta duas direções preferenciais de fraturas subverticais. A primeira é NNE-SSW, enquanto a segunda é ENE-WSW. Há uma terceira tendência de fraturas, com direção preferencial NW-SE, considerada uma família subordinada ao sistema de par conjugado principal (Figura 7.9-A e B).

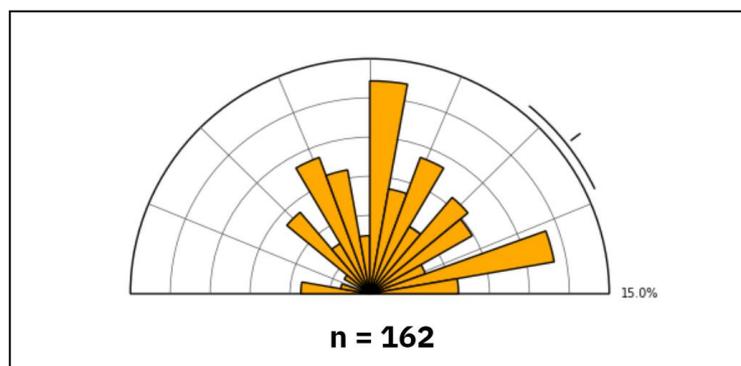


Figura 7.8: Diagrama de roseta com todas as medidas de fratura da Área III.

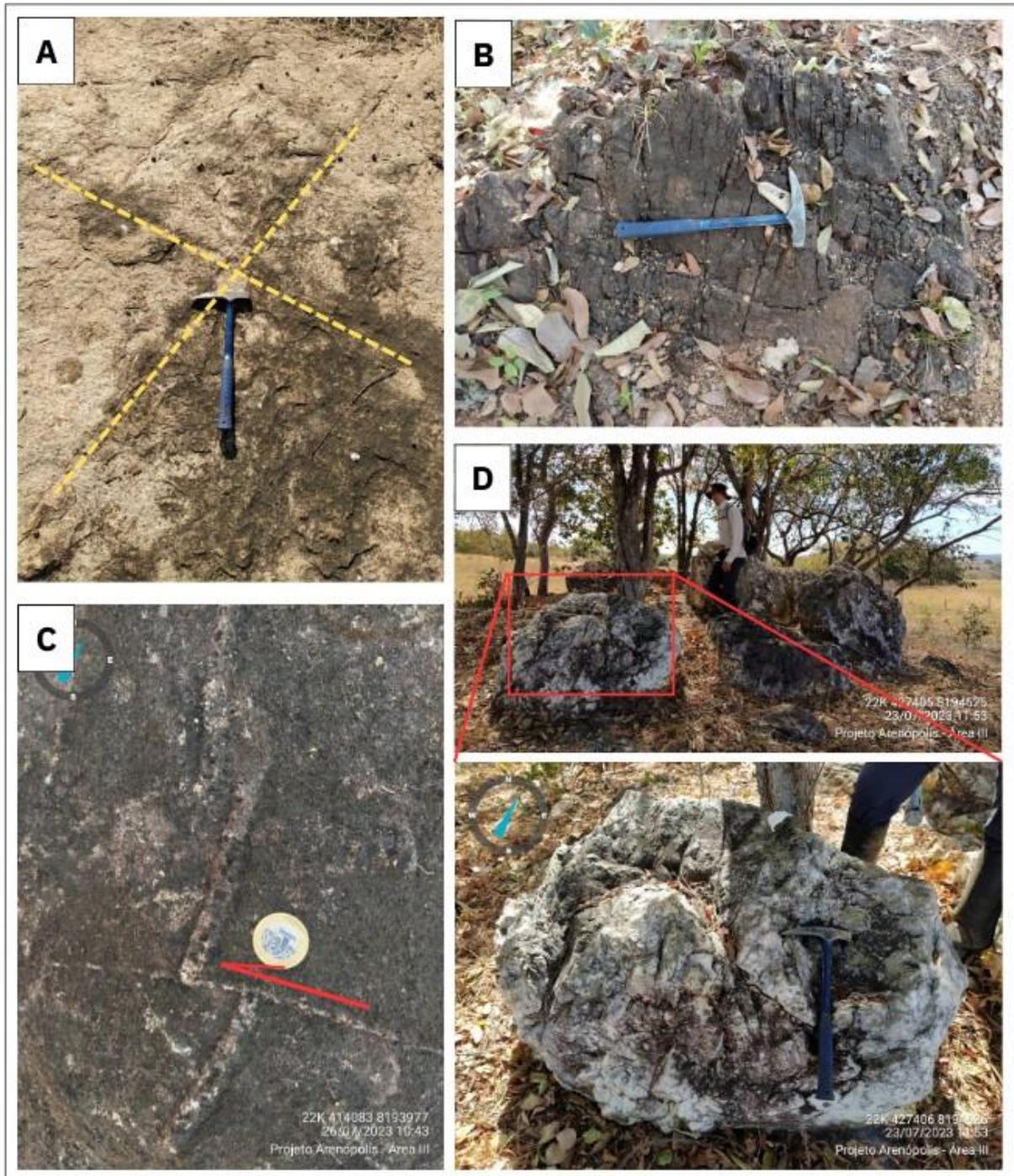


Figura 7.9: A e B - Representação geral das fraturas em pares conjugados da Área III. C - Falha centimétrica com movimento sinistral. D - Blocos de quartzo associados a zonas de falha no Granito Serra do Iran.

Na porção central da área, associado ao Granito Serra do Iran, ocorrem afloramentos de blocos de quartzo (Figura 7.9-D), que podem estar associados a veios ou zonas de falha, uma vez que a sílica se precipita a partir dos fluidos que aproveitam os planos de fraqueza da rocha. Além disso, a ocorrência de sienogranitos de granulação fina e textura cataclástica, em conjunto com feições geomorfológicas,

permitiram a delimitação de falhas transcorrentes com cinemática dextral. Tais falhas causaram o deslocamento da fácies sienogranito grosso do Granito Serra do Iran, fortemente relacionado com a Serra da Margarida. O deslocamento é conferido através de medidas de foliação com direção aproximadamente W-E.

Ocorrem estruturas classificadas como fraturas que ocorrem como pares conjugados. Em alguns afloramentos, foram observadas juntas com deslocamento milimétrico e preenchimento de quartzo e, por vezes, epidoto. No mapa da área, foram traçadas fraturas, principalmente na região do Granito Rio Caiapó, com auxílio de produtos de sensoriamento remoto (Figura 7.10).

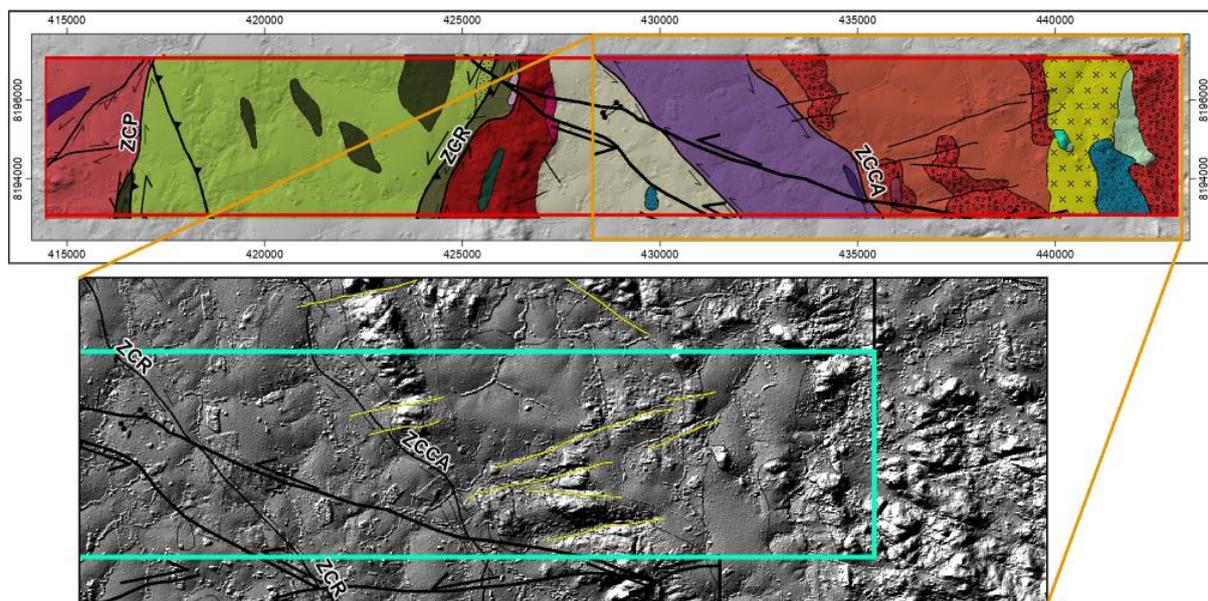


Figura 7.10: Utilização do Modelo Digital de Elevação ALOS PALSAR para a extração de fraturas..

7.4. Microestruturas

Na Área III, foi coletada amostra *in situ* e orientada na Zona de Cisalhamento Córrego da Areia, cuja orientação é NW-SE e representa o contato tectônico entre as unidades Gnaiss Arenópolis e Granito Rio Caiapó. Em lâmina (Figura 7.11), sua textura é predominantemente granoblástica, definida pelos cristais recristalizados de quartzo (Figura 7.11-A). O quartzo se apresenta principalmente como agregados policristalinos com contatos retos e constantemente como *ribbons* orientados segundo a foliação (Figura 7.11-B). Também é comum encontrá-los fraturados, principalmente nos cristais de granulação mais grossa, porém, sem material preenchendo as fraturas. Outra textura presente é a lepidoblástica, definida pelos cristais lamelares de biotita e muscovita. Os porfiroclastos de feldspato (plagioclásio e KF) encontram-se parcial ou totalmente intemperizados, com a formação de sericita.

Alguns exemplos de porfiroclastos de plagioclásio aparentam estar rotacionados (Figura 7.11-C), com uma matriz fina composta por lamelas de biotita amoldando os porfiroclastos. Já os grãos de quartzo presentes na lâmina variam de tamanho devido à presença tanto na matriz fina, como em agregados policristalinos. Os cristais da matriz apresentam granulação que varia de fina a densa (~0,1mm), enquanto os agregados policristalinos apresentam tamanho de até 1 mm. Os indicadores cinemáticos, que correspondem aos agregados rotacionados, indicam um movimento sinistral, da mesma forma que foi classificado em critério de campo.

O quartzo é observado em agregados recristalizados policristalinos, por vezes com contatos tríplexes retilíneos. Os agregados recristalizados de quartzo apresentam mecanismos de deformação predominantes do tipo rotação de subgrão e localmente do tipo migração de borda, sendo ambos constantemente ao redor dos porfiroclastos de feldspato. De maneira geral, os grãos de quartzo apresentam extinção ondulante e raramente fraturas, indicando um predomínio da recristalização dinâmica.

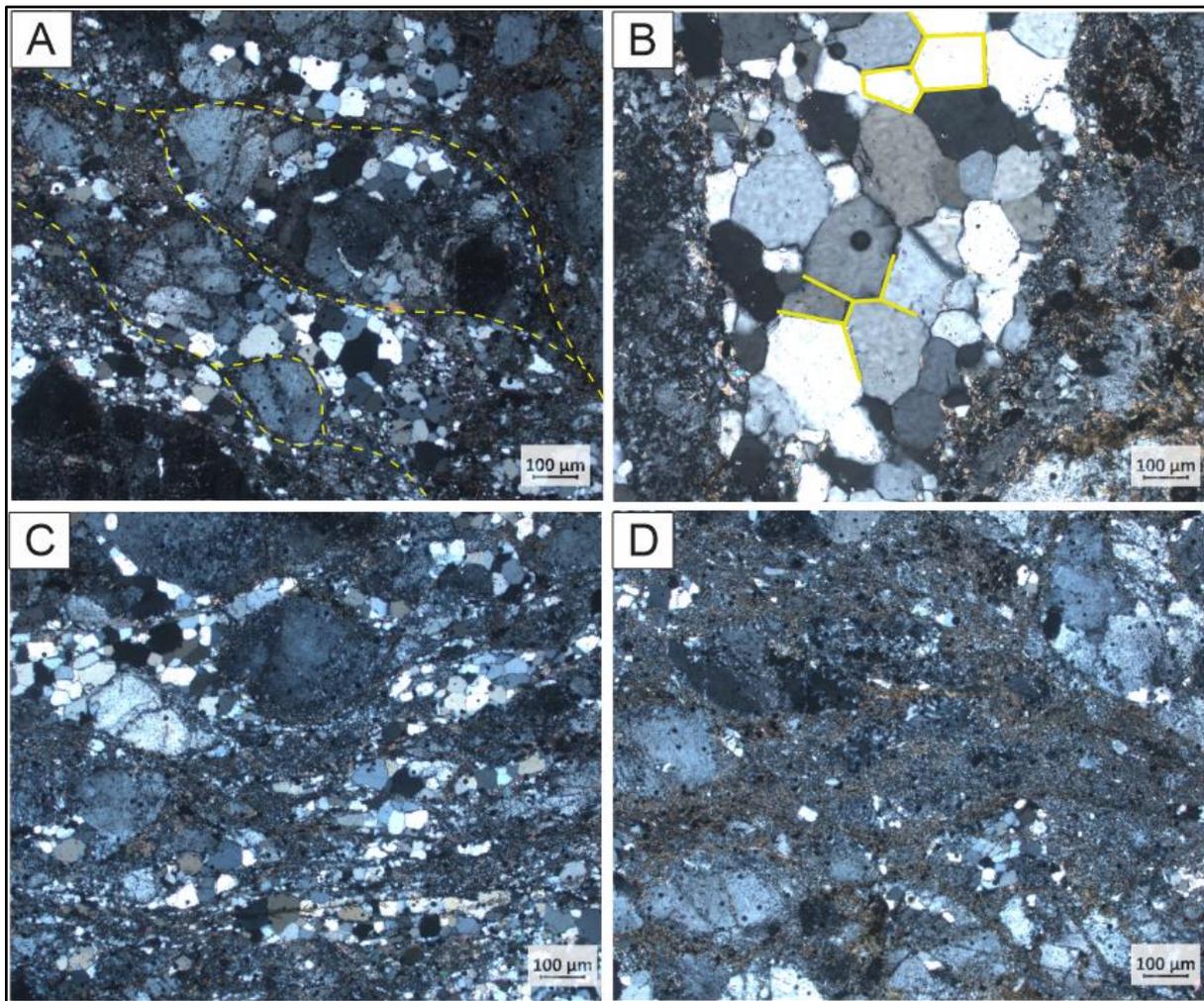


Figura 7.11: A - Fotomicrografia em nicóis cruzados destacando a textura principal da rocha, com grãos recristalizados de quartzo (0,1 - 0,8 mm) e alguns porfiroclastos de feldspato (~1,2 mm). B - Fotomicrografia em nicóis cruzados destacando a textura granoblástica de grãos de quartzo (~1 mm) com contatos retos e agregados policristalinos. C - Fotomicrografia em nicóis cruzados destacando porfiroclastos de feldspato rotacionados amoldados por *ribbons* de quartzo e matriz fina recristalizada. D - Fotomicrografia em nicóis cruzados destacando a matriz fina recristalizada composta predominantemente por biotita.

8. Geologia Econômica

Na área do Projeto Arenópolis, já se desenvolveram uma série de atividades de exploração mineral, garimpo e mineração, sendo que, atualmente, destaca-se a lavra de mármore para uso como agregados e corretivo de solos para agricultura, gerenciado pela *Mineração de Calcário Montividiu Ltda.* Além disso, próximo à área do projeto, há outras atividades extrativas relacionadas à construção civil e rochas ornamentais para revestimento. Dentre elas, destaca-se as atividades extrativas de argila, areia, cascalho e granitos.

Durante as atividades de mapeamento do Projeto Arenópolis, foram identificadas uma série de indícios que reforçam a potencialidade econômica relacionada à *Minerais e Rochas Industriais* e metalogenética. Do ponto de vista metalogenético, foram identificados importantes vetores prospectivos para sistema de Cu-Au Pórfiro com *skarns* associados e sistema aurífero orogênico. Tais sistemas são documentados e investigados com maior detalhe no Segmento Mara Rosa do Arco Magmático Goiás e, conforme os resultados do Projeto Arenópolis descritos a seguir, há a possibilidade da ocorrência de depósitos similares no Segmento Arenópolis.

8.1. Potencial Metalogenético do Arco Magmático Goiás

De acordo com Mitchell & Garson (1981), zonas envolvidas em colisão de placas litosféricas condizentes com a evolução de ambientes de arcos magmáticos contêm mais depósitos minerais por unidade de área do que rochas geradas em qualquer outro ambiente tectônico. O Projeto Arenópolis está envolvido no contexto de evolução do Arco Magmático Goiás, o qual, de acordo com Oliveira *et al.* (2000), hospeda vários depósitos de ouro e cobre-ouro, que se originaram durante várias etapas da evolução tectônica, magmática e metamórfica deste Arco neoproterozoico, entre aproximadamente 0,9 e 0,6 Ga.

A natureza desses depósitos, sua distribuição espacial e a origem da mineralização estão de acordo com o modelo que envolve a evolução contínua de uma faixa colisional, exibindo, também, algumas das características dos depósitos de ouro orogênico (Figura 8.1). No Segmento Mara Rosa, o Depósito Au-Ag-Ba de Zacarias originou-se por processos vulcânicos-exalativos em um ambiente de subducção interoceânica, enquanto o Depósito Cu-Au de Chapada (mineralização do tipo pórfiro de cobre) está relacionado a rochas plutônicas também associadas a um arco intraoceânico. O Depósito Au de Posse foi formado durante a fase sin-colisional,

pouco depois do pico metamórfico da Orogenia Brasileira (aproximadamente 630 Ma)(Oliveira *et al.* 2000).

No Arco Arenópolis, onde está inserido o Projeto Arenópolis, destaca-se o depósito de ouro de Fazenda Nova, com um recurso inferido de 650 mil onças a 4,0 g/t Au, relacionado a um contexto do tipo *intrusion related* (Marques *et al.* 2019). Segundo Marques *et al.* (2019), a mineralização se desenvolveu em um ambiente tectônico pós-colisional acima de um manto litosférico subcontinental previamente metassomatizado.

Há também o depósito de cobre de Bom Jardim de Goiás, o qual está inserido na margem ocidental do Arco Arenópolis. As rochas hospedeiras compreendem uma sequência vulcanossedimentar de composição intermediária a ácida, interpretada como tufos de cristal e cinzas. Os tufos representam vulcanismo cálcio-alcálico de composição riodacítica a dacítica, com características litogeoquímicas e composição de biotita típicas de magmas provenientes de arcos intraoceânicos. Esse contexto revela uma importante produção de magma cálcio-alcálico em um cenário de arco vulcânico por volta de 750 Ma, geneticamente relacionada à mineralização de cobre, e a geração de um magmatismo pós-colisional não mineralizado em 540 Ma (Guimarães *et al.* 2012).

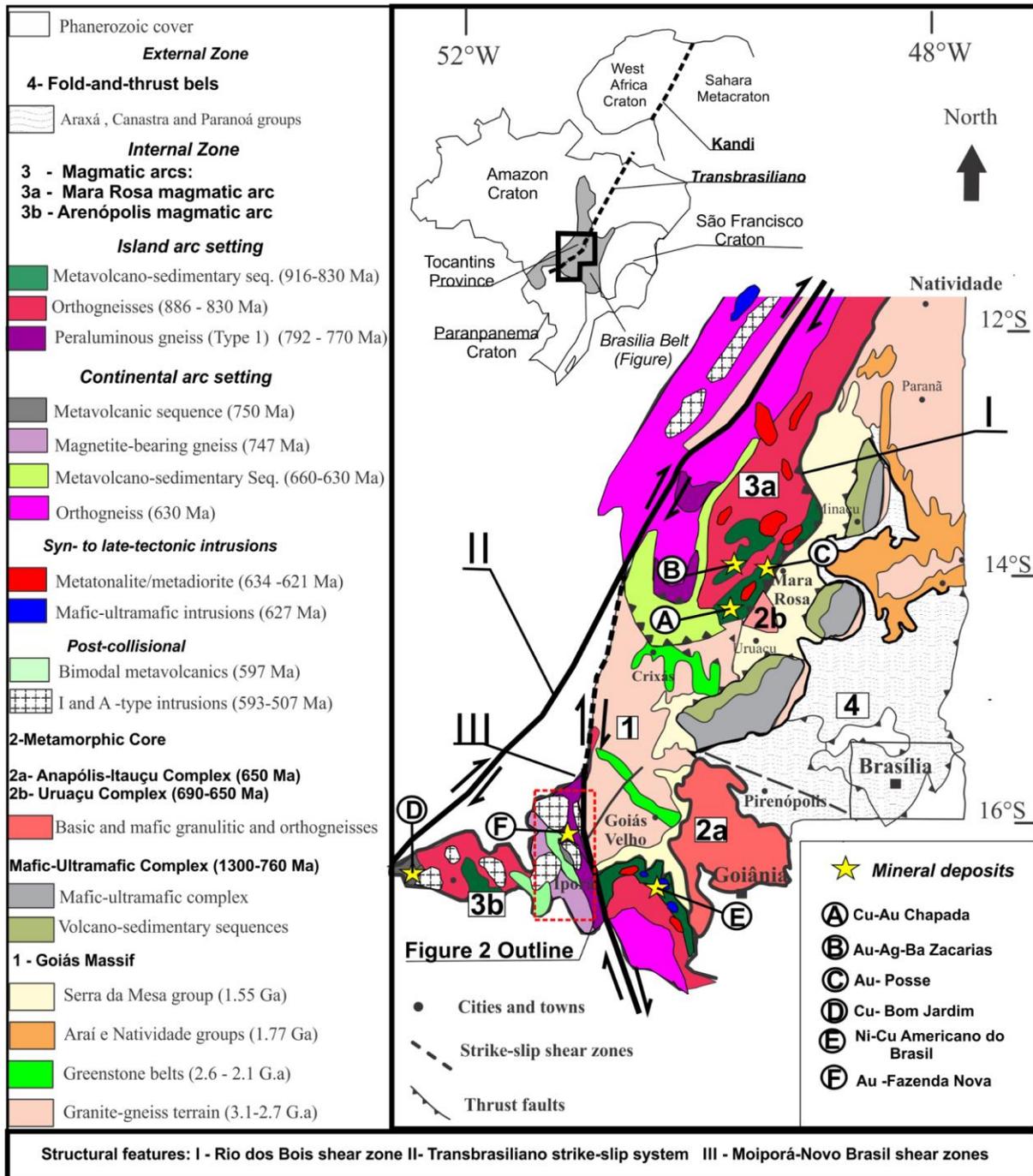


Figura 8.1: Mapa geológico esquemático do Orógeno Brasília com os principais depósitos minerais do Arco Magmático Goiás (extraído de Marques et al. 2019, modificado de Fuck et al. 1994; Dardenne, 2000).

8.2. Potencial Econômico do Projeto Arenópolis

Com base no potencial metalogenético do Arco Magmático 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 8.2 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 sulfetos associadas principalmente às unidades Gnaisse 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. 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.

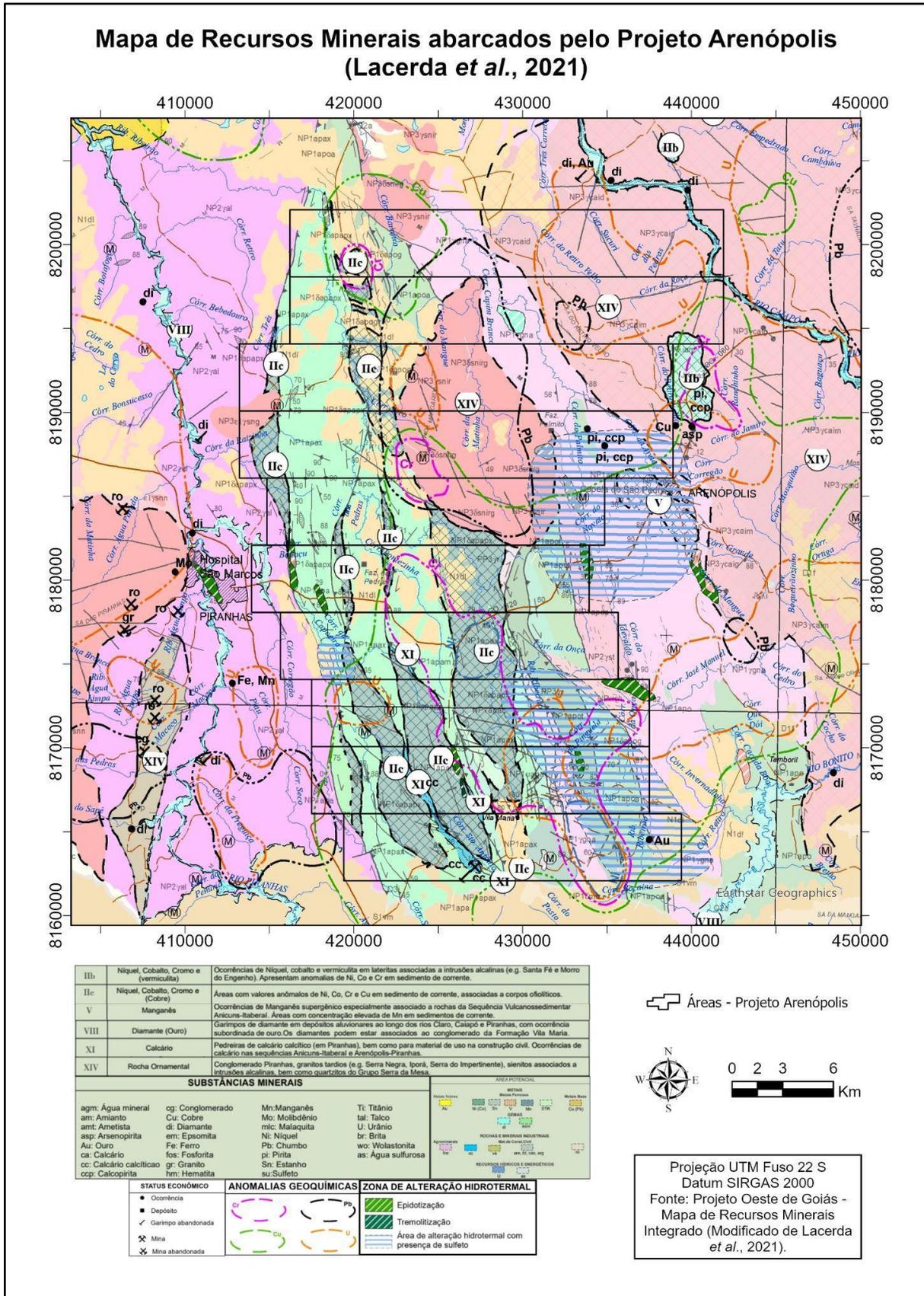


Figura 8.2: Mapa de Recursos Minerais do Projeto Oeste de Goiás, com destaque para a área de estudo do Projeto Arenópolis. Modificado de Lacerda et al. (2021).

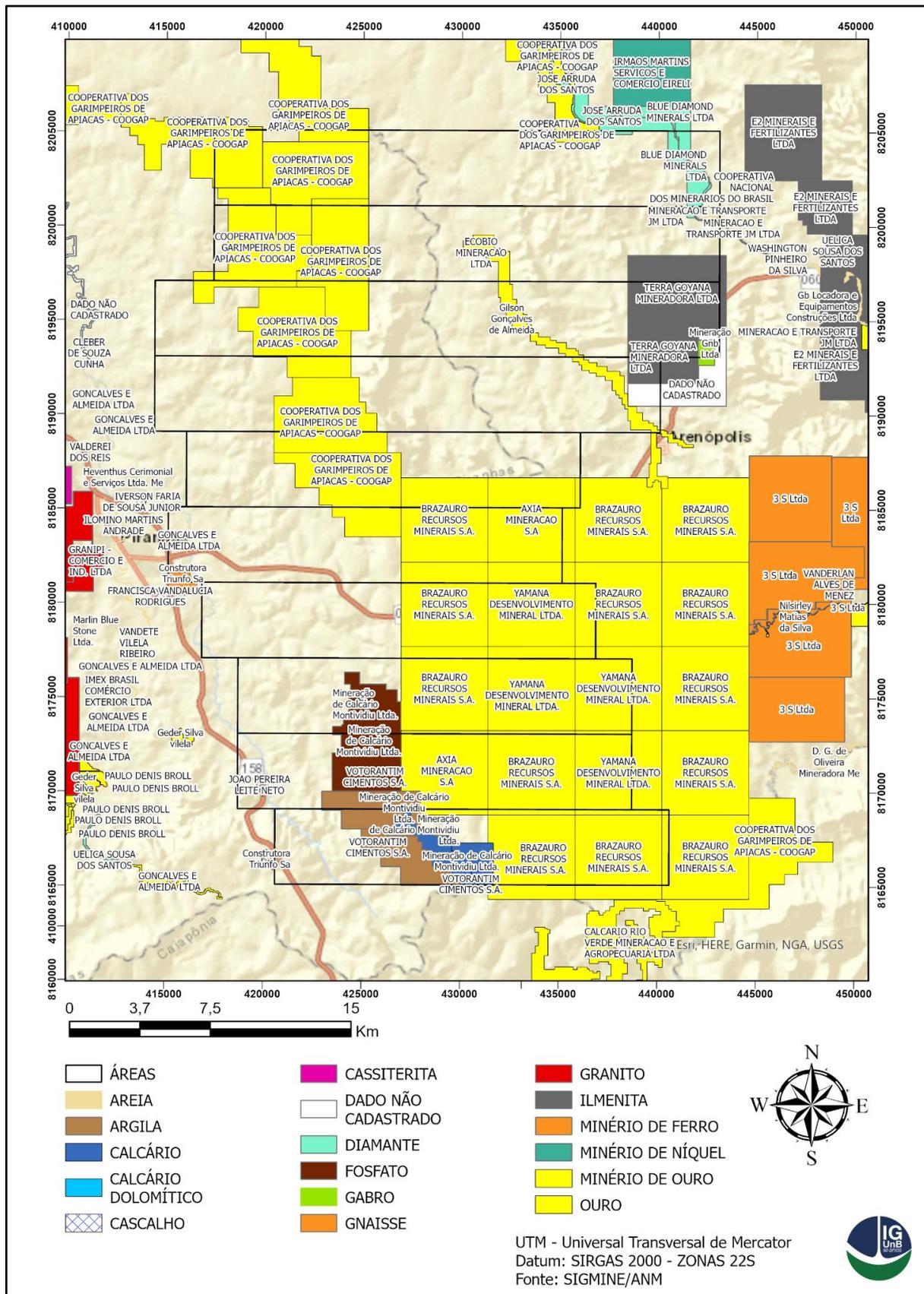


Figura 8.3: Mapa de processos minerários por substância na área do Projeto Arenópolis (Fonte: SIGMINE/ANM, Novembro/2023).

O conceito de sistema mineral compreende os processos acerca da mineralização 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.

8.2.1. Sistemas Magmático-Hidrotermais

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 granitos em rochas carbonáticas. É comum a associação de *skarns* com depósitos do tipo pórfiro, e relacionando isso ao contexto do Projeto Arenópolis, nota-se o potencial desse sistema associado ao alojamento do Granito Serra do Iran.

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, calcita e ocasionalmente, granada. 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 eventualmente representar vetores prospectivos para a região mineralizada.

8.2.2. Sistemas Hidrotermais

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 anfibolito, 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 que, em produtos geofísicos, apresentam continuidade em profundidade. Assim, a ocorrência de veios de quartzo conectados a essas estruturas podem constituir 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 da Onça 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, 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.

8.2.3. Sistema associado ao magmatismo alcalino

O Complexo Alcalino 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 8.3) 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 (pirita, pirrotita e calcopirita).

8.2.4. 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 como rocha ornamental, 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 8.1).

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 unidades 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 cristaloquímicas.

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.

Acerca 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.

8.3. Potencial Metalogenético da Área III

Na Área III, foram identificadas evidências que podem representar vetores para depósitos minerais associados a sistemas auríferos orogênicos e sistemas cobre-pórfiro. Além disso, também foram observadas ocorrências de rochas e minerais industriais. As ocorrências relacionadas ao sistema aurífero orogênico foram identificadas próximas à Zona de Cisalhamento Córrego da Areia, a qual representa o contato tectônico entre a unidade Gnaiss Arenópolis e Granito Rio Caiapó. O sistema cobre-pórfiro apresenta um potencial interpretado a partir da ocorrência de *skarns*, e associação de rochas calcissilicáticas na Área III e rochas sulfetadas relacionadas ao Granito Serra do Iran em outras áreas. Destaca-se, também, para fins ornamentais, os Granitos Serra do Iran e Rio Caiapó, e depósitos aluvionares nos córregos Ribeirão e Areia como potencial industrial.

Sistema Aurífero Orogênico

A principal ocorrência do sistema aurífero orogênico é representada pela existência de um garimpo de ouro, hoje abandonado, próximo a Área X do Projeto Arenópolis. A localização do garimpo coincide com o prolongamento da Zona de Cisalhamento Córrego da Areia, e dessa forma, atesta o potencial econômico aurífero local.

Na Área III, há a ocorrência de calcopirita, pirita e magnetita em equilíbrio e disseminados em ortognaisses tonalíticos do Gnaiss Arenópolis (Figura 8.4), localmente milonitizados. Foram encontrados veios de quartzo encaixados ao longo da foliação principal, com evidências de hidrotermalismo através da presença de veios de epidoto sobrepostos por alteração potássica e quartzo próximo a ZC mencionada anteriormente.

Estruturalmente, as rochas associadas ao sistema aurífero apresentam uma foliação com direção NW-SE, com mergulhos de alto ângulo, entre 70° e 80°. Na região do Projeto Arenópolis e da Área III, há evidências de mineralizações auríferas secundárias encontradas nos depósitos aluvionares do Córrego da Areia.

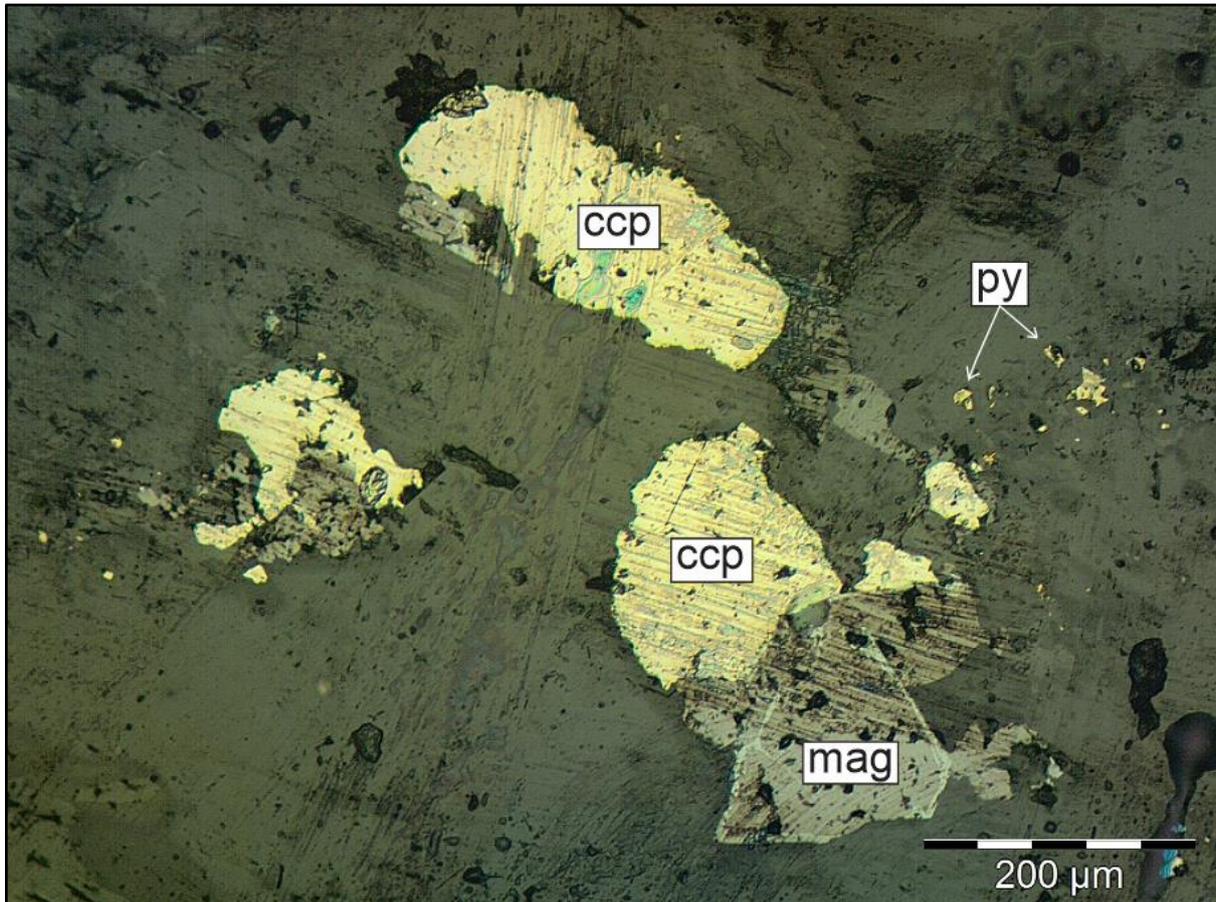


Figura 8.4: (TF23-AIII-P107 - Coordenadas X: 435025,93; Y: 8193694,78) - Fotomicrografia a luz refletida e aumento em 10x. Destaque para a ocorrência de calcopirita, pirita e magnetita de forma disseminada e associados ao sistema aurífero orogênico do Projeto Arenópolis.

Sistema Magmático-Hidrotermal

Interpreta-se a presença do sistema tipo *skarn* na Área III, associado ao alojamento da intrusão do Granito Serra do Iran. Apesar de não ter sido identificada nenhuma fase de sulfetação associada ao sistema na Área III, há a ocorrência de rochas calcissilicáticas na forma de veios centimétricos. Essas rochas associadas à intrusão representam um bom indicador para as mineralizações ligadas a depósitos associados a *skarn* na região. As rochas são compreendidas por uma associação predominantemente composta por granada + diopsídio + anfibólio, representando a porção mais proximal e de metamorfismo de contato isoquímico.

De acordo com Robb (2005), essa associação corresponde ao primeiro estágio de desenvolvimento de *skarns*, e não há ocorrência de sulfetação relacionada. Entretanto, a identificação dessa fase é um bom indicador do potencial metalogenético para Cu, Zn, Pb e W, conforme o modelo adaptado de Forster

(2008)(Figura 8.5). Vale ressaltar que na Figura 8.2 observa-se que foram detectadas anomalias de Cu e Zn nas proximidades da intrusão.

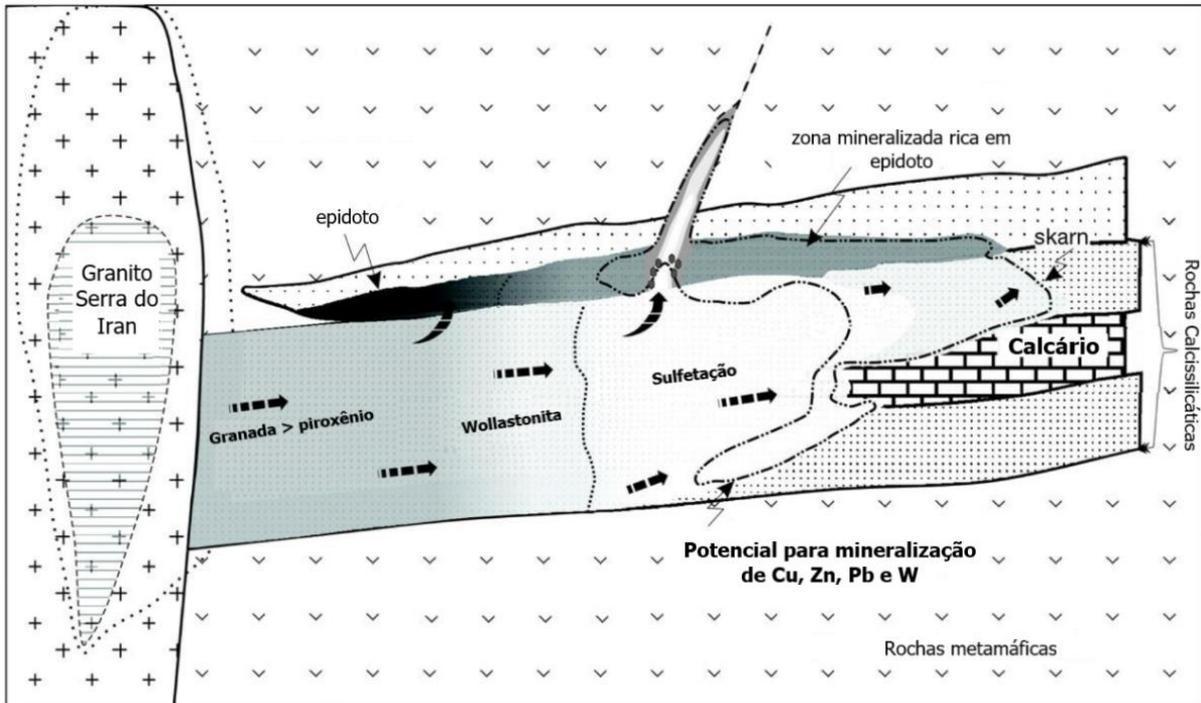


Figura 8.5: Modelo esquemático para a metalogênese associada à intrusão e reação do Granito Serra do Iran com as lentes carbonáticas da Unidade Córrego Santo Antônio para a formação de *skarn*. Modificado de Forster (2008).

Sistema associado ao magmatismo alcalino

O Complexo Alcalino de Arenópolis apresenta o maior potencial metalogenético da Área III. O grau de preservação e exposição das rochas permitiu uma boa identificação das ocorrências minerais da unidade. O complexo é formado clinopiroxenitos a nefelinolitos interpretados como pertencentes a série ijolítica. Em fotomicrografias, foram identificados ilmenita, pirita e magnetita (Figura 8.6). Atualmente, a *Terra Goyana Mineradora Ltda* está com pedido de Lavra em Análise para a substância ilmenita, indicando o potencial para a exploração de titânio nos próximos anos.

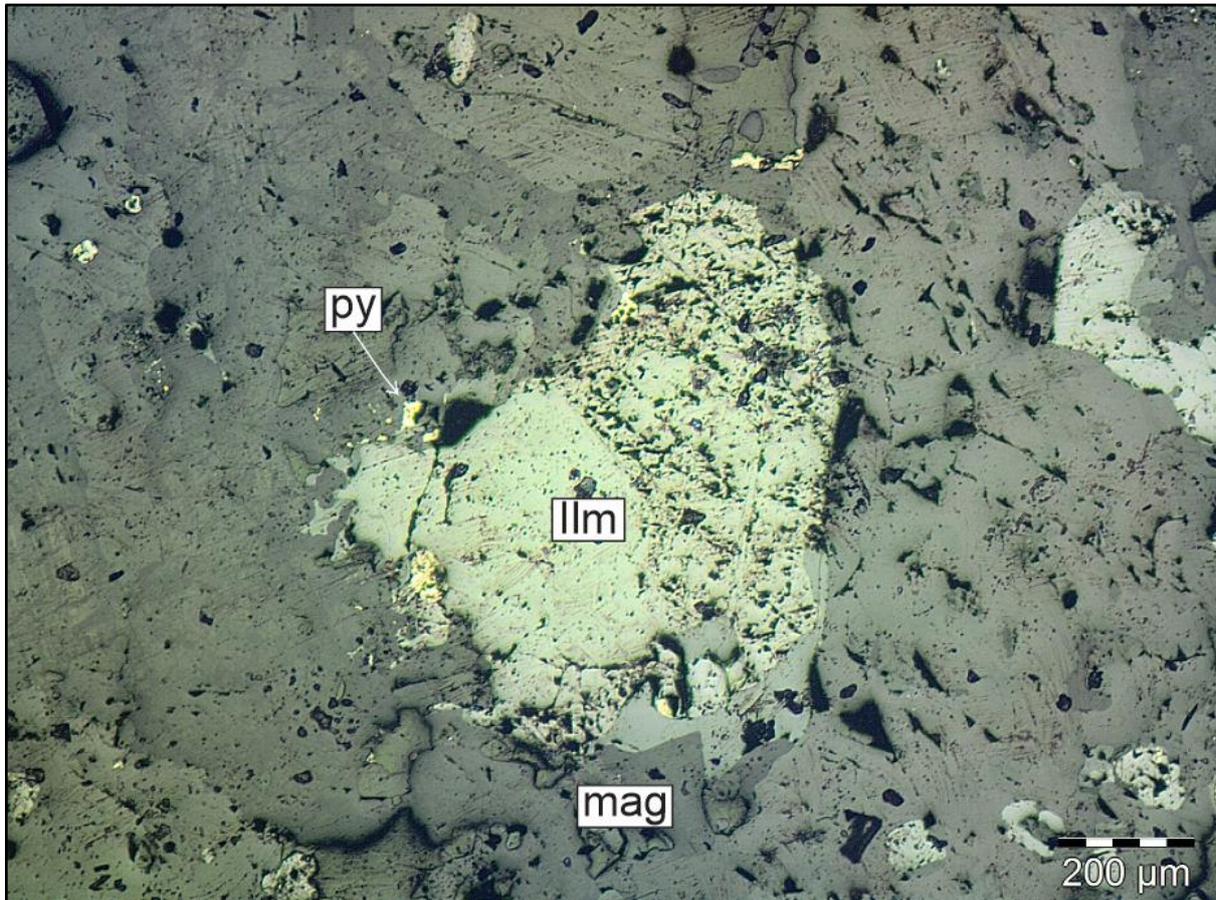


Figura 8.6: (TF23-AIII-P61 - Coordenadas X: 441002,25; Y: 8193113,17) - Fotomicrografia a luz refletida e aumento em 5x. Destaque para a ocorrência de pirita, magnetita e hematita no gabro alcalino em textura granular.

Minerais e Rochas Industriais

Considerando que a cidade de maior influência econômica e social próxima da área do Projeto Arenópolis é Iporá/GO, distante cerca de 90 km, é de extrema importância considerar a relevância dos materiais industriais e dos agregados para construção. Isso é facilitado pela presença de uma boa rede viária, que inclui importantes rodovias estaduais para o escoamento da produção. Dessa forma, considera-se a Área III com potencial para extração de areia e seixos, argila e rochas ornamentais para revestimento.

Na Área III, há vários pontos com potencial para extração de **areia e seixos**. Tais depósitos estão associados aos terraços aluvionares ao longo dos maiores córregos da região, sendo eles o Córrego da Areia e o Córrego Ribeirão. A areia observada nesses córregos apresenta-se bem selecionada, com pouca variação em tamanho de grãos de quartzo.

Na Área III, há alguns pontos potenciais para extração de **argilas**, com acumulações mais expressivas nas margens de drenagens (Córrego Ribeirão), em regiões planas, de baixa declividade que representam várzeas inundadas. As argilas extraídas, principalmente das planícies de inundação dos córregos, podem ser empregadas na produção de cimento *Portland* caso a mineração de calcário Montividiu entre na indústria cimenteira.

Na esfera da Área III, algumas unidades exibem potencial para serem utilizadas como **rochas ornamentais**, incluindo, principalmente, os corpos graníticos das unidades Granito Serra do Iran, Granito Rio Caiapó e Granito Água Limpa. O potencial é justificado pelas fácies porfíricas de granulação média a muito grossa mapeadas nas unidades. Os Granitos Rio Caiapó e Granito Água Limpa apresentam os parâmetros mais promissores para aplicação como rochas ornamentais, com ocorrência de granulação muito grossa e pouca alteração por processos intempéricos nessa fácies. Outra vantagem das unidades são suas extensões, compreendendo corpos graníticos com mais de 20 km de extensão, predominantemente isotrópico e avermelhado, no caso do Granito Rio Caiapó, e milonítico no caso do Granito Água Limpa. A unidade do Granito Serra do Iran também apresenta bons parâmetros, entretanto, compreende uma área menor em relação às outras unidades.

9. Evolução Tectônica do Projeto Arenópolis

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 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 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 9.1) 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.

Tabela 9.1: Estágios de evolução tectônica do Arco Magmático de Arenópolis referente às unidades do Projeto Arenópolis.

Estágio Tectônico	Fase Evolutiva	Evidência	Unidade
Paleoproterozóico (2300-2000 Ma)	Bloco Alóctone	Dados isotópicos Rb-Sr e TDM Sm-Nd.	Gnaiss Ribeirão (1816 ± 110 - Rb-Sr)
Arco Intra-Oceânico Neoproterozóico - Toniano (900-800 Ma)	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 <i>et al.</i> 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-fracionados formados em ambientes pré-colisão de placas com evidência de enriquecimento por subdução (Hattingh, 2020).	Gnaiss Arenópolis (899 ± 7 - U-Pb)
	Contemporâneo ao Gnaiss Arenópolis. Intrudiu o Gnaiss Ribeirão	Geoquímica - Contaminação com crosta continental arqueana (Pimentel <i>et al.</i> 2003).	Gabro Morro do Baú (890 ± 6 - U-Pb)
Arco Continental - Colisional Neoproterozóico - Criogeniano (670-600 Ma)	Arco vulcânico ao estágio colisional	Sistemas de ZC (TF 23); Heterogeneidade isotópica pode indicar contaminação de granitogênese pós tectônica (Pimentel <i>et al.</i> 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)
Colisional a Pós-Colisional Neoproterozóico - Ediacarano (590-560 Ma)	Final do estágio colisional	Geoquímica - razão inicial ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr de 0.70382 (Pimentel & Fuck, 1987) e εNd(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 - εNd(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)
Extensional (Paleozóico - Cambriano)	Bacia Intracratônica	Formação Furnas e Ponta Grossa; Conglomerado Piranhas (TF 23).	Grupo Paraná
Intraplaca Mesozóico - Cretáceo (135-63 Ma)	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)

9.1. 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 9.1.

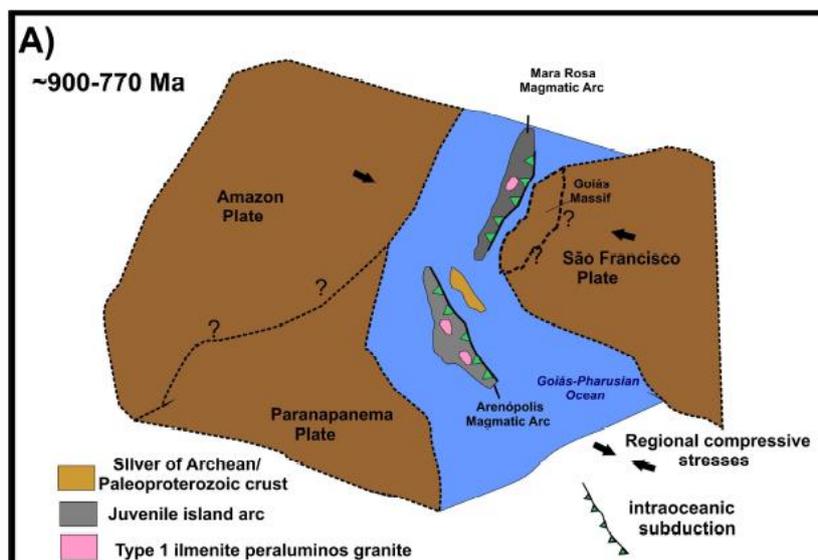


Figura 9.1: Fechamento do Oceano Goiás-Farusiano com desenvolvimento das primeiras assembleias de arcos intra-ocêânicos (cerca de 900 a 770 milhões de anos). Adaptado de Marques (2017).

De acordo com Laux *et al.* (2005), a história evolutiva do Arco Magmático Goiás se inicia com a geração de arcos intra-ocêânicos, 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 inicialmente, 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-ocêânico é representado pelo Gnaisse Arenópolis, o qual foi descrito como ortognaisse metaluminoso de composição tonalítica. A idade de 899 ± 7 Ma (Pimentel *et al.*, 1991) indica que estaria relacionado aos primeiros eventos de formação do arco. Concomitantemente, mais para oeste (na posição atual), havia sedimentação na zona de trincheira (Carneiro *et al.*, 2021) a qual 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 obducção de parte dessa crosta oceânica, junto com os sedimentos de trincheira, gerariam mais tarde a superposição de lascas de rochas máficas e ultramáficas ao lado de rochas carbonáticas pertencentes a uma provável plataforma carbonática (Figura 9.3).

Além disso, dados litogeoquímicos apontam para magmas de série calcialcalina, com granitos formados em ambiente pré colisão, com evidências de enriquecimento por subducção (Hattingh, 2020). Ademais, Rodrigues *et al.* (1999) mostram que diferentes ortognaisses do Segmento Arenópolis, apresentam caráter metaluminoso (Pimentel & Fuck 1992b, Viana et al. 1995). Na Figura 9.4 evidencia-se tal caráter do Gnaisse 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 9.2).

O fato de haverem 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). Os autores defendem que a placa oceânica entra em subducção com ângulo aproximado de 45°. Essa interpretação corrobora com o modelo inicialmente proposto por Pimentel (1985) e posteriormente por Carneiro *et al.* (2021).

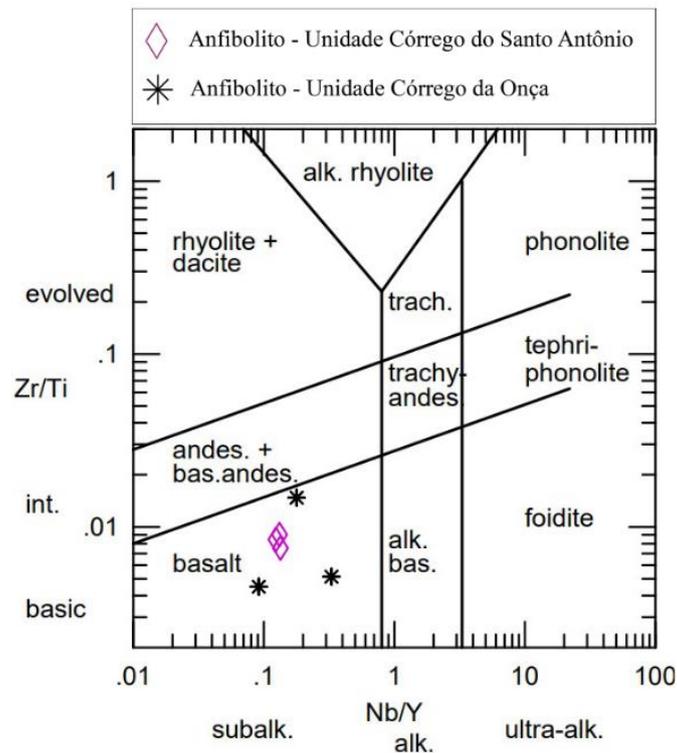


Figura 9.2: Diagrama ternário de Pearce (1996) para classificação dos anfibolitos das unidades Córrego da Onça e Córrego Santo Antônio. Fonte: SGB-CPRM (2021).

O Gabro Morro do Baú tem uma idade de cristalização de 890 ± 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 ϵNd negativo de -9.7 , indica forte contaminação com material siálico 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, considerando a idade de 1816 ± 110 (Pimentel *et al.*, 1992) no modelo proposto (Figura 9.3), 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 a mesma polaridade de subducção, com

base em metamorfismo crescente em direção à oeste na Unidade Córrego Santo Antônio. 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.

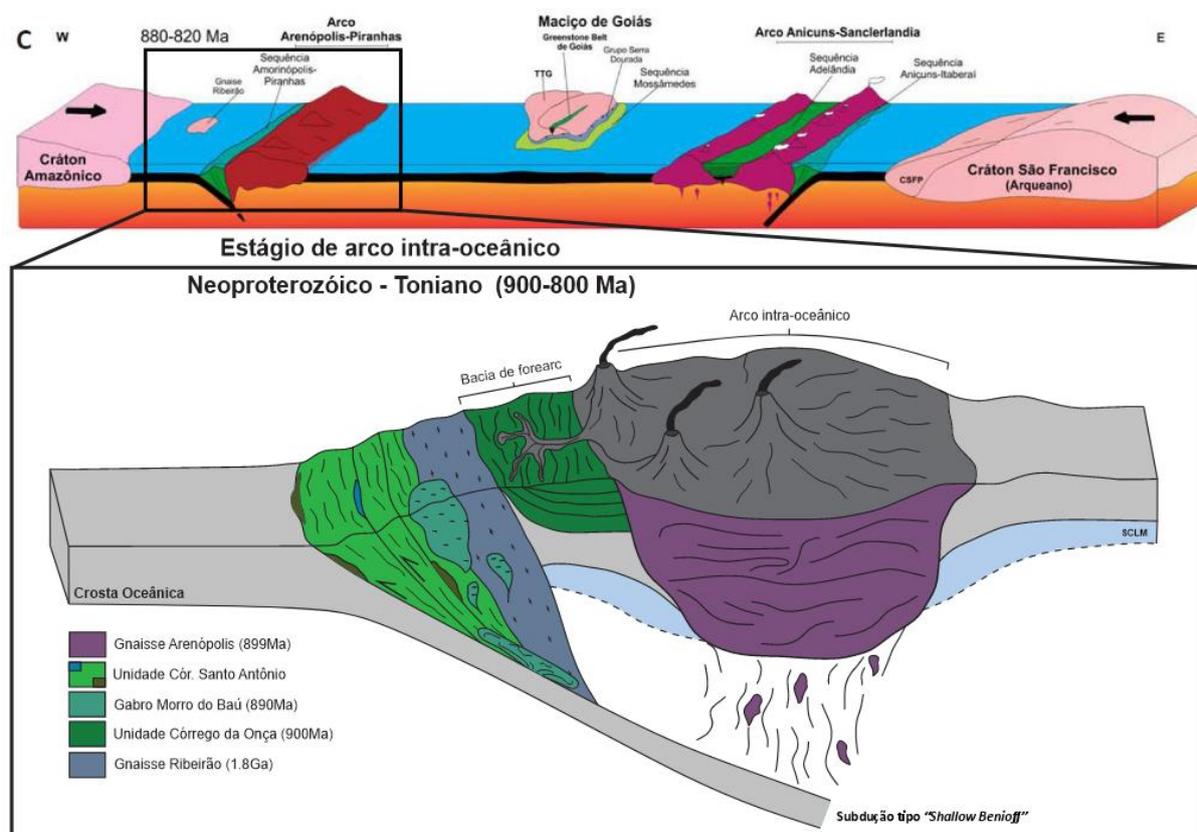


Figura 9.3: Modelo evolutivo do estágio de arco intra-oceânico na região entre Piranhas e Arenópolis, com destaque para o modelo proposto por Lacerda-Filho *et al.* (2021).

9.2. Estágio de Colisão Arco-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, observa-se aumento de magmas calci-alcalinos, peraluminosos, com aumento de SiO_2 e K_2O , além de diagramas multielementares e padrões de ETR condizentes com contaminação crustal, sendo também obtidos valores de ϵ_{Nd} cada vez mais negativos (Frasca, 2015).

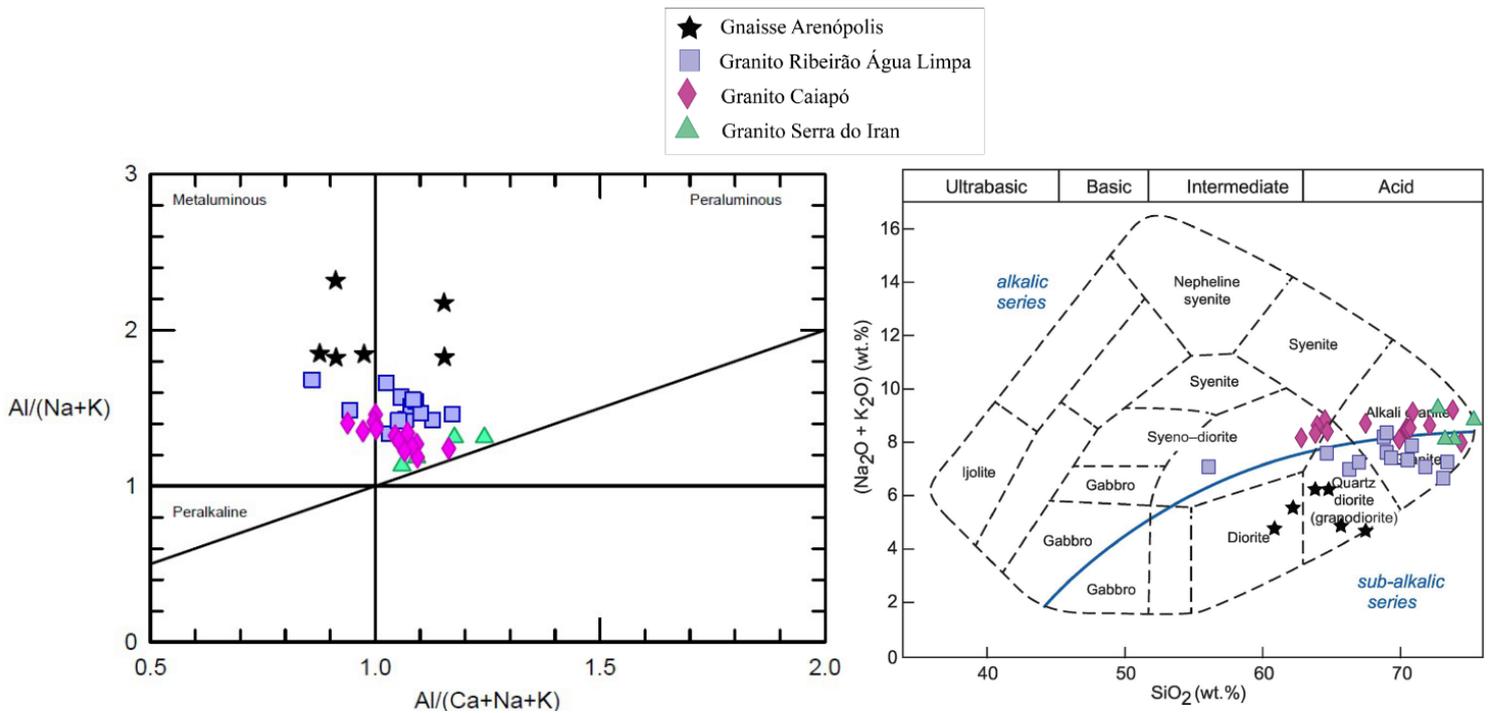


Figura 9.4: Diagrama de classificação do índice de Shand (alumina-saturação) à esquerda e diagrama TAS para todas as unidades plutônicas e metaplutônicas do Projeto Arenópolis à direita. Fonte: SGB-CPRM (2021).

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 9.5. O Granito Serra do Tatu representa um granito tipo-S de caráter peraluminoso, com uma idade de 690 ± 110 Ma, obtida pelo método Rb-Sr por Pimentel (1985). É caracterizado por se apresentar fortemente milonitizado. Já o Granito Ribeirão Água Limpa constitui rochas metaplutônicas graníticas a tonalíticas milonitizadas. Hattingh *et al.* (2021) obtiveram, pelo método U-Pb, idade de 692 ± 3 Ma para a unidade. Os resultados geoquímicos indicam que são rochas calci-alcálicas 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.

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.

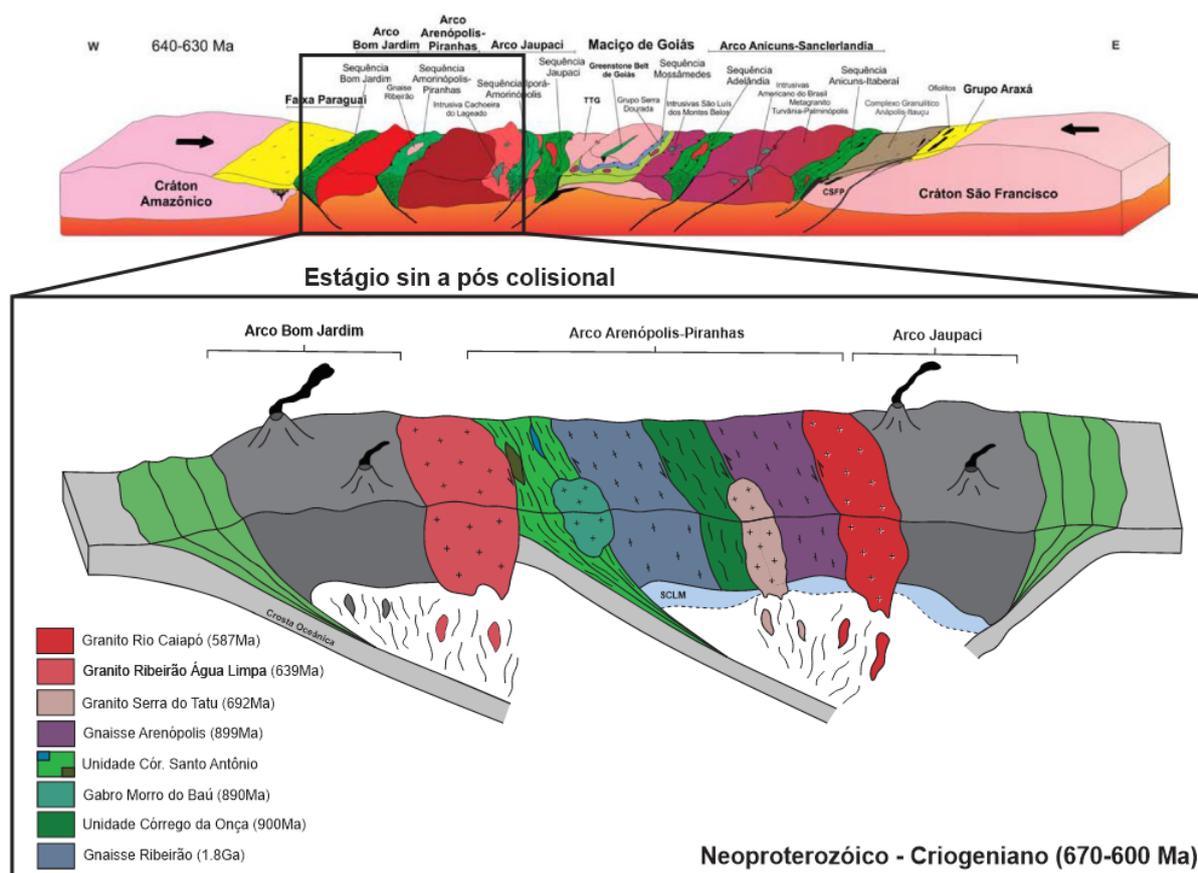


Figura 9.5: Modelo evolutivo do estágio de arco continental na região entre Piranhas e Arenópolis, com destaque para o modelo proposto por Lacerda-Filho *et al.* (2021).

No presente modelo (Figura 9.5), o Granito Rio Caiapó foi colocado no estágio final da colisão continente-continente. Ele tem uma idade de 587 ± 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, corroboram a hipótese de que o mesmo estaria relacionado aos estágios finais da colisão continente-continente e não ao ambiente pós-colisional.

9.3. Estágio Colisional-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 Transbrasiliano (Schobbenhaus, 2003), 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.

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 calci-alcalinas a calci-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 fusão crustal acarretada por intensa produção de calor, possivelmente relacionada a um episódio de *underplating* de magmas mantélicos na base da crosta continental. No modelo tectônico proposto (Figura 9.6), 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, descompressão, fusão parcial e *underplating* e magmas na base da crosta.

As unidades que estão inseridas nesses contextos e presentes no Projeto Arenópolis corresponde ao Granito Serra do Iran. Vale ressaltar que, embora o Granito Rio Caiapó (587 ± 17 Ma, Pimentel & Fuck 1994) e o Granito Serra do Iran (588 ± 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 do período colisional. Conforme Pimentel *et al.* (1985), o Granito Serra do Iran se destaca pelo caráter isótropo 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.

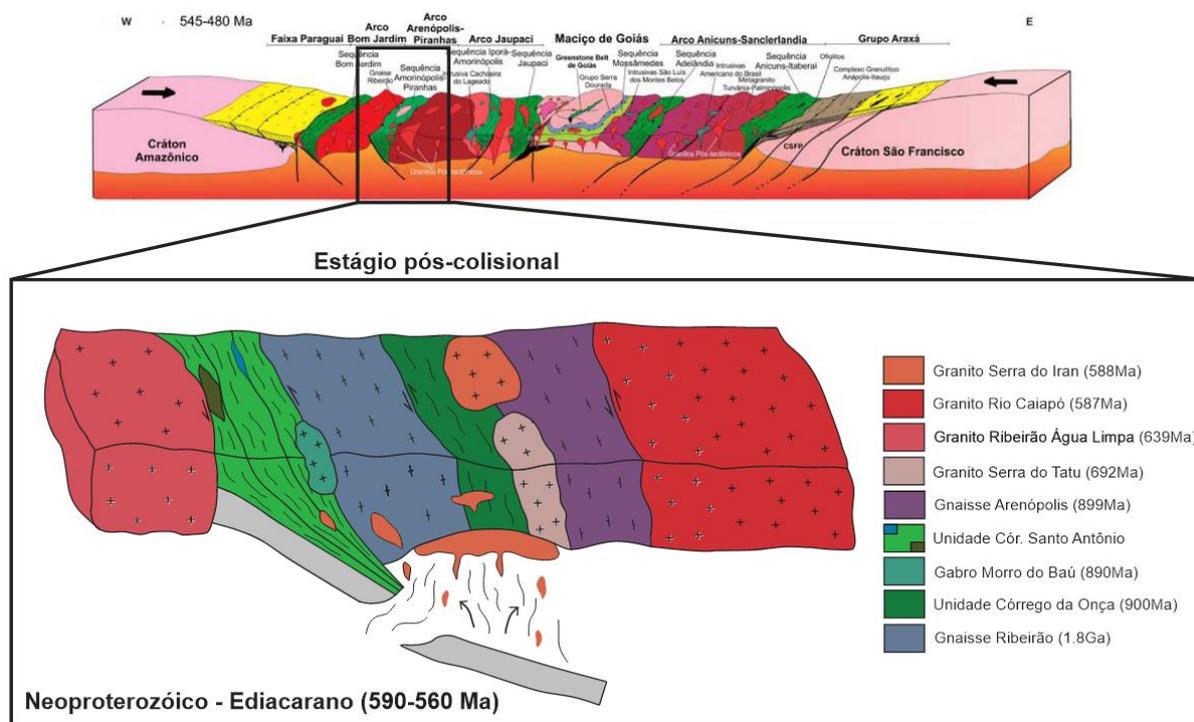


Figura 9.6: Modelo evolutivo do estágio pós-colisional na região entre Piranhas e Arenópolis, com destaque para o modelo proposto por Lacerda-Filho *et al.* (2021).

9.4. 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 soerguimento 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 *grabens* e bacias marginais (Lacerda Filho *et al.* 2021). Esse estágio inicial de graben, com o aporte de material oriundo do Arco Magmático 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 *graben* inserido no Granito Ribeirão Água Limpa. A sua gênese está relacionada à 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. Inicialmente, com os sedimentos do Grupos 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 Azimute 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 Iporá, presentes na área de estudo (Crough *et al.*, 1980; Gibson *et al.*, 1995b, 1997b; Thompson *et al.*, 1998).

9.5. 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 (ex. Gibson *et al.*, 1995). 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, considera-se a pluma como um ponto fixo e a movimentação da placa como a responsável pelo desvio do magmatismo 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 neoproterozoico, atuando assim como condutos de magma ou reservatórios temporários, conforme o modelo proposto pelos autores na Figura 9.7. 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 CO₂, H₂O e elementos incompatíveis (Ferreira *et al.* 2022).

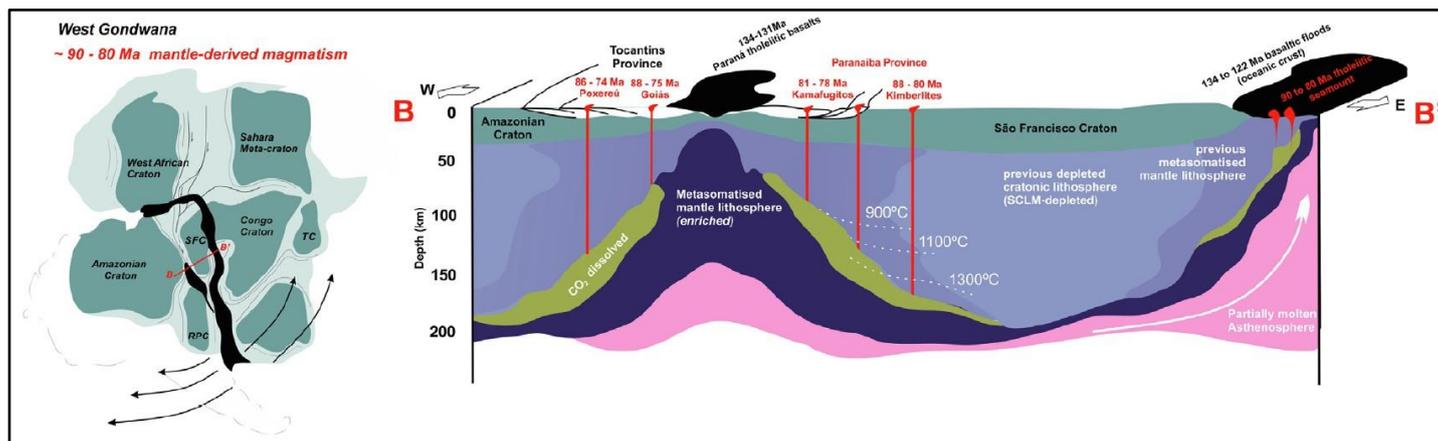


Figura 9.7: Modelo proposto por Ferreira *et al.* (2022) para a evolução da litosfera facilitando a colocação dos magmas toleíticos e alcalinos de aproximadamente 130 milhões e 80 milhões de anos. Adaptado de Ferreira *et al.* (2022).

9.6. Fases de Deformação

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 9.8).

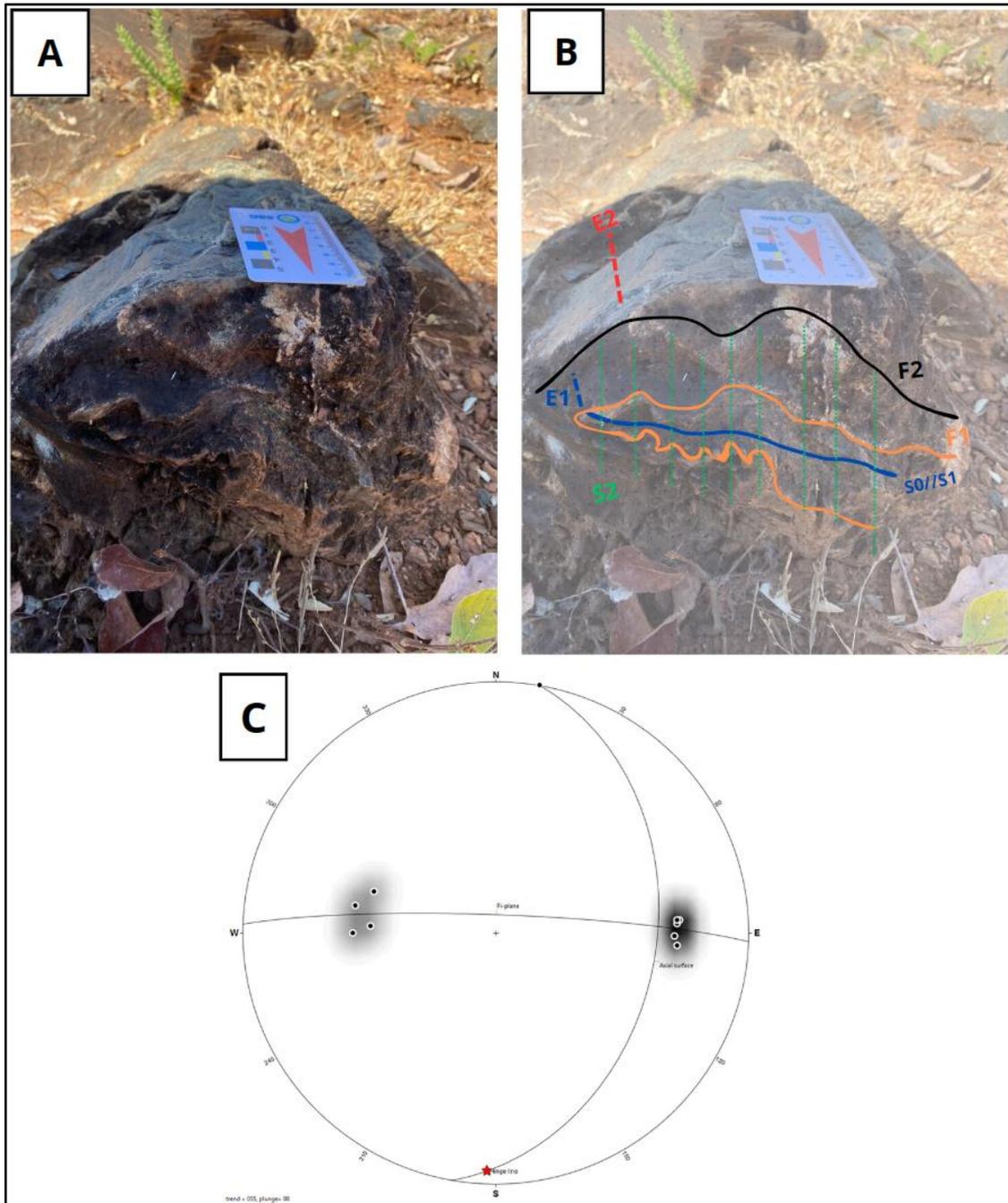


Figura 9.8: (A) Afloramento de anfibolito dobrado pertencente a Unidade Córrego do Santo Antônio (Coordenadas - X: 416244; Y:8190590 - TF23-AIV), evidenciando (B) o padrão de interferência de dobra F_2 com dobra F_1 e as relações de sobreposição das gerações de foliações. A Foliação plano-axial S_2 compõe 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 de outros sistemas de arcos intra-oceânicos e a eventual instalação de um ambiente de arco vulcânico, aqui retratado como estágio de arco continental (Figura 9.5). As condições metamórficas neste cenário conteriam padrões Barrovianos mais distribuídos, com

condições de fácies xisto-verde a xisto-verde transicional nas frentes de subducção, podendo atingir fácies anfíbolito nas porções sob 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 compressoriais 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. 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 com orientação 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 9.6), 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 falhas transcorrentes sintéticas e antitéticas (R e R')(Figura 9.9). Estas falhas transcorrentes são responsáveis por imprimir a estruturação subsidiária E-W evidenciada na área do

Projeto Arenópolis, conforme o modelo proposto na Figura 9.9. Além disso, dobramentos tardios na forma de crenulações com eixos de direção aproximada NNE, afetam os planos de foliação S_2 e S_3 .

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.



Figura 9.9: 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.

10. Conclusões

O Projeto Arenópolis teve como objetivo o mapeamento geológico em escala 1:25.000 da região entre as cidades de Arenópolis/GO e Piranhas/GO, além das caracterizações petrográficas, estruturais e evolutivas das unidades geológicas envolvidas. Através de todas as etapas descritas nesse relatório, o resultado final do projeto proporcionou um maior detalhamento cartográfico em comparação aos mapas preexistentes (Figura 10.1). Nesse contexto, destacam-se os mapas anteriores do Projeto Piranhas - TF 1973 da Universidade de Brasília, Pimentel (1985), Carneiro (2021) e das folhas SE-22-V-B Caiapônia e SE-22-V-B Piranhas do SGB-CPRM. Vale ressaltar que o Projeto Arenópolis delimitou depósitos aluvionares e coberturas detríticas e lateríticas como unidades, sendo priorizado o mapeamento das rochas

associadas ao Segmento Arenópolis do Arco Magmático Goiás, relacionáveis à evolução tectônica-estrutural da região.

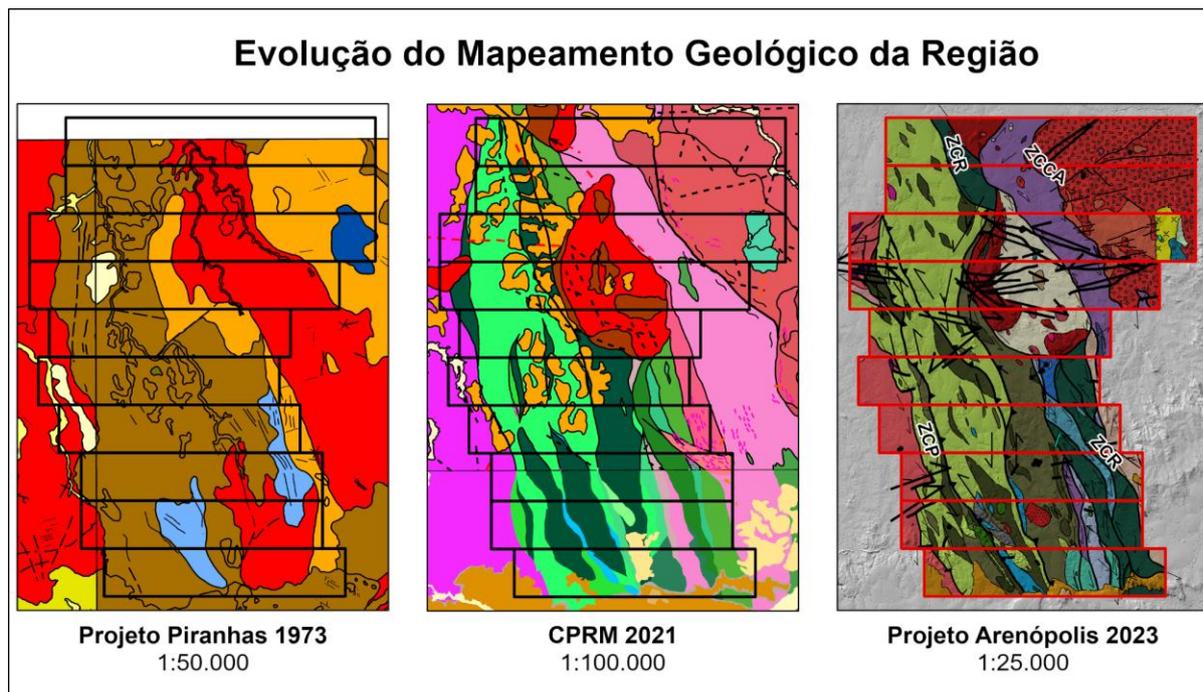


Figura 10.1: Evolução do mapeamento geológico da região do projeto.

O mapeamento promovido pelo Projeto Arenópolis propôs uma nova separação de fácies dos corpos graníticos, gnáissicos e maior detalhamento das unidades da sequência metavucanossedimentar Arenópolis-Piranhas. Com relação à unidade Córrego da Onça, é proposto que faça parte de uma bacia de *forearc*, como explicado no Capítulo de Evolução Tectônica. Essa proposta é nova, porém, ainda necessita de novas evidências, principalmente, geoquímicas. Além disso, propõe novos modelos metalogenéticos para sistemas de ouro orogênico e magmáticos-hidrotermais com ocorrências de sulfetos e *skarns* associados, respectivamente. Conforme Pimentel (1985) havia proposto, reitera-se pelo Projeto Arenópolis o potencial para um sistema VMS na unidade Córrego da Onça.

A delimitação de estruturas regionais também representa uma das grandes contribuições do Projeto Arenópolis para a geologia da região. Foram delimitados três grandes sistemas de zonas de cisalhamento com cinemática sinistral que representam os principais contatos tectônicos das grandes unidades cartografadas. Algumas dessas estruturas haviam sido cartografadas por Carneiro (2021) e SGB-CPRM, porém, o Projeto Arenópolis foi capaz de detalhar os sistemas anastomosados

com diversos segmentos de cisalhamentos, especialmente os que ocorrem no Granito Serra do Tatu.

10.1 Discussões

De forma geral, considera-se que o objetivo principal do trabalho foi alcançado e traz novas questões para estudos futuros listados a seguir:

- i) Qual a real idade do Gnaisse Ribeirão e onde se encaixa no modelo evolutivo do Arco Magmático de Goiás?;
- ii) A unidade Córrego da Onça realmente representa uma bacia de *forearc*. Se sim, deve ser separada da Sequência MVS Arenópolis-Piranhas? Sugere-se mais análises geoquímicas e isotópicas para resolver tais problemas;
- iii) O Granito Serra do Tatu não apresenta uma idade acurada, dificultando a colocação precisa no modelo evolutivo da região. Entretanto, a deformação observada indica um período específico na evolução do segmento Arenópolis;
- iv) Qual a real idade das rochas vulcânicas Córrego do Horácio e onde se encaixa no modelo evolutivo do Arco Magmático de Goiás?;
- v) Qual o significado das rochas intrusivas indiferenciadas? Sugere-se análises geoquímicas e isotópicas para um melhor entendimento na evolução local;
- vi) Análises geoquímicas de rochas que compõem o Complexo Alcalino Arenópolis é essencial para o melhor entendimento da fonte magmática que gerou o corpo e quantos processos estão envolvidos no alojamento do mesmo.

Na Geologia Local da Área III, algumas observações foram feitas e que merecem ser discutidas para motivar futuras pesquisas na região.

Nos anfibolitos da unidade Córrego do Santo Antônio, foram observados clinopiroxênios parcialmente reabsorvidos. Considerando o metamorfismo regional da área em fácies anfibolito, a preservação desse mineral em equilíbrio se torna muito difícil. Dessa maneira, sugere-se um estudo petrográfico mais aprofundado com as rochas máficas e ultramáficas, em especial, para determinação dos protólitos e paragênese em equilíbrio.

A unidade Granito Ribeirão Água Limpa apresenta diversos afloramentos com evidências de migmatização. Entretanto, não foi possível um detalhamento das fases envolvidas nesses processos. Por isso, seria relevante o avanço do conhecimento sobre a unidade e, principalmente, a continuação do mapeamento em escala de maior detalhe.

No contexto da Área III, destacam-se os detalhamentos dos corpos graníticos e gnáissicos, uma vez que na porção da sequência MVS Arenópolis-Piranhas não haviam afloramentos representativos em consequência da vasta cobertura detrítica e ferruginosa. O Complexo Arenópolis também se destaca no mapa da Área III, sendo possível realizar a cartografia e caracterização petrográfica de suas unidades, bem como reconhecer seu potencial exploratório.

Em relação ao Complexo Alcalino Arenópolis, sabia-se que se tratava de um corpo intrusivo relacionado a PAGO, porém, o único trabalho que realizou uma individualização de fácies foi de Danni *et al.* (1976). O mapa do Complexo Alcalino Arenópolis é distinto dos demais, uma vez que não apresenta um núcleo ultramáficos e zoneamento composicional com bordas mais félsicas. De acordo com Danni *et al.* (1976), a falta dessa característica pode ser resultante do menor fracionamento de olivina, indicando um caráter menos ultrabásico do magma original, ou apenas pelo fato dessas rochas estarem em níveis crustais mais profundos. É interpretado que os clinopiroxenitos representam produtos de acumulação magmática, considerando a transição para os gabros, ijolitos e melteigitos. Isso foi observado através da ocorrência de material sienítico intersticial entre cristais de titanoaugitas. Já os nefelinolitos, representam as rochas derivadas das frações magmáticas finais Danni *et al.* (1976). Entretanto, foram observadas evidências de mistura e brechas magmáticas, indicando que também houveram processos de pulsos magmáticos de composição félsica. Posteriormente, houve algum processo que deu origem à vulcânicas porfíricas, as quais apresentam fragmentos do material sienítico. Dessa maneira, considerando a alta complexidade, sugere-se um detalhamento em escala de maior detalhe do Complexo Alcalino Arenópolis.

11. Referências Bibliográficas

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA), HIDROWEB, www.ana.gov.br, acessado em 14 de outubro de 2023.
- ALMEIDA F.F.M. de. 1977. O Cráton do São Francisco. *Rev. Bras. Geoc.*, 7(4):349-364.
- ALMEIDA, F. F. M. DE, HASUI, Y., DE BRITO NEVES, B. B., & FUCK, R. A. (1981). Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth-Science Reviews*, 17(1-2), 1-29.
- ALVARENGA, C. J. S.; GUIMARÃES, E. M. Siluro-Devoniano na Margem Noroeste da Bacia do Paraná, Região entre Diorama e Amarinópolis, GO. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO-OESTE, 4, 1994, Brasília. Anais ... Brasília: SBG, 1994. p. 53-54.
- ASSUMPÇÃO M., Escalante C., Schimmel M. 2002. Initial impact of the Trindade Plume, Goiás, reviewed by seismic tomography. In: Simpósio Sobre Vulcanismo e Ambientes Associados, 2, Boletim de Resumos. 77.
- ARAÚJO FILHO, JOSÉ OSWALDO DE. The Pirineus Syntaxis: An example of the intersection of two Brasiliano fold-thrust belts in central Brazil and its implications for the tectonic evolution of western Gondwana. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 30, n. 1, p. 144-148, 2000.
- ARCANJO, J. B. A. 2011. Fotogeologia: conceitos, métodos e aplicações. DEGEO - Departamento de Geologia. CPRM - SGB.
- ATHERTON, MP & 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.
- BENNET P. J. e CASTLE J. E. (1975). Kyanite and related minerals. In: Leford S. J. (ed) *Industrial Minerals and Rocks*. New York, NY, p. 729-736.
- BLAKELY R. J. 1996. *Potential theory in Gravity & Magnetic Applications*. Cambridge University Press, Cambridge, 441pp.
- BRITO NEVES, B.B.; CAMPOS NETO, M.D.C.; FUCK, R.A. From Rodinia to Western Gondwana: An approach to the Brasiliano-Pan African cycle and orogenic collage. *Episodes*, v.22, n. 3, p. 155–166, 1999.

- 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.
- BROD, J.A., GIBSON, S.A., THOMPSON, R.N., JUNQUEIRA-BROD, T.C., SEER, H.J., CASTANHERA DE MORAES, L., BOAVENTURA, G.R., 2000. The kamafugite–carbonatite association in the Alto Paranaíba Igneous Province (APIP), southeastern Brazil. *Revista Bra. de Geoc.* 30, 408–412.
- BUCHER, K. and GRAPES, R. 2011. *Metamorphic rocks. Petrogenesis of Metamorphic Rocks*, 8th Edition. Springer. Pp. 21 – 56.
- CABY, RENAUD. and implications for plate tectonics in the trans-Saharan segment of the Pan-African belt. *Eur. J. Mineral*, v. 6, p. 235-244, 1994.
- CARNEIRO, J.S.M. 2019. Sequência Arenópolis-Piranhas: Evolução de bacia marginal ao Arco Magmático Goiás. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília.
- CARNEIRO, J.S.M. 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* 106 (2021) 103033.
- CIMINELLI R.R. 2008. Desempenho funcional dos minerais industriais: desafios tecnológicos, ferramentas de marketing e estratégia de valorização. Em: Luz e Lins (eds) *Rochas e Minerais Industriais no Brasil: usos e especificações*. 2.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, p. 389-402
- CONDIÇÕES CLIMATOLÓGICAS EM PIRANHAS-GO. *Climatempo*, 2023. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/previsao-do-tempo/cidade/1024/piranhas-go>. Acesso: 12 de outubro de 2023.
- CORDEIRO, P. F. DE O. 2014. Compartimentação geológica e geocronológica dos terrenos do embasamento norte da Faixa Brasília.
- CORDEIRO, PEDRO FILIPE DE OLIVEIRA; OLIVEIRA, CLAUDINEI GOUVEIA DE. The Goiás Massif: Implications for a pre-Columbia 2.2–2.0 Ga continent-wide amalgamation cycle in central Brazil. *Precambrian Research*, v. 298, p. 403-420, 2017.
- CORDELL L., e V. J. S. GRAUCH 1982, Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan Basin, New Mexico: 52nd Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstracts, 246–247.
- CURTO, Barbosa Curto Ma. O Lineamento Transbrasiliano na Bacia do Paraná: Compartimentação Crustal do Embasamento e Reativações Fanerozóicas.

- Dissertação (Doutorado em Geologia) — Universidade de Brasília, Brasília, 2015.
- DANNI, J.C.M. FUCK, R.A. LEONARDOS, O.H. 1976. Variação Regional de teor de alguns elementos traços da Província Basáltica da Bacia do Paraná. Departamento de Geociências. Universidade de Brasília.
- DANNI, J.C.M., 1994. Os picritos alcalinos da região de Iporá: implicações na gênese dos complexos do tipo central do sul de Goiás. *Revista Bras. de Geoc.* 24, 112–119.
- 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.
- DENTITH, A.E.D; MUDGE, S.T. 2015. Geophysics for the Mineral Exploration Geoscientist. *Miner Deposita* 50, 139–140
- MAPEAMENTO DE SOLOS EM ESCALA 1:250.000. EMATER - GOIÁS. . <http://www.sieg.go.gov.br/siegedownloads/>. Acesso em: 22 de outubro de 2023.
- 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. da - 1975 - Projeto Piranhas. Convênio DNPM/FUB, Brasília, v. 1, 143 p.
- FERREIRA, Alanielson C.D. et al. Mesozoic to Cenozoic alkaline and tholeiitic magmatism related to West Gondwana break-up and dispersal. *Gondwana Research* 106 (2022) 15–33
- 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: Tectonic Genealogy of a Miniature Continent, 205-220.
- GIBSON, S.A., THOMPSON, R.N., LEONARDOS, O.H., DICKEN, A.P., MITCHELL, J.G., 1995. The Late Cretaceous impact of the Trindade mantle plume: evidence from large volume, mafic, potassic magmatism in SE Brazil. *J. Petrol.* 36 (1), 189–229.

- GUIMARÃES, S.B. MOURA, M, A. DANTAS, E . L., 2012. Petrology and geochronology of Bom Jardim copper deposit. *Brazilian Journal of Geology*, v.42, n.4, 2012, p.841-862.
- GUNN P. J., Maidment D., Milligan P. R. 1997. Interpreting aero- magnetic data in areas of limited outcrop. *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, 17 (2): 175–182.
- HASUI Y. & ALMEIDA F.F.M. De 1970. Geocronologia do Centro Oeste Brasileiro, *Rev. Bras. Geociências* 19 (1): 6-26.
- HATTINGH, K. e colab. 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.
- JQUES 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.
- JOFFILY, Caroline Meira Lopes de Castro ; OLIVEIRA, C. G. . Cianita refratária. In: Adão Benvindo da Luz; Fernando Freitas Lins. (Org.). *Rochas e Minerais Industriais: Usos e Especificações*. 2ed.Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008, v. 2 ed., p. 389-402.
- JUNQUEIRA-BROD, 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.
- KOPPEN, W. 1948. *Climatologia: com um Estúdio de los Climas de la Tierra*. México: Fundo de Cultura Econômica, p. 46-70.
- KRÖNER, ALFRED; CORDANI, UMBERTO. African, southern Indian and South American cratons were not part of the Rodinia supercontinent: evidence from field relationships and geochronology. *Tectonophysics*, v. 375, n. 1-4, p. 325-352, 2003.
- LACERDA FILHO, J. V. et al. 2021. Projeto geologia e metalogenia da porção oeste de Goiás. SGB-CPRM.
- LAUX, J.H. (2004). *Evolução do Arco Magmático Goiás com base em dados geocronológicos U-Pb e Sm-Nd*. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Brasília.

- MACIEL, E.L. 2018. Aspectos Geológicos-Estruturais de uma área da região de Banabuiú-Quixeramobim/CE com auxílio de dados aerogeofísicos: relações entre zonas de cisalhamento e intrusões graníticas.
- MARQUES, GUSTAVO CAMPOS. Evolução tectônica e metalogenética no contexto do depósito aurífero de Fazenda Nova, Arco Magmático de Arenópolis, Goiás. 2017. xii, 169 f., il. Tese (Doutorado em Geologia)—Universidade de Brasília, Brasília, 2017.
- MENESES, P.R.; ALMEIDA, T. 2012. Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto.
- MILANI, E. et al. 2007. Bacia do Paraná. Boletim de Geociências - Petrobras. 15. 265-287.
- MITCHELL, A.H.G. & GARSON, M.S. 1981. Mineral Deposits and global tectonic settings. Academic Press, London, 406p.
- NASCIMENTO, E.L.C. 2018. Geologia, Geoquímica e Mineralogia do Complexo Carbonatítico Morro Preto-GO. Tese de Doutorado. Universidade de Brasília.
- PASSCHIER, C. W.; Myers, J. S.; Kroner, A. 1993. Geologia de Campo de Terrenos Gnáissicos de Alto Grau. Editora da Universidade de São Paulo.
- OLIVEIRA, C. G., DE QUEIROZ, C. L., & PIMENTEL, M. M. (2000). The Arenópolis-Mara Rosa gold-copper belt, neoproterozoic goiás magmatic arc. Revista Brasileira Geociências, 30, 219-221.
- PENA, G. S.; FIGUEIREDO, A. J. de A. Projeto Alcalinas – Relatório Final. Goiânia: DNPM/CPRM, 1972. 143 p. (Conv. DNPM/CPRM).
- PIMENTEL, M.M. 1985. A Sequência Vulcano-Sedimentar de Arenópolis-GO: Petrologia Ígnea e Metamórfica, Contexto Geotectônico e Considerações Metalogenéticas Preliminares. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília.
- 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. 1987. Origem e Evolução das Rochas Metavulcânicas e Metaplutônicas da região de Arenópolis. Revista Brasileira de Geociências.
- PIMENTEL, M. M.; CHARNLEY, N. Infracrustal REE fractionation and implications for Sm-Nd model age calculations in late-stage granitic rocks: An example from

- central Brazil. *Chemical Geology: Isotope Geoscience Section*, v. 86, n. 2, p. 123-138, 1991.
- PIMENTEL M. M. & FUCK R. A. 1992. Neoproterozoic crustal accretion in central Brazil. *Geology*, 20:375-379.
- PIMENTEL, M. M.; FUCK, R. A.; ALVARENGA, C. J. S. 1996b. Post-Brasiliano (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., FERREIRA FILHO, C.F., ARAÚJO, S.M., 2000. The basement of the Brasília Belt and the Goiás Magmatic Arc. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., Campos, D.A. (eds) *Tectonic Evolution of South America*. 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro, 195–229.
- PIMENTEL, M.M. HOLLANDA, M.H.N.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* (2003) 75(3): 331-339
- PIMENTEL, M.M. ET AL. The tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil, based on SHRIMP and LA-ICPMS U-Pb sedimentary provenance data: A review. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 31, n. 4, p. 345-357, 2011.
- PIMENTEL, MÁRCIO MARTINS. The tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil: a geochronological and isotopic approach. *Brazilian Journal of Geology*, v. 46, p. 67-82, 2016.
- PIUZANA, D. PIMENTEL, M.M. FUCK, R.A. ARMSTRONG, R. 2003. Neoproterozoic granulite facies metamorphism and coeval granitic magmatism in the Brasília Belt, Central Brazil: regional implications of new SHRIMP U-Pb and Sm-Nd data. *Precambrian Research* 125 (2003) 245–273.
- ROBB, L. (2005). *Introduction to ore forming processes*. Blackwell, 373 p.
- RODRIGUES, J. B. 1996. *Geocronologia e Geoquímica da sequência vulcano-sedimentar de Iporá e rochas graníticas associadas*. Dissertação de Mestrado nº 108. Universidade de Brasília.

- RODRIGUES, J. B. et. al. "Geocronologia e geoquímica de ortognaisses da região entre Iporá e Firminópolis: implicações para a evolução do Arco Magmático Goiás." *Brazilian Journal of Geology* 29.2 (1999): 207-216.
- SCHOBENHAUS, C. ET AL., A Geologia do Brasil no Contexto da Plataforma Sul-Americana. In: BIZZI, L. A., SCHOBENHAUS, C., VIDOTTI, R. M. & GONÇALVES, J. H. (Editores.) *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*. CPRM-SGB - Brasília, 2003, 674p; p. 449- 499. 2003.
- SGARBI, P.B.A., GASPAR, J.C., 2002. Geochimistry of Santo Antônio da Barra Kamafugites, Goiás, Brazil. *J. South Am. Earth. Sci.* 14, 889–901.
- SONOKI, I. K.; GARDA, G. M. Idades K/Ar de Rochas Alcalinas do Brasil Meridional e Paraguai Oriental: Compilação e Adaptação às Novas Constantes de Decaimento. *Boletim IG-USP*, n.19, p. 63-85, 1988. (Série Científica).
- SORDI, Diogo Alves de. *Aerogeofísica aplicada à compreensão do sistema de empurrões da sequência Santa Terezinha de Goiás, Brasil central.* , 2007. Dissertação (Mestrado em Geociências)-Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.
- SOUZA, M.C., SHIMBO, J..Z., ROSA M.R., PARENTE, L.L. 2020. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine – Remote Sensing, Volume 12, Issue 17, 10.3390/rs12172735
- SOUZA, F. A & RODRIGUES, S. C. 2018. Caracterização Física de Iporá - GO. *Revista Sapiência: Sociedade, Saberes e Práticas Educacionais (UEG)*, V.7, N.2, p.121-141.
- SUPERINTENDÊNCIA DE GEOLOGIA E MINERAÇÃO. SIC-GOIÁS. <http://www.sieg.go.gov.br/siegdownloads/>. Acesso em: 22 de outubro de 2023.
- THOMPSON, R.N., GIBSON, S.A., MITCHELL, J.G., DICKIN, A.P., LEONARDOS, O.H., BROD, J.A., GREENWOOD, J.C., 1998. Migrating Cretaceous-Eocene magmatism in the Serra do Mar Alkaline Province, SE Brazil: melts from the deflected Trindade mantle plume? *J. Petrol.* 39 (8), 1493–1526.
- TROMPETTE, R. (1994) *Geology of Western Gondwana (2000-500): Pan-African-Brasiliano Aggregation of South America and Africa*. Balkema, Rotterdam, 350 p.
- UHLEIN, A. ET AL. *Tectônica Da Faixa De Dobramentos Brasília – Setores Setentrional E Meridional*. Geonomos, 2012.

- VAIL, P. R.; Mitchum, R. M; Thompson, S. 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 3: relative changes of sea level from coastal onlap. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists, p. 63-81.
- VALERIANO, CLAUDIO M. et al. U–Pb geochronology of the southern Brasília belt (SE-Brazil): sedimentary provenance, Neoproterozoic orogeny and assembly of West Gondwana. *Precambrian Research*, v. 130, n. 1-4, p. 27-55, 2004.
- VANDECAR, J. C. et al. 1995. Seismic evidence for a fossil mantle plume beneath South America and implications for plate driving forces. *Nature*, 378, 25-31.