

TRABALHO FINAL DE GRADUAÇÃO PROJETO UNAÍ

Área II

Eduardo Dias dos Santos - 15/0123710
Matheus Ferreira da Silva - 13/0060534

Orientador: Msc. Lucas Santos Batista Teles
Coordenador do Projeto: Prof. Dr. José Eloi Guimarães Campos

Brasília, novembro de 2021.

FOLHA DE APROVAÇÃO

TRABALHO DE MAPEAMENTO GEOLÓGICO FINAL – PROJETO UNAÍ TF
2020

PROJETO UNAÍ
TRABALHO FINAL DE GRADUAÇÃO - TF 2020

Autores:
Eduardo Dias dos Santos
Matheus Ferreira da Silva

Monografia submetida ao corpo docente do Curso de Graduação em Geologia, do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília - UnB, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Aprovação concedida por Banca Examinadora composta por:

Profa. Dra. Tati de Almeida
Professora da Universidade de Brasília

Prof. Dr. Luís Gustavo Ferreira Viegas
Professor da Universidade de Brasília

Msc. Lucas Santos Batista Teles
Doutorando da Universidade de Brasília

Brasília, 08 de novembro de 2021.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

EDUARDO DIAS DOS SANTOS - 15/0123710
MATHEUS FERREIRA DA SILVA - 13/0060534

PROJETO UNAÍ
TRABALHO FINAL DE GRADUAÇÃO - TF 2020

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geociências como requisito à obtenção do diploma do Curso de Graduação em Geologia.

Orientadores:

Prof. Dr. José Eloi Guimarães Campos

Prof. Dr. Martino Giorgioni

Profa. Dra. Eliza Inez Nunes Peixoto

Msc. Lucas Santos Batista Teles

Brasília, de novembro de 2021.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Florindo Santos e Osmaria Santos, que nas mais simples condições nunca deixaram de me apoiar, me amar e incentivar a trilhar o meu sonho. Sem os senhores eu não estaria aqui. Dedico esse trabalho aos senhores!

Agradeço a minha vó Fidelicia Santos (*in memorian*) que tinha o sonho de ver seu neto formando, mas infelizmente nos deixou esse ano. Agradeço por todo o carinho, esteja onde estiver.

Agradeço a esse curso maravilhoso que me proporcionou os melhores momentos da minha vida e me deu amigos que eu vou carregar comigo para sempre. Agradeço aos meus amigos, em especial a Cat e Ana Flávia, que me apoiaram e incentivaram a continuar. Agradeço ao meu grande amigo Paracatu que esteve ao meu lado nos momentos mais difíceis durante a minha graduação, nos momentos de desespero e incertezas, na noite mais fria que eu passei.

Agradeço a toda equipe do Projeto Unai que tornou tudo isso possível. Aos meus colegas e amigos que batalharam para que o projeto acontecesse. Agradeço ao Lucas Teles, pela orientação, paciência e empenho nas correções para melhoria do trabalho. Agradeço, em especial, ao professor José Eloi Campos, pelos ensinamentos, pela orientação e fôlego, pois você tornou tudo isso possível e nunca deixou de acreditar na nossa formação. Obrigado por ser um excelente professor e profissional! Obrigado a todos que trilharam junto comigo essa jornada!

Eduardo Dias Santos

Minha jornada na UnB foi bastante duradoura, e ao longo dela várias pessoas foram extremamente importantes para que eu pudesse chegar até aqui. Gostaria de começar agradecendo minha família, meus pais Antonio Marcos e Eliete que não mediram esforços para que eu pudesse viver o sonho de estudar em uma das maiores universidades do Brasil. Gostaria também de citar meu Padrasto Gilmar Elias que sempre me incentivou a buscar o caminho da universidade. Aos meus irmãos Guilherme, Jéssica e Rafael que em diversas vezes me aconselharam e me acolheram nos momentos conturbados que passei durante minha graduação. A minha namorada e futura esposa Adrielle e minha sogra Vanilda pelo amor e compreensão dedicados a mim nesse período de conclusão de curso, o apoio de vocês foi essencial. Gostaria também de agradecer aos meus amigos do grupo THS, André, Arthur, Bruno, Lucas, Rodrigo e Vitor vocês foram responsáveis por meus momentos descontração ao longo dos últimos anos, tornando meu cotidiano mais leve. Aos meus amigos do Centro Espírita Auta de Souza de Planaltina-DF Celso (*in memorian*) Paula, Marlene, Eliomar, Vitória, Karina, Igor, Wilna, Fabiana e Renata, por dar sustentação ao meu espírito e a minha fé.

Não poderia deixar também de agradecer a minha família geológica, os amigos que iniciaram essa maravilhosa jornada comigo, Frederico, Helder, Gabriela, Luís Antônio (Sput), Gabriel Taira (Japa), Gabriel Angêlo, Leandro, e as minhas parceiras que foram meus ombros e ouvidos ao longo de boa parte dessa caminhada, Raissa, Ana Flávia e Palloma, foi incrível poder compartilhar grande parte dessa etapa com vocês. Agradeço também aos meus amigos do Projeto Unai, sou muito grato por terem me acolhido e me feito sentir parte do grupo de vocês. Em especial gostaria de agradecer ao meu parceiro de TF Eduardo que em vários momentos demonstrou imensa lealdade e afeto por mim, eu não poderia ter feito uma escolha melhor. Que a nossa parceria se estenda vida afora. E também gostaria de destacar uma colega que teve fundamental importância na minha participação no Projeto Unai, minha amiga Linda Beatriz que defendeu meus interesses como representante discente, como se estivesse fazendo para si, jamais esquecerei o que fez por mim.

Agradeço também ao meu orientador e amigo Lucas (Boi) por todo conhecimento compartilhado, bem como pela paciência para nos ajudar na escrita desse relatório.

Gostaria de agradecer a professora Natalia que viu em mim potencial quando eu mesmo não enxergava e pensava em desistir da Geologia. Saiba que aquela conversa na sala Turmalina mudou meu caminho e me fez prosseguir. E por último ao Professor Eloi, que em um momento tão delicado como o que vivemos ao longo do ano de 2021 não mediu esforços para que o projeto Unai pudesse acontecer, serei eternamente grato por toda dedicação e por todo conhecimento que você compartilhou comigo.

Matheus Ferreira da Silva

“Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo
começo, qualquer um pode começar agora e fazer um
novo final” (Chico Xavier)

RESUMO

Este trabalho contribuiu com o detalhamento dos limites geológicos na região do município de Unaí na escala 1:50.000 e a caracterização das sequências turbidíticas da então unidade geológica recente definida denominada de Formação Quilombo. O Projeto Unaí está inserido na porção da zona externa da Faixa de Dobramentos Brasília, no seguimento Sul. A Formação Quilombo é caracterizada como uma sequência turbidítica com ocorrência de rochas vulcânicas, e apresenta dois membros em contato interdigitado: Ribeirão da Porteira e Ribeirão do Franco, e está em contato com a Formação Sete Lagoas do Grupo Bambuí, por meio de uma falha de empurrão. O Membro Ribeirão da Porteira é representado por ritmitos com maior contribuição psamítica, apresentando litoarenitos, graucavas líticas e ortoconglomerados; e o Membro Ribeirão do Franco é caracterizado por ritmitos com maior contribuição pelítica, contendo arenitos finos, siltitos e folhelhos. Anteriormente foram descritas rochas vulcânicas somente no Membro Ribeirão do Franco, no presente estudo são descritas novas ocorrências de rochas vulcânicas no Membro Ribeirão da Porteira. A Formação Sete Lagoas, é representada por pacotes de margas, siltitos e calcários micríticos. A deformação observada é progressiva, em nível crustal raso, e em estilo pelicular, apresentando acamamento primário (S0) com direção SW/NE e foliação plano axial (SP) com orientação predominantemente SSW-NNW e cinemática predominantemente reversa com componente transcorrente sinistral com vergência para E/SE. No contexto da evolução tectônica, entende-se que as rochas desse terreno foram submetidas a um rifteamento durante a tafrogênese Estateriana, fase SAG desse rifte, e posteriormente foram submetidas à orogênese brasileira que desenvolveu uma bacia do tipo antepaís.

Palavras-chave: Formação Quilombo, Formação Sete Lagoas, tectônica pelicular, Tafrogênese Estateriana, bacia de antepaís.

ABSTRACT

This report contributed to the detailing of the geological limits in the region of Unaí County, Minas Gerais State, Brazil, in the 1:50,000 scale geological mapping. The work results with the characterization of turbiditic sequences of the recent-defined geological unit called Quilombo Formation. The Unaí Project area is located in the outer part of the south Brasília Folding Belt. The Quilombo Formation is characterized as a turbiditic sequence with occurrence of volcanic rocks, and presents two interfingered members: Ribeirão da Porteira and Ribeirão do Franco, and is in contact with the Sete Lagoas Formation (Bambuí Group), through a thrust fault. The Ribeirão da Porteira Member is represented by rithmite with a higher psamitic contribution, presenting lithic arenite, lithic greywacke and conglomerate; and the Ribeirão do Franco Member is characterized by rithmite with greater pelitic contribution, containing fine sandstone, siltstone and shales. Volcanic rocks were previously described only in the Ribeirão do Franco Member, and in the present study new volcanic rock occurrences are described in the Ribeirão da Porteira Member. The Sete Lagoas Formation is represented by packages of marls, siltstone and micritic limestone. The deformation observed is progressive, at a shallow crustal level, and in thin skinned style, presenting primary bedding (S0) with SW/NE direction and axial plane foliation (SP) with predominantly SSW-NNW orientation and predominantly reverse kinematics with a sinister transcurrent component with vergence for E/SE. In the context of tectonic evolution, it is understood that the rocks of this terrain were subjected to a rifting during the Sthaterian tafrogenesis, SAG phase of this rifting, and were subsequently submitted to Brazilian orogenesis developing a foreland basin.

Keywords: Quilombo Formation, Sete Lagoas Formation, thin skinned tectonics, Sthaterian Tafrogenesis, Foreland basin.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas e Técnicas
ALOS	<i>Advanced Land Observing Satellite</i>
ANM	Agência Nacional de Mineração
ANP	Agência Nacional do Petróleo
ASA	Amplitude do Sinal Analítico
AVNIR-2	<i>Advanced Visible and Near Infrared Radiometer-type 2</i>
CODEMIG	Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais
Cps	Contagens por segundo
CMA	Campo Magnético Anômalo
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESA	Agência Espacial Europeia
eTh	Equivalente de Tório
eU	Equivalente de Urânio
FDB	Faixa de Dobramentos Brasília
GPS	Sistema de Posicionamento Global
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
JAXA	<i>Japan Aerospace Exploration Agency</i>
K	Porcentagem do potássio
MDE	Modelo Digital de Elevação
MG	Minas Gerais
MPQrp	Membro Ribeirão da Porteira
MPQrf	Membro Ribeirão do Franco
MSI	<i>Multispectral Instrument</i>
NIR	Infravermelho Próximo
PALSAR	<i>Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar</i>
ppm	Partes por milhão
PRISM	<i>Panchromatic Remote-Sensing Instrument for Stereo Mapping</i>
S0	Acamamento Primário
Sp	Foliação Plano Axial
SFC	Cráton do São Francisco
SWIR	Ondas Infravermelho Curtas
USGS	Serviço Geológico dos Estados Unidos
UTM	Universal Transversa de Mercator

LISTA DE FIGURA

Figura 1.1 - Mapa de localização e disposição das subáreas do Projeto Unaí.	16
Figura 1.2 - Mapa de pontos da Subárea II, incluindo pontos de controle e pontos de afloramento.	17
Figura 1.3 - Mapa de relevo da região do Projeto Unaí, ao extremo oeste da área tem-se um forte domínio de relevo do tipo Patamar. Na porção centro leste da Subárea II pode-se observar um predomínio de um relevo do tipo Serra.	18
Figura 1.4 - Mapa de solos da região do projeto Unaí, é possível observar na Subárea II Neossolos litólicos ao extremo oeste, na porção central da área tem-se uma predominância de cambissolo, e a extremo leste pode-se observar uma predominância de latossolo vermelho.	20
Figura 1.5 - No gráfico é possível observar a precipitação, temperaturas máximas e mínimas relativo a cada mês. Podem-se destacar os meses de junho e julho, onde a precipitação é mínima e as temperaturas máximas e mínimas são as menores do ano. Enquanto os meses de novembro, dezembro e janeiro apresentam as maiores temperaturas e taxas de precipitação do ano (fonte: Clima Tempo).	21
Figura 1.6 - Mapa Base da Subárea II, com polígonos em azul indicando as áreas que evidenciam a atividade antrópica.	22
Figura 2.1 - Mapa geológico da Faixa Brasília no leste do Cráton do São Francisco (SFC).	24
Figura 2.2 - Coluna estratigráfica da Formação Quilombo. Modificada de Moura (2018) e Campos et. al (2021).	26
Figura 2.3 - Coluna estratigráfica do Grupo Paranoá na área-tipo de Alto Paraíso de Goiás/Distrito Federal (modificada de Faria 1995). Fonte: Campos et al., (2013).	28
Figura 2.4 - Coluna estratigráfica do Grupo Canastra (Modificada de Dardenne, 2000).	30
Figura 2.5 - Coluna estratigráfica do Grupo Vazante, compilada de Dardenne (2000). Fonte: Moura, 2018.	31
Figura 2.6 - Coluna estratigráfica do Grupo Bambuí, compilada de Dardenne (2000).	34
Figura 3.1 - Composições coloridas das imagens do Sentine-2 da dato de 26/09/2020. (A) R4/G3/B2: composição colorida no padrão cor verdadeira. (B) R8/G4/B3: composição que realça a vegetação fotossinteticamente auxiliando a extração das drenagens.	37
Figura 3.2 - Imagem ALOS com hillshading com azimute de 315° e altitude de 45 na área do Projeto Unaí – 2020 – Minas Gerais.	38
Figura 3.3 - Mapa de lineamentos morfoestruturais do Projeto Unaí e diagrama de rosetas correspondente. Os lineamentos foram extraídos pelo software PCI Geomatica através da ferramenta Line: Lineament Extraction.	39
Figura 3.4 - Mapa de lineamentos morfoestruturais do Projeto Unaí e diagrama de rosetas correspondente. Os lineamentos estão sobre relevo sombreado.	40
Figura 3.5 - Mapa de fointerpretação da Subárea II separado em zonas homólogas, contendo alinhamentos, lineação em feixe e lineação em série.	41
Figura 3.6 - Mapa das concentrações de Potássio (%), Tório equivalente (ppm) e Urânio equivalente (ppm).	44
Figura 3.7 - Mapas de composição ternárias, RGB e CMY.	44
Figura 3.8 - Fluxograma dos produtos magnetométricos.	47
Figura 3.9 - Campo Magnético Anômalo, em destaque a área do Projeto Unaí.	47
Figura 3.10 - A derivada vertical z (DZ) e a amplitude do sinal analítico (ASA), foram gerados a partir do campo magnético anômalo (CMA). O polígono em vermelho representa a área do Projeto Unaí.	48
Figura 3.11 - Derivada TILT. O polígono vermelho em destaque representa a área do Projeto Unaí.	49
Figura 3.12 - Individualização de domínios em mapa de amplitude de sinal analítico (ASA).	50
Figura 3.13 – Localização da linha sísmica R0240_São_Francisco_045_PSTM.	52

Figura 4.1 - Coluna estratigráfica integrada da área do Projeto Unaí mostrando as principais características de cada unidade mapeada.	53
Figura 4.2 - Esquema de distribuição das 9 (nove) fácies turbidíticas de uma corrente de turbidez de Mutti (retirado de D'Ávila & Paim, 2003, modificado de Mutti, 1992).....	56
Figura 4.3 - Mapa geológico da Subárea II, na escala 1:50.000.	58
Figura 4.4 - Seção Estratigráfica esquemática confeccionada com dados coletados na Subárea II. Nesta seção foram observados ritmitos com maior aporte de sedimentos psamíticos. A espessura das camadas de arenitos varia de decimétricas a métricas, enquanto os pacotes de siltitos apresentam espessuras centimétricas a decimétricas. Já as camadas de grauvasca apresentam espessuras individuais desde menores que 1 até cerca de 40 centímetros.	59
Figura 4.5 - Paisagem na Subárea II do Projeto Unaí, mostrando a diferença de relevo nos membros da Formação Quilombo. O Membro Ribeirão da Porteira exibe um relevo mais acidentado e predominância de vegetações rasteiras, enquanto no Membro Ribeirão do Franco tem-se relevos suaves e vegetação típica de campos sujos variando até vegetação típica de cerrado.	60
Figura 4.7 - Fotomicrografia da amostra 20-IX-99 a nicois paralelos na imagem A. e a nicois cruzados na imagem B. Nesta imagem podem-se observar fragmentos líticos de pelitos.....	63
Figura 4.8 - Litoarenito mal selecionado, com grãos subarredondados e com baixa esfericidade. A: Em nicois paralelo. B: Em nicois cruzados.	64
Figura 4.9 - Afloramento evidenciando o comportamento do contato entre as camadas individuais, mostrando brusco entre camada de grauvasca lítica e camada de siltito laminado.....	65
Figura 4.10 - Seção da lâmina da grauvasca lítica pobremente selecionada, fina, com grãos subangulosos com moderada esfericidade.	66
Figura 4.11 - Siltito laminado intemperizado de coloração rosada/amarelada encontrado em corte de estrada.	67
Figura 4.12 - Folhelhos intercalados com litoarenitos e grauvacas.	67
Figura 4.13 - Afloramento de rocha vulcânica afanítica em drenagem e amostra de mão de rocha vulcânica microporfirítica. Fácies vulcânica no Membro Ribeirão do Franco.....	68
Figura 4.14 - Seção da lâmina do Membro Ribeirão do Franco mostrando a feição em forma de “olhos” ...	69
Figura 4.15 - Sistema deposicional turbidítico da Formação Quilombo evidenciando as fácies associadas aos depósitos mais proximais (fração mais grossa) e distais (fração mais fina).....	70
Figura 4.16 - Afloramento de rochas do Grupo Bambuí, Formação Sete Lagoas, encontrado em leito de drenagem. Intercalação de níveis pelíticos com e sem contribuição carbonática.....	71
Figura 4.17 - Formação Sete Lagoas, em elevado grau de alteração, mostrando coloração rosada com preservação da laminação da rocha. Afloramento em ravina erosiva na área II.	71
Figura 4.18 - Bloco diagrama esquemático mostrando o modelo deposicional de rampa carbonática, proposto para a Formação Sete Lagoas por Vieira et al. (2007).	72
Figura 5.1 - Estereograma evidenciando o comportamento do acamamento primário (S0), com predomínio de mergulho para SW, com mergulhos que variam de 23° a 88°.	74
Figura 5.2 - Afloramento em lajedo (a e b), mostrando padrão assimétrico com vergência para leste. Estas estruturas correm comumente em ritmitos do Membro Ribeirão do Franco.	75
Figura 5.3 - Clivagem espaçada em rochas de composição psamíticas da Formação Membro Ribeirão do Franco. A foliação Sp (344/69) obliqua a S0 (063/48), apresentando uma clivagem espaçada.	76
Figura 5.4 - Estereograma referente a foliação Sp com mergulhos variando de 24 ° a 83 ° para SW.	76
Figura 5.5 - a. Slickenlines em litologia quartzoarenítica do membro Ribeirão da Porteira. b. Slickenlines no litoarenito no Membro Ribeirão da Porteira com estereograma indicando cinemática transpressiva sinistral, com topo para nordeste.	77
Figura 5.6 - Exemplo de fraturas de par conjugado desenvolvidas em rochas do Membro Ribeirão da Porteira, apresentando restrito deslocamento.	78
Figura 5.7 - Diagrama de roseta de fraturas da Subárea II. Nota-se direção preferencial N33°W e N25°E...	78

Figura 5.8 - Brecha de falha de escala decimétrica, fragmentos de pelitos tabulares deslocados, indicando um comportamento dúctil-rúptil. Encontrado em um afloramento de drenagem no Membro Ribeirão do Franco.	79
Figura 5.10 - Sessão Esquemática da Subárea II, com enfoque ao contato entre o Membro Ribeirão do Franco e a Formação Sete Lagoas do Grupo Bambuí. Essas rochas afloram em drenagens encaixadas no perímetro destacado no mapa, compondo uma janela estrutural.	81
Figura 6.1 - Balanço hídrico e armazenamento de água no solo na estação de Unai, a mais próxima do perímetro estudado. Normais climatológicas de 1981 a 2010.	84
Figura 6.2 - Mapa de zoneamento hidrogeológico da área do Projeto Unai 2020, em que se evidenciam os três domínios de aquíferos e seus respectivos sistemas, assim como a precipitação média anual da região e o diagrama de rosetas dos lineamentos morfoestruturais.	86
Figura 6.3 - Diagrama de roseta de fraturas do Projeto Unai 2020. Nota-se direção preferencial N25°W e outras na direção E-W.	88
Figura 6.4 - Instalação de poços fora na normativa da ABNT. A: Possível cisterna sem a isolamento e vedação sanitária adequada. B: Poço tabular sem a proteção sanitária adequada.	91
Figura 6.5 - Ilustração do sistema de caixa de recarga com a calha de captação de água da chuva e a caixa de infiltração de recarga artificial (Cadamuro, 2010).	92
Figura 7.1 - Interpretação da linha sísmica Cristalina Unai. Os pontos X-Y indicados na imagem mostra que a linha passa pela área do projeto Unai, nas áreas V e VI.	94
Figura 7.2 - Figura esquemática mostrando a forma de ocorrência do embasamento cristalino na região do município de Unai-MG. As rochas do embasamento estão expostas devido a erosão que evidenciou pequenas janelas estruturais. Fonte: Moura (2018).	95
Figura 7.3 - Bloco diagrama representando as etapas iniciais do estágio rift e deposição das rochas do Grupo Araí.	96
Figura 7.4 - Bloco diagrama destacando a deposição do Grupo Traíras em um contexto de bacia do tipo SAG.	96
Figura 7.5 - Bloco diagrama representando a deposição das rochas turbidíticas da Formação Quilombo, com o vulcanismo associado.	98
Figura 7.6 - Bloco diagrama que ilustra a deposição da bacia Paranoá, indicando como ocorreu a deposição do Grupo Paranoá.	99
Figura 7.7 - Bloco diagrama mostrando o contexto tectônico deixado pela orogênese brasileira.	100
Figura 8.1 - Mapa de áreas requeridas categorizadas por substância mineral na área do Projeto Unai, segundo do ANM (2021).	102
Figura 8.2 - Pelitos da Formação Sete Lagoas apresentando elevado grau de alteração.	103
Figura 8.3 - a.b. Relevo montanhoso característico do Membro Ribeirão da Porteira, com trilhas para motocross e trekking. c.d. Gruta Sapezal com formações rochosas de estalagmites e estalactites e um espelho d'água de 200 metros de diâmetros encontrado na Subárea XII. e. Queda d'água localizada na Subárea XIV.	105
Figura 9.1 - Comparação entre o mapa gerado pelo Projeto Unai-MG (esquerda) com o mapa confeccionado pela CPRM (2015) (direita).	108
Figura 9.2 - Mapa mostrando as ocorrências de rochas vulcânicas no Membro Ribeirão da Porteira e Membro Ribeirão do Franco (modificado Campos et al., 2021).	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Bandas Espectrais para os sensores Sentinel-2 (4 de 10 m de resolução; 6 de 20 m de resolução; e 3 de 60 m de resolução).	36
Tabela 3.2 - Código da cenas que compõem a área do projeto e a data da aquisição do dado do satélite Alos.	37
Tabela 3.3 - Descrição das zonas homólogas da Subárea II.	41

Tabela 3.4 - Informações técnicas dos instrumentos.	42
Tabela 3.5 - Descrição dos domínios gamaespectométricos.	46

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	14
1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Apresentação	14
1.2 Justificativas	14
1.3 Objetivos	15
1.4 Localização e Vias de Acesso	15
1.5 Metodologia	16
1.7 Solos	19
1.8 Clima e Cobertura Vegetal	20
CAPÍTULO 2	23
2 GEOLOGIA REGIONAL	23
2.1 Província Tocantins	23
2.2 Faixa de Dobramentos Brasília	23
2.3 Porção Externa da Faixa Brasília	25
2.3.1 Formação Quilombo	25
2.3.2 Grupo Paranoá	26
2.3.3 Grupo Canastra	29
2.3.4 Grupo Vazante	31
2.3.5 Grupo Bambuí	33
CAPÍTULO 3	35
3. GEOTECNOLOGIAS	35
3.1 Introdução	35
3.2 Sensoriamento Remoto	35
3.3 Natureza dos Dados Orbitais	35
3.3.1 Imagem Sentinel - 2	35
3.3.2 Imagem ALOs	36
3.4 Mapa de Lineamentos Morfoestruturais	38
3.5 Mapa Fotointerpretado	40
3.6 Aerogeofísica	41
3.6.1 Gamaespectometria	42
3.6.2 Magnetometria	46
3.7 Sísmica de Reflexão	51
3.7.1 Aquisição de dados sísmicos do Projeto Unai	51
CAPÍTULO 4	53
4. ESTRATIGRAFIA, PETROGRAFIA E SISTEMAS DEPOSICIONAIS	53
4.1 Estratigrafia e Petrografia	53
4.1.1 Introdução	53
4.1.2 Litoestratigrafia do Projeto Unai	54
4.1.3 Fundamentos Teóricos	54
4.1.4 Geologia Local	56
4.2 Formação Quilombo	56
4.3 Caracterização Faciológica	60
4.3.1 Fácies F3	61
4.3.2 Fácies F6	63
4.3.3 Fácies F7	64
4.3.4 Fácies F8	66
4.3.5 Fácies F9	67
4.4 Petrografia das Rochas Vulcânicas	68
4.5 Sistema Depositional da Formação Quilombo	69
4.6 Grupo Bambuí	70
4.6.1 Formação Sete Lagoas	70

CAPÍTULO 5	73
5. GEOLOGIA ESTRUTURAL	73
CAPÍTULO 6	83
6. ZONEAMENTO HIDROGEOLÓGICO	83
6.1 Introdução	83
6.2 Mapa de Zoneamento Hidrogeológico	84
6.3 Classificação e Caracterização dos Aquíferos	87
6.3.1 Aquíferos do Domínio Freático ou Intergranulares	87
6.3.2 Domínio Aquífero Fraturado	87
6.3.3 Domínio Aquífero Fissuro-Cárstico	88
6.4 Poços e Parâmetros	88
6.5 Considerações Finais	90
CAPÍTULO 7	93
7. EVOLUÇÃO GEOLÓGICA	93
7.1 Introdução	93
7.2 Contexto Geológico Não Aflorante	95
7.3 Contexto Geológico Aflorante	97
7.3.1 Sistema Turbidítico - Formação Quilombo	97
CAPÍTULO 8	102
8. POTENCIAL ECONÔMICO	102
8.1 Introdução	102
8.2 Potencialidades Geoeconômicas Mineraias	103
8.2.1 Potencial para Pb e Zn ± Cu	103
8.2.2 Potencial para Argila	103
8.2.3 Potencial para Dolomito Agrícola e Agregados	103
8.2.4 Potencial para Mineralização de Fosfato	104
8.2.5 Potencial para Mineralização de Ouro	104
8.3 Potencialidades Geoeconômicas Não Mineraias	104
CAPÍTULO 9	107
9. DISCUSSÕES E RECOMENDAÇÕES	107
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

O Projeto Unai foi um trabalho desenvolvido pelos alunos de graduação do curso de Geologia da Universidade de Brasília. O trabalho compreende as atividades conduzidas pelas disciplinas de “Preparação para Mapeamento Geológico Final” e “Trabalho de Mapeamento Geológico Final”, realizadas no semestre 2020/1 e 2021/1 respectivamente.

O Projeto Unai consistiu em um trabalho de mapeamento geológico em escala 1:50.000 de uma área total de 651 km² localizada na região noroeste do estado de Minas Gerais, no município de Unai que dá nome ao projeto. A área focada neste trabalho situa-se na porção externa da Faixa de Dobramentos Brasília, no segmento sul, que se dispõe ao longo da parte oeste do Cráton São Francisco, compreendendo a Formação Quilombo além dos grupos Paranoá, Canastra, Vazante e Bambuí.

Nesse contexto, foram definidas quatorze subáreas e cada subárea foi mapeada por uma dupla de estudantes. Composto por vinte e oito alunos divididos em quatorze duplas, o projeto contou com a coordenação do Professor Dr. José Eloi Guimarães Campos e a colaboração dos professores Dra. Eliza Inez Nunes Peixoto, Dr. Martino Giorgioni e do Mestre Lucas Santos Batista Teles. É importante ressaltar que o produto cartográfico final e as principais observações são de cunho regional. No entanto, o presente relatório terá por enfoque a Subárea II.

1.2 Justificativas

Durante os últimos anos, as sucessões turbidíticas encontradas na área do Projeto Unai foram definidas como pertencentes à Formação Serra da Lapa (Moura *et al.*, 2016), Formação Serra do Garrote (Rodrigues, 2008; Pimentel *et al.*, 2012) ou como unidade indivisa do Grupo Vazante (Pinho *et al.*, 2017). Os estudos dessas sequências de rochas mostraram inconsistências na correlação estratigráficas na região do Município de Unai. Recentemente essa sequência turbidítica foi interpretada como uma nova unidade denominada de Formação Quilombo.

Desta forma, o trabalho visa ao entendimento da sequência turbidítica enquadrada na Formação Quilombo, o detalhamento dos ambientes deposicionais desta unidade e das demais que ocorrem na área e no estudo do contexto tectônico da região. Assim, contribuindo com o entendimento sobre a evolução da geologia da parte externa da Faixa Brasília.

Além disso, o trabalho pretende complementar a formação e capacitação dos estudantes de geologia, já que envolve uma atividade que requer experiência nas mais áreas que compreendem as geociências.

1.3 Objetivos

O principal objetivo do projeto é a elaboração de um mapa geológico em escala 1:50.000 de uma área de 651 km², que foi dividido em quatorze subáreas. Os objetivos específicos incluem: interpretação de imagens aerogeofísicas e de sensoriamento remoto, descrição das unidades geológicas mapeadas, bem como caracterização de estruturas geológicas, descrição petrográfica, análise da evolução geológica e a identificação de possíveis ocorrências minerais na região.

As metas associadas aos objetivos específicos, incluem:

- caracterizar as sequências turbidíticas da região do município de Unai - MG, por meio de estudo de campo, interpretação de imagens aerogeofísicas e de sensoriamento remoto.
- desenvolver análises petrográficas para determinar sua proveniência, classificação e processos. Utilizando os critérios de Folk (1954) para classificação petrográfica de rochas sedimentares, com o objetivo de determinar caracterizar as fácies;
- caracterizar os processos deformacionais através de análises estruturais nas distintas áreas mapeadas;
- identificar possíveis alvos de potenciais econômicos da região e seus controles metalogenéticos.

1.4 Localização e Vias de Acesso

A área do Projeto Unai está localizada na região noroeste do estado de Minas Gerais, no município que dá nome ao projeto, como é possível observar na Figura 1.1. O acesso para a cidade de Unai se dá pela BR-251 e está a uma distância de 165 km de Brasília.

A Subárea II é delimitada pelos vértices |16°29'22.27"S 46°52'24.70"O|; |16°31'32.06"S 46°52'25.80"O|; |16°31'28.99"S 46°59'44.61"O|; e |16°29'18.38"S 46°59'42.55"O|, abrangendo uma área de 52 km². Por um lado, o acesso à leste da Subárea II ocorre pela BR-251 e por vias não pavimentadas com boas condições de uso. Por outro lado, o acesso ao extremo oeste da Subárea II se dá ao sul pela Subárea VI pela estrada do vilarejo denominado Cangalha.

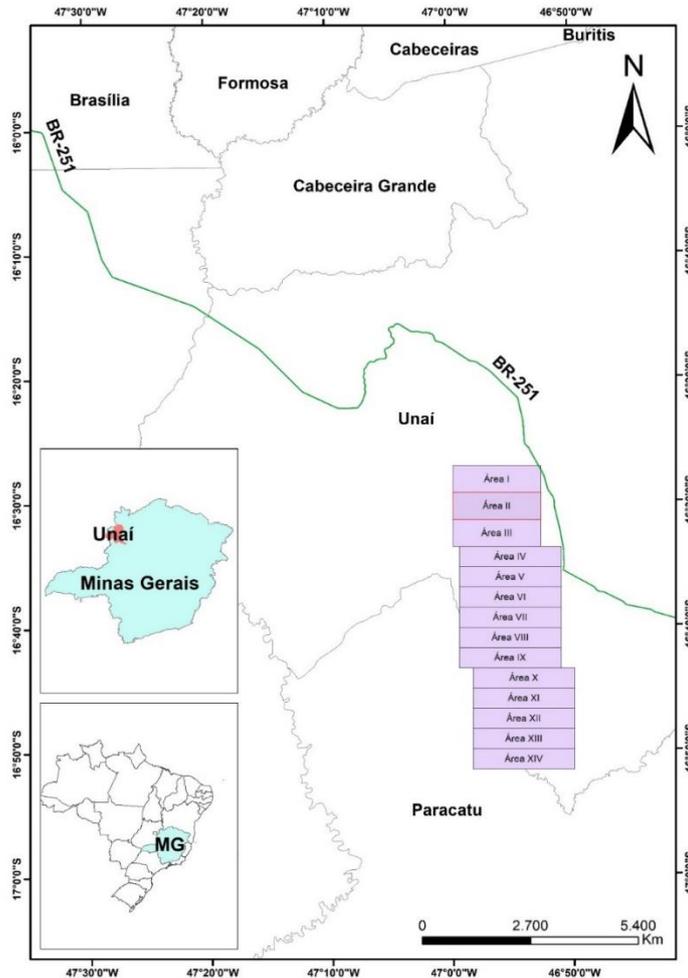


Figura 1.1 - Mapa de localização e disposição das subáreas do Projeto Unai.

1.5 Metodologia

Para alcançar os objetivos do projeto, foram concluídas etapas do projeto que seguiram o cronograma determinado, que serão apresentadas a seguir:

I. Revisão Bibliográfica

Inicialmente foram buscados na literatura os estudos sobre a Faixa de Dobramentos Brasília, focando na porção externa desta faixa. Em seguida, estudos sobre o metamorfismo da região, estratigrafia, relações estruturais e evolução tectônica.

Os estudos foram compilações de artigos, teses, dissertações, entre outros, disponíveis de forma gratuita na internet.

Em seguida foi confeccionada a base geológica para trabalhos de campo. Nessa etapa foi produzido o mapa base da Subárea II, contendo informações da rede de drenagens e vias de acesso, através dos *softwares* ArcMap 10.7 e o Google Earth Pro. O mapa base foi utilizado para definir as zonas homologas junto aos levantamentos geofísicos.

II. Trabalho de campo

O trabalho de campo foi realizado entre os dias 5 e 21 de julho de 2021, totalizando dezessete dias, sendo descritos 132 pontos (controle e afloramento) em uma área que cobre 52 km². A disposição dos pontos obtidos na Subárea II é apresentada no mapa da Figura 1.2. Tomando como base a escala de 1:50.000, o trabalho inclui caminhamento sobre estradas não pavimentadas, trilhas e drenagens, com o objetivo de descrever o maior número de afloramentos possíveis.

No campo foram utilizadas as seguintes ferramentas: sistema de posicionamento global (GPS), utilizado na navegação e coleta da posição; bússola (declinação 26° para oeste), para coleta de dados estruturais e navegação; lupas de mão, ácido clorídrico 10% e aplicativos de navegação usados em aparelho de telefonia móvel (Google Maps, Avenza Maps e FieldMove Clino).

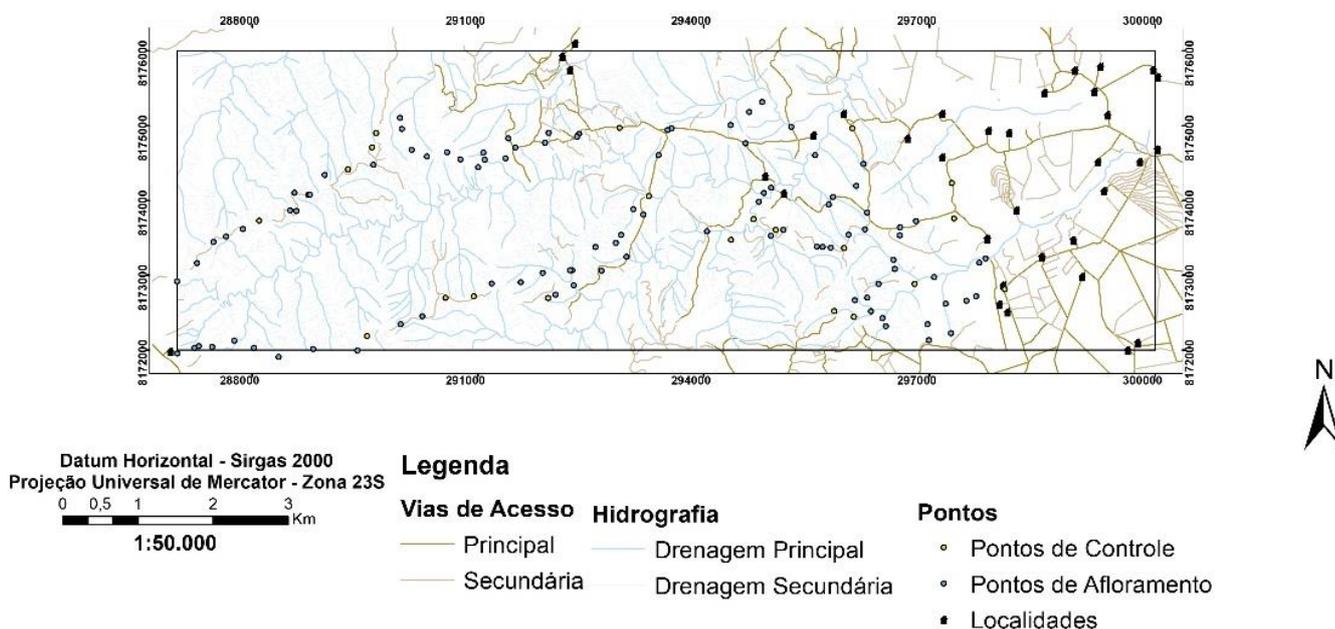


Figura 1.2 - Mapa de pontos da Subárea II, incluindo pontos de controle e pontos de afloramento.

III. Etapa Pós-campo

Esta etapa visou a integração dos dados obtidos em campo e as interpretações feitas durante as etapas de pré-campo e campo, o que resultou na revisão do mapa geológico preliminar e gerou associações mais precisas sobre a geologia local. Os dados estruturais coletados durante a etapa de campo foram tratados utilizando o software ArcMap 10.7 e OpenStereo (Grohmann & Campanha, 2010). Foram confeccionadas lâminas para descrição petrográfica e melhor entendimento das unidades.

Os mapas que compõem o projeto foram confeccionados com auxílio do *software* ArcGis ArcMap 10.7 e as colunas e fotos foram editadas utilizando o *software* Adobe Illustrator (5.12).

1.6 Geomorfologia

Regionalmente, a região pode ser compartimentada em três Domínios Geomorfológicos principais: 1) Extensos planaltos com capeamento sedimentar, denominados de Planaltos Residuais do São Francisco; 2) Amplas depressões dispostas na mesma direção dos principais cursos d'água, representando a depressão Sanfranciscana e 3) Relevo das Cristas de Unaí, constituído de serras alinhadas na direção NNW.

A compartimentação geomorfológica da área de estudo é caracterizada pela presença de planícies, patamares, depressões, serras e planaltos (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010). Especificamente, na Subárea II ocorrem patamares e serras (Figura 1.3).

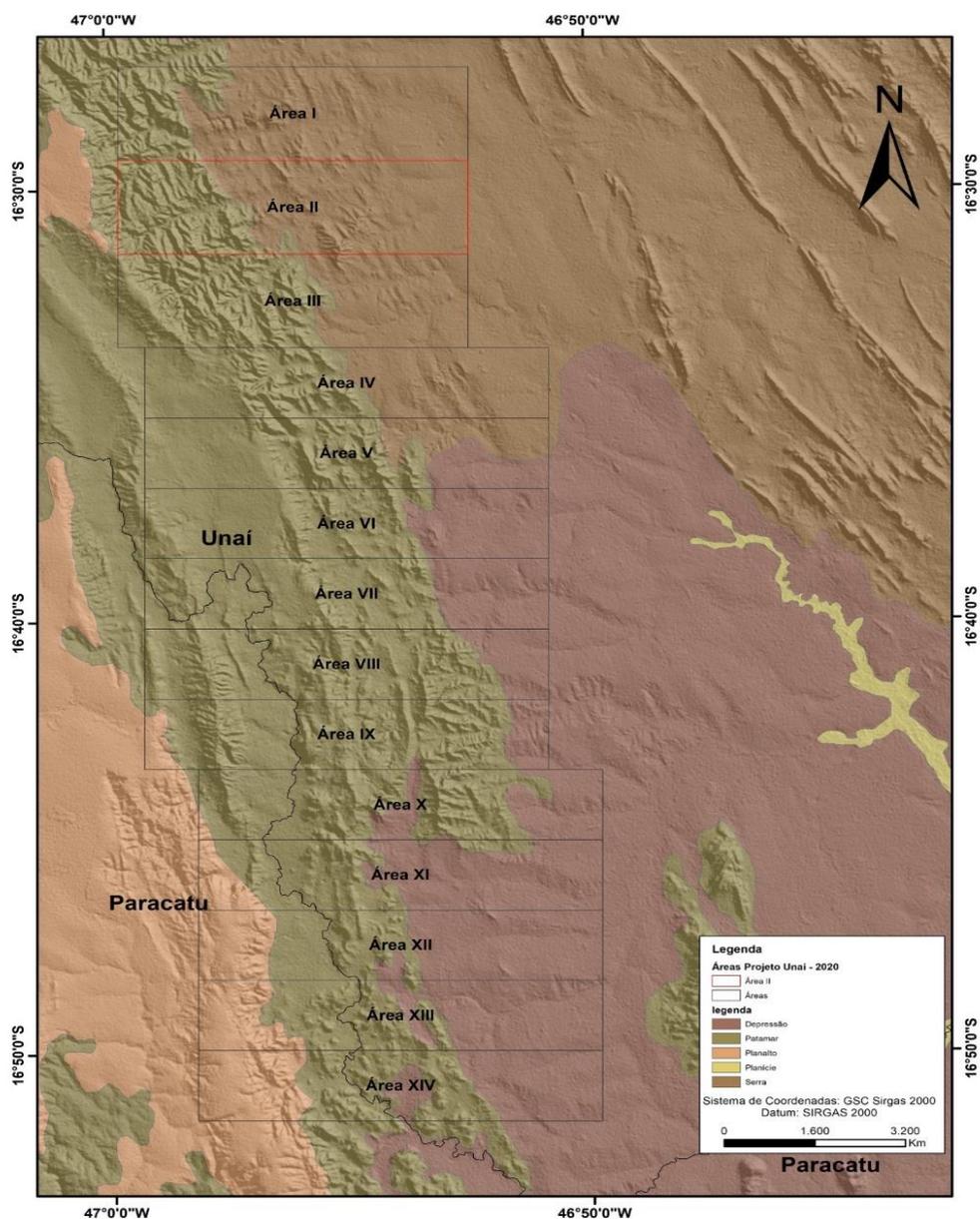


Figura 1.3 - Mapa de relevo da região do Projeto Unaí, ao extremo oeste da área tem-se um forte domínio de relevo do tipo Patamar. Na porção centro leste da Subárea II pode-se observar um predomínio de um relevo do tipo Serra.

As serras representam coberturas rasas ou ausentes, geralmente localizadas em relevos

ondulados de declividade forte, que resultam em drenagens encaixadas. Abrangem a porção SW/NW, e estão relacionados a serras e terrenos movimentados formados por falhas e fraturas do arcabouço estrutural.

O outro domínio, localizado na porção leste da área, é constituído por serras baixas que apresentam contraste altimétrico entre os patamares resultando em relevo suave a suave-ondulado com morros côncavo-convexo e topo arredondado. Essas feições exibem uma cobertura silto-arenosa que também faz parte do domínio planícies, com gradientes extremamente suaves.

1.7 Solos

Na região do projeto são destacados sete tipos de solos (Figura 1.4): Cambissolo Háplico, Gleissolo Háplico, Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho-Amarelo, Neossolo Flúvico, Neossolo Litólico e Plintossolo Pétrico. A denominação dos solos segue os critérios propostos por EMBRAPA (2013).

Na área de estudo, em especial, destacam-se Neossolos Litólicos, Cambissolos Háplicos e Latossolos Vermelhos. Os Neossolos Litólicos estão correlacionados a relevos montanhosos e escarpados em associação direta com topografia mais acidentada. Nesse contexto, ocorrem afloramentos de rochas areno-siltosas (EMBRAPA, 2013). Neste tipo de solo há pouca exploração para uso agrícola devido à baixa fertilidade, alto potencial erosivo e exposições de comuns de rochas.

Os Cambissolos Háplicos, por vezes em associação com Neossolos Litólicos e com Latossolos, são caracterizados por relevo movimentado, ou seja, com formas onduladas e substratos silto-arenosos. Ao contrário dos Neossolos, esses tipos apresentam certa aptidão à exploração agrícola na região devido a sua fertilidade natural variável.

Os Latossolos Vermelhos são encontrados nas áreas mais planas da região, e apresentam textura argilosa e são comumente bastante estruturados. Nessa região concentra a maior parte das atividades agrícolas e principalmente pecuárias.

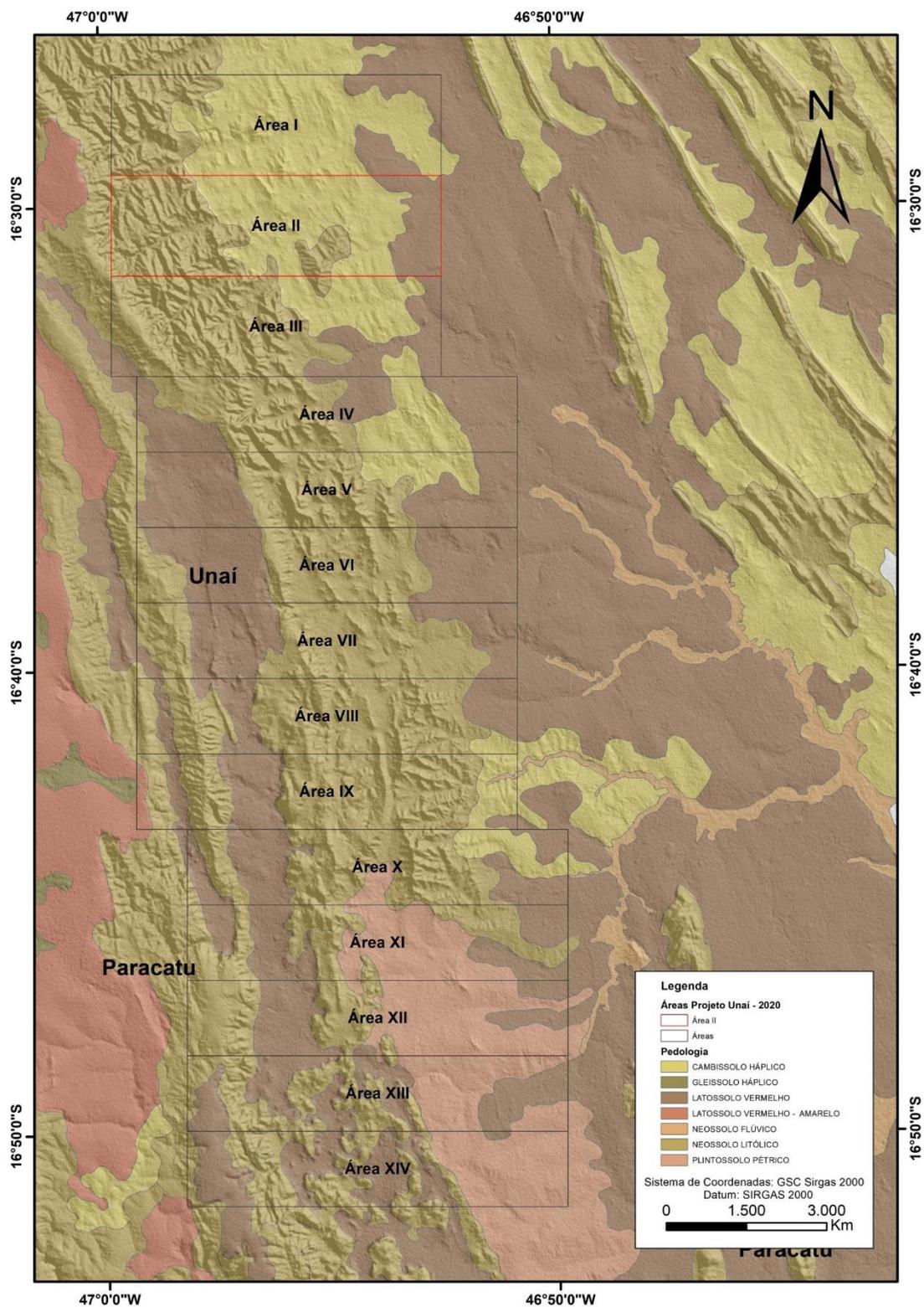


Figura 1.4 - Mapa de solos da região do projeto Unaí, é possível observar na Subárea II Neossolos litólicos ao extremo oeste, na porção central da área tem-se uma predominância de cambissolo, e a extremo leste pode-se observar uma predominância de latossolo vermelho.

1.8 Clima e Cobertura Vegetal

O clima da região é tropical, com invernos secos e frios e verões quentes e chuvosos. A precipitação pluvial média anual na região é de 1.322mm, com temperaturas médias que variam de 32°C a 20°C, caracterizado com períodos de seca entre maio e setembro, sendo os meses de chuva entre outubro e abril (INMET, 2010). A época mais fria do ano corresponde aos meses de junho e julho, período em que a temperatura pode atingir cerca de 10°C. A Figura 1.5 mostra o comportamento do clima no decorrer do ano, no município de Unaí.

Os dados apresentados representam o comportamento da chuva e da temperatura ao longo do ano. As médias climatológicas são valores calculados a partir de uma série de dados de 30 anos observados (Clima Tempo, 2021).

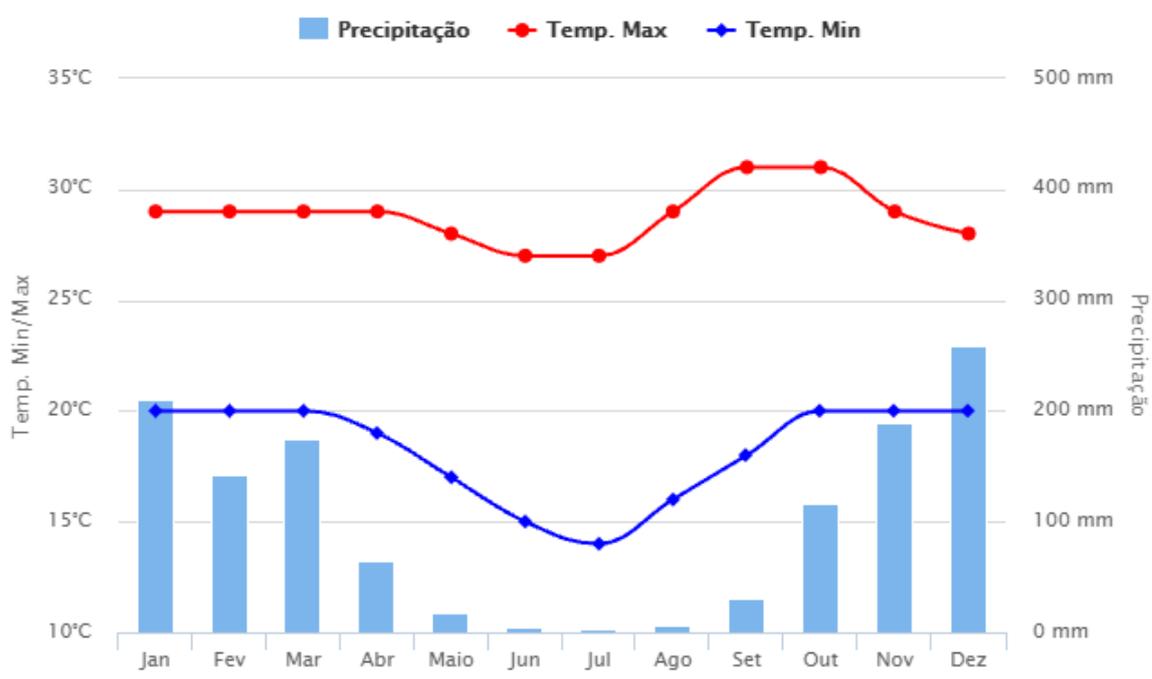


Figura 1.5 - No gráfico é possível observar a precipitação, temperaturas máximas e mínimas relativo a cada mês. Podem-se destacar os meses de junho e julho, onde a precipitação é mínima e as temperaturas máximas e mínimas são as menores do ano. Enquanto os meses de novembro, dezembro e janeiro apresentam as maiores temperaturas e taxas de precipitação do ano (fonte: Clima Tempo).

O bioma presente na região é o Cerrado, e foi possível identificar três tipos de fisionomia deste bioma, sendo elas;

- I- Campo limpo, que é uma fitofisionomia com presença rara de arbusto sendo característica também a ausência de árvores.
- II- Campo sujo, que é um tipo fisionômico arbustivo-herbáceo, em que os arbustos se mostram espaçados. São características desse tipo de vegetação árvores menos desenvolvidas.
- III- Mata de Galeria, que é a vegetação que acompanha os rios de pequeno porte e as drenagens na área, formando corredores fechados sobre os cursos de água chamados de galerias.

A vegetação nativa ainda se encontra preservada nas áreas em que o relevo é bastante

movimentado, já ao extremo leste da área Subárea II onde o relevo é mais plano observa-se grandes áreas com vegetação nativa suprimida para a formação de pastagens (Figura 1.6). A pecuária e a agricultura são importantes motores do desenvolvimento econômico da região de Unaí.

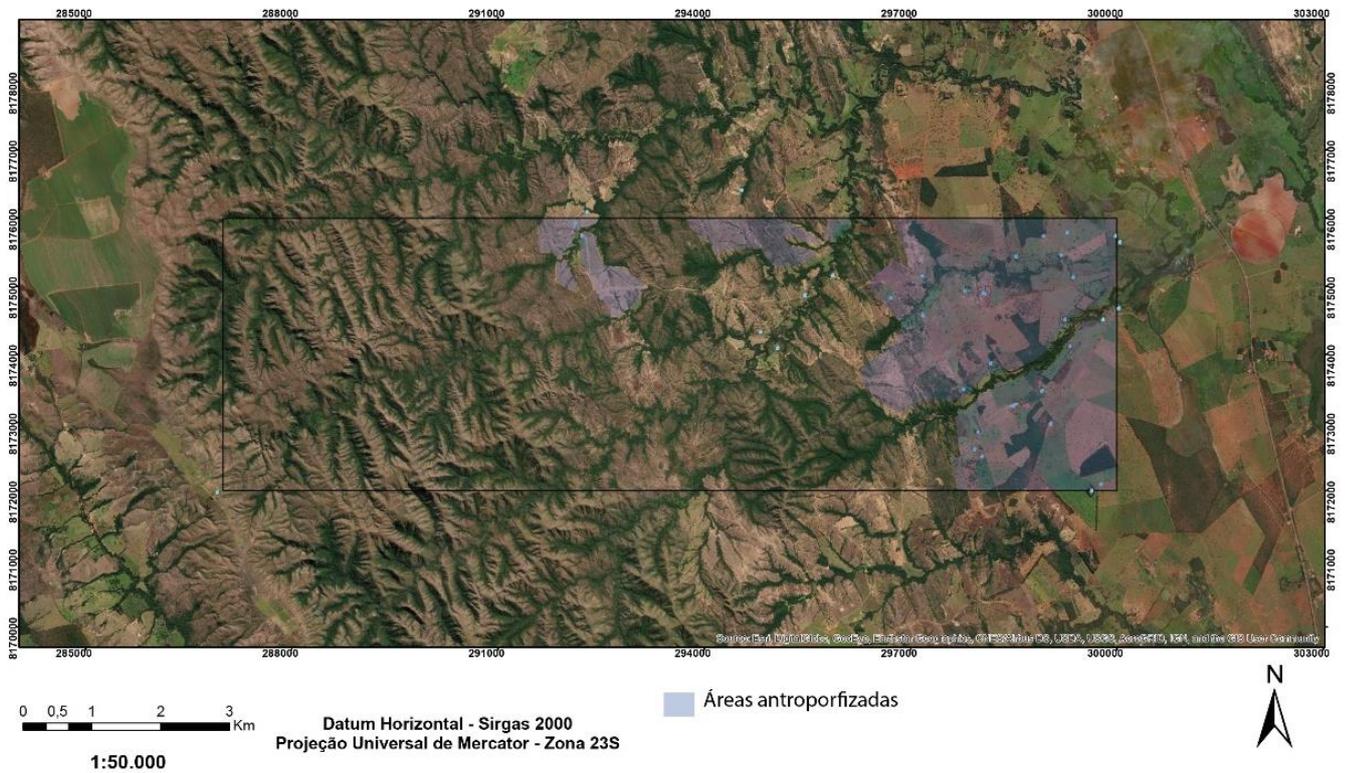


Figura 1.6 - Mapa Base da Subárea II, com polígonos em azul indicando as áreas que evidenciam a atividade antrópica.

CAPÍTULO 2

2. GEOLOGIA REGIONAL

A área de estudo ocorre no contexto geotectônico da Província Tocantins, mais precisamente na Zona Externa da Faixa de Dobramentos Brasília. O contexto geológico da área abrange a Formação Quilombo além dos grupos Paranoá, Canastra e Bambuí. A descrição do Grupo Vazante será incluída para que se possam ter subsídios para a distinção desta unidade das demais.

2.1 Província Tocantins

A Província Tocantins está localizada na porção central do Brasil, situada entre os crátons Amazônico e São Francisco, limitando-se a norte pela bacia sedimentar do Parnaíba e a sul pela bacia sedimentar do Paraná (Almeida *et al.*, 1977). É definida como um sistema orogênico neoproterozoico resultante da colisão entre os crátons Amazônico, São Francisco e Paranapanema. Decorre da amalgamação do supercontinente Gondwana durante o Evento Brasileiro, que resultou na formação dos cinturões de dobramentos e cavalgamentos das faixas Araguaia, Brasília e Paraguai.

2.2 Faixa de Dobramentos Brasília

A Faixa de Dobramentos Brasília é um extenso sistema de dobramentos neoproterozoico que ocupa a porção centro-leste da província, tendo sido estabelecida nas margens oeste e sul do Cráton do São Francisco (Fuck, 1994) (Figura 2.1). A Faixa Brasília se estende por mais de 1000 km na direção norte-sul, e apresenta importantes variações longitudinais sendo estruturada em dois segmentos: norte, com direção preferencial NE-SW, e sul, com direção preferencial NW-SE (Almeida, 1981; Dardenne, 2000). Esses segmentos são chamados de Faixa Brasília Norte (Setentrional) e Faixa Brasília Sul (Meridional) e sua junção ocorre na chamada Sintaxe dos Pirineus (Araújo Filho, 2000), uma grande estrutura que apresenta uma direção WNW-ESE e se localiza na região central da faixa. O metamorfismo da FDB apresenta um caráter progressivo, sendo que o grau metamórfico tende a aumentar de leste para oeste (Marques, 2009).

Fuck *et al.*, (2005) dividiram a faixa Brasília em 4 unidades tectônicas principais: (I) Arco Magmático de Goiás, compostos pelos arcos de Mara Rosa (norte) e Arenópolis (sul), são caracterizados como arcos de ilha neoproterozoicos juvenis; (II) Maciço de Goiás, composto por um bloco exótico granito-*greenstone* acrescido à FDB na Orogênese Brasileira; (III) Núcleo metamórfico, que apresenta rochas de natureza diversificada e distinta, incluindo metassedimentos, granitoides e intrusões máfica-ultramáficas acamadadas, granulitizadas no

evento Brasileiro. Fazem parte desse núcleo o Complexo Anápolis-Itauçu e o Complexo Uruaçu, além dos complexos de Canabrava, Barro Alto e Niquelândia; e por último (IV) Cinturão de Dobras e Empurrões formado por uma espessa sequência sedimentar representada pelos grupos Bambuí, Paranoá, Vazante, Canastra, Ibiá e Araxá, além de sequências rifte-sag dos grupos Araí, Serra da Mesa e Natividade (Fuck *et al.*, 2005; Marques, 2009).

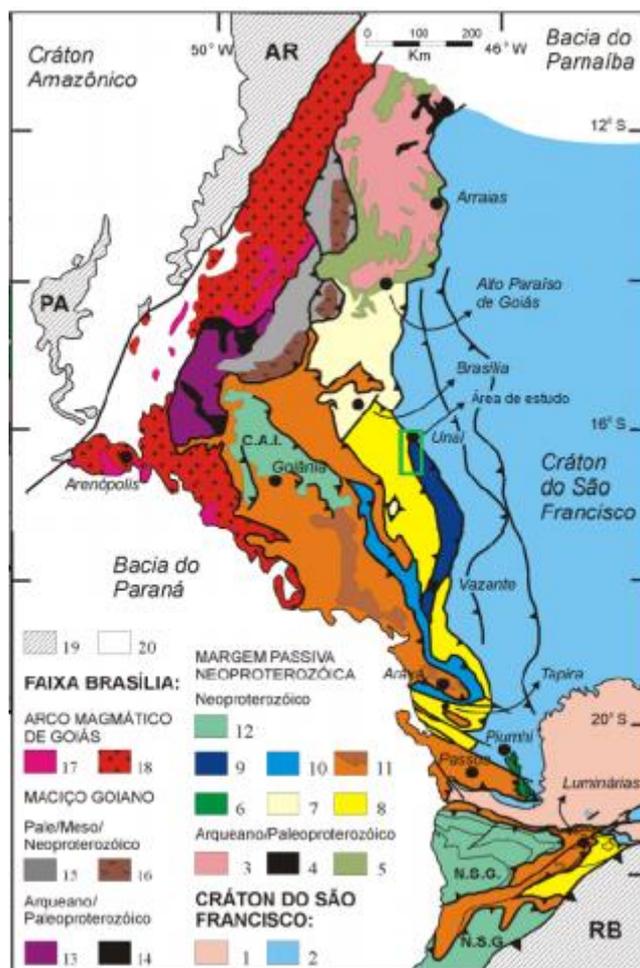


Figura 2.1- Mapa geológico da Faixa Brasília no leste do Cráton do São Francisco (SFC).

Legenda: 1 - terrenos granito greenstone e gnaiss-migmatíticos arqueano/paleoproterozoicos; 2 - Coberturas metassedimentares autóctones/parautóctones (Grupos S. João del Rei, Carandaí, Andrelândia, Bambuí); 3 - terrenos granito greenstone, gnaiss-migmatíticos arqueanos/ paleoproterozoicos; 4 - Greenstone-belts arqueanos paleoproterozoicos; 5 - Sucessões de rifte Paleo a mesoproterozoico (Grupo Araí); 6 - Sistema de Cavalgamento Ilicínea-Piumhi. Sucessões neoproterozoicas de margem passiva: 7 - Grupo Paranoá; 8 - Grupo Canastra; 9 - Grupo Vazante, 10 - Grupo Ibiá; 11 - Grupos Araxá e Andrelândia e rochas metabásicas toleíticas associadas; complexos de melanges ofiolíticas; lascas de embasamento alóctone, granitos leucocráticos sincolisionais (castanho); 12 - nappes granulíticas (C.A.I - Complexo Anápolis-Itauçu; N.S.G. - Nappe Socorro-Guaxupé); 13 - complexos granitognaiss-migmatíticos arqueanos/paleoproterozoicos; 14 - greenstone-belts arqueano/paleoproterozoicos; 15 - sucessões vulcano-sedimentares de rifte mesoproterozoicos (Juscelândia, Palmeirópolis, Serra da Mesa); 16 - complexos básico-ultrabásicos acamadados meso/neoproterozoicos; 17 - sucessões vulcano-sedimentares meso a neoproterozoicas; 18 - ortognaisses e rochas granitoides neoproterozoicas; 19 - faixas Paraguaia (PA), Araguaia (AR) e Ribeira (RB); 20 - coberturas sedimentares fanerozoicas. (Valeriano *et al.*, 2004 e modificado por Moura, 2018).

O conjunto de rochas metassedimentares da Faixa Brasília apresenta contextos tectônicos distintos (Fuck, 1994): i) os grupos Araxá e Ibiá representam as bacias sin-orogênicas com idade máxima de deposição de 630 Ma; ii) os grupos Paranoá, Canastra, Vazante, e a porção sudeste dos grupos Araxá e Ibiá representam uma sequência de margem passiva de idade máxima de deposição de 0,9 Ga; e iii) o Grupo Bambuí representa uma bacia de retroarco (Rodrigues, 2008; Pimentel *et al.*, 2011; Sabaraense, 2016).

2.3 Porção Externa da Faixa Brasília

A Porção Externa da Faixa Brasília é composta por unidades metassedimentares do mesoproterozoico (grupos Paranoá, Canastra, Vazante, Paracatu, Ibiá e porções do seu embasamento) estruturadas em cinturões de dobras e empurrões com extensas falhas de empurrão que invertem a estratigrafia (Dardenne, 2000; Uhlein *et al.*, 2012).

O seguimento sul apresenta características estruturais e tectônicas bem distintas do seguimento norte. O seguimento norte apresenta baixo grau metamórfico, e o seguimento sul na porção interna da faixa mostra que a deformação e o metamorfismo foram muito intensos, não permitindo o detalhamento da relação estratigráfica entre as unidades (Dardenne, 2000).

A porção meridional da faixa é descrita por Fuck *et al.*, (2005) como uma sucessão de *nappes* com transporte dominante para leste. Os autores subdividem três compartimentos: sendo a primeira a porção mais externa, abarcando depósitos sedimentares de margem passiva, representada pelo cinturão de dobras e empurrões com vergência para o Cráton do São Francisco; o segundo ocupa o eixo da faixa, onde se expõe rochas de alto grau do complexo Anápolis-Itauçu; e o terceiro ao sudeste da faixa, expõe-se o prolongamento do arco magmático, parcialmente encoberto pela Bacia do Paraná.

2.3.1 Formação Quilombo

Durante os últimos anos, o conhecimento sobre o Grupo Vazante passou por algumas mudanças devido a dificuldades de correlação estratigráficas na região do Município de Unaí. Definido anteriormente como parte da sequência do Grupo Vazante como Formação Serra da Lapa por Dardenne, 2000, passou a ser enquadrada por uma nova unidade denominada Formação Quilombo por Campos *et al.*, (2021).

Essa mudança se deu devido à incerteza em estabelecer uma idade de deposição do Grupo Vazante, pois, datações de Re/Os nos folhelhos negros do grupo apresentam idades mesoproterozoicas; no entanto, em um trabalho recente Alvarenga (2019) combina diferentes tipos de datações: idades de zircões detríticos, perfis de isótopos de carbono, razões de $^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$ e microfósseis vasiformes, indicando uma idade Toniana para o Grupo Vazante. A Formação

Quilombo está posicionada estratigraficamente entre o Grupo Traíras (1543 ± 31 Ma) e o Paranoá (Esteniano). As datações de cristais de zircões de rochas vulcânicas intermediárias pelo método U-Pb resultaram em uma idade de 1394.46 ± 19.4 Ma, o que corroborou para que fosse proposta uma nova unidade de idade mesoproterozoica (Campos *et al.*, 2021).

Descrita por Campos *et al.*, (2021), a Formação Quilombo é caracterizada por uma sucessão psamo-pelítica-ritmítica com associação de rochas vulcânicas, que apresentam intenso dobramento. As fácies e suas associações são interpretadas como sistemas turbidíticos de águas profundas. A unidade foi dividida em dois membros (Figura 2.2) com características distintas: Membro Ribeirão da Porteira e Membro Ribeirão do Franco.

O Membro Ribeirão da Porteira constitui de intercalações de litoarenitos, grauvacas líticas com raras camadas de conglomerados, e essa associação de rochas é interpretada como deposição mais proximal (Moura, 2018). O acamamento da unidade apresenta contato planares com estruturação predominante maciça, podendo haver laminações e marcas de ondas. O conglomerado é clasto-suportado, sendo que esses clastos são representados por arenitos e siltitos (Campos *et al.*, 2021).

O Membro Ribeirão do Franco é caracterizado por ritmitos com camadas delgadas de arenitos finos e siltitos ou folhelhos, com estruturas do tipo laminação cruzada e raras marcas onduladas assimétricas e também por rochas vulcânicas intermediárias a ácidas, que são interpretadas como depósitos formados em regiões mais distais do sistema turbidítico (Moura, 2018). O contato entre esses metassedimentos com as rochas vulcânicas é abrupto (Campos *et al.*, 2021).

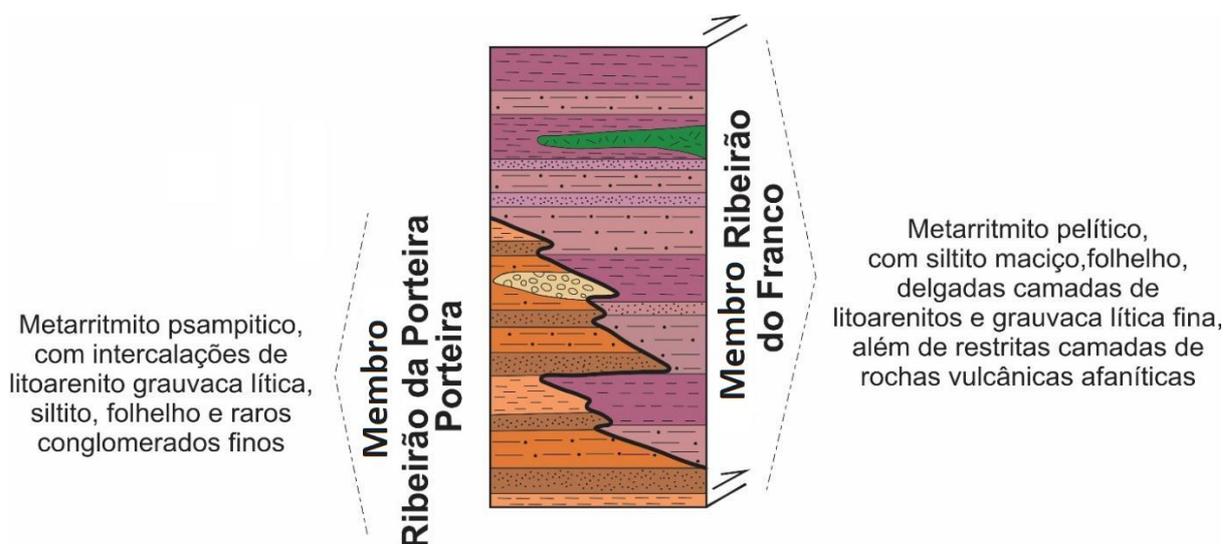


Figura 2.2 - Coluna estratigráfica da Formação Quilombo. Modificada de Moura (2018) e Campos *et. al* (2021).

2.3.2 Grupo Paranoá

O Grupo Paranoá corresponde a uma sucessão psamo-pelito-carbonatada depositada em condições plataformais, interpretada como de margem passiva (Faria & Dardenne, 1995) com idade mínima de deposição do Grupo Paranoá é de 1.042 Ma e idade máxima de 1.542 Ma (Matteini *et al.*, 2012). Em questões metamórficas, a sucessões de metassedimentos do grupo apresentam baixo grau metamórfico. Na zona interna, o grau metamórfico e a deformação são mais pronunciados, caracterizado por filitos carbonosos, quartzitos e metacarbonatos, enquanto a zona externa apresenta caráter anquimetamórfico até fácies xisto verde baixo, apresentando os litotipos característicos como conglomerados, ardósias, metarritimitos, metacalcários e metadolomitos (Campos *et al.*, 2013).

Esta unidade litoestratigráfica foi inicialmente dividida em 12 unidades informais identificadas por letras-código, da base para o topo: SM, R1, Q1, R2, Q2, S, A, R3, Q3, R4 e PC. Campos *et al.*, (2013) propuseram a formalização das formações do grupo, da base para o topo: Ribeirão São Miguel, Córrego Cordovil, Serra da Boa Vista, Serra Almécegas, Serra do Paranã, Ribeirão Piçarrão, Ribeirão do Torto, Serra da Meia Noite, Ribeirão Contagem, Córrego do Sansão e Córrego do Barreiro (Figura 2.3).

- Formação Ribeirão São Miguel apresenta conglomerados matriz-suportados, predomina clastos de 1 a 4 cm, subangulos, de quartzitos finos ou médios, metassiltitos, mármore finos, imersos em uma matriz arenosa e cimentos de carbonatos.
- Formação Ribeirão Córrego Cordovil é caracterizada por metarritmito, representado por intercalações regulares de quartzitos micáceos, finos a médios, que geralmente dão feldspáticos, com camadas e lâminas de metassiltitos e metassiltitos argilosos.
- Formação Serra da Boa Vista é composta por quartzitos finos a médios, e menos frequentemente com grãos grossos e grânulos de quartzo, e raras intercalações de horizontes síltico-argilosos.
- Formação Serra Almécegas apresenta metarritmitos caracterizado por lâminas, lentes e camadas de quartzitos finos, metassiltitos argilosos e metagrauvacas quartzosas.
- Formação Serra do Paranã é caracterizada por camadas decimétricas a métricas de quartzitos amarelos-ocres de granulação média a grossa. Na unidade ocorrem ortoquartzitos com grãos arredondados e esféricos e quartzitos feldspáticos angulosos.
- Formação Ribeirão Piçarrão é composto por metassiltitos argilosos que podem apresentar intercalações arenosas compondo metarritmitos ou lentes de calcários e dolomitos
- Formação Ribeirão do Torto apresenta ardósias, sendo que próximo ao limite superior ocorrem intercalações síltico-argilosas milimétricas a centimétricas.

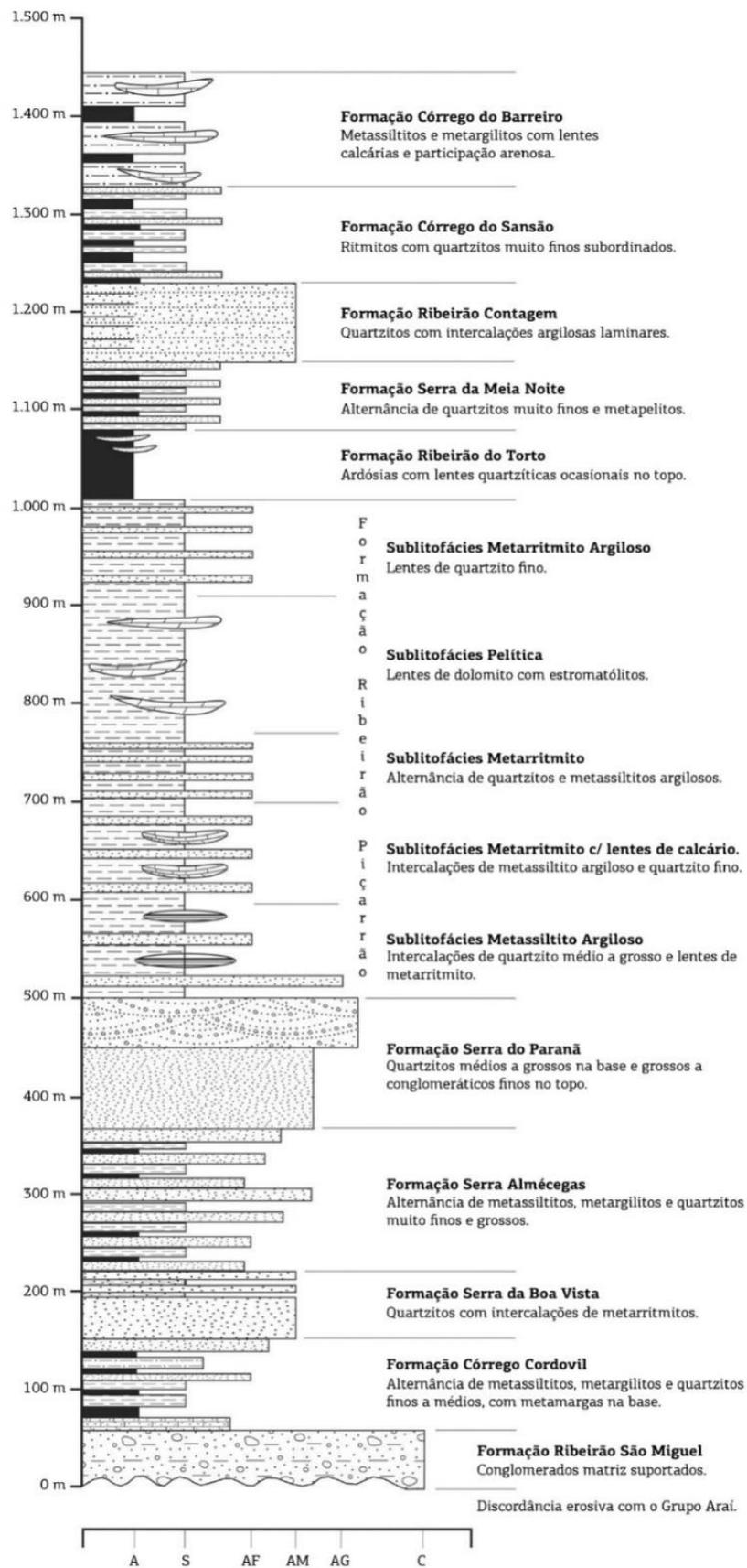


Figura 2.3 - Coluna estratigráfica do Grupo Paranoá na área-tipo de Alto Paraíso de Goiás/Distrito Federal (modificada de Faria 1995). Fonte: Campos et al., (2013).

Legenda: A: Argila; S: Silte; AF: Areia Fina; AM: Areia Média; AG: Areia Grossa; C: Cascalho.

- Formação Serra da Meia Noite corresponde quartzitos finos a médios com níveis geralmente mais delgados de materiais pelíticos.
- Formação Ribeirão da Contagem é composta por quartzitos brancos finos a médios, de coloração branca ou cinza claro ou escuro, bem selecionados, maduros mineralogicamente e arredondados quando menos recristalizados. Os quartzitos apresentam bastante silicificação e muitas vezes intensos fraturamentos, o que dificulta a percepção do acamamento original, mas em condições de maior intemperismo, é possível identificar o acamamento plano-paralelo em bancos decimétricos a métricos. Apresenta estratificações de pequeno a médio porte, sendo cruzadas tabulares, acanaladas e do tipo espinha de peixe, além de, menos frequente, marcas onduladas assimétricas. Próximo a base e ao topo da formação ocorre lentes de metarritmitos, com espessuras variando de decimétricas até 10 m.
- A Formação Córrego do Barreiro, localizada estratigraficamente no topo do grupo, apresenta contato transicional com a Formação Córrego do Sansão, que é caracterizada pelo aumento gradual dos metargilitos sobre os quartzitos e metassiltitos. Nessa formação ocorrem metalamitos siltosos de coloração cinza prateado com laminações, ou as vezes, foliações e aspecto sedoso. É comum a presença de estromatólitos dos tipos colunares e cônicos, além de esteiras algais. Adicionalmente também ocorrem quartzitos médios, grossos e até conglomeráticos e rochas carbonáticas de coloração escura, caracterizadas pela presença de micrita ou intraclásticos e dolomitos localmente estromatolíticos. Essas rochas apresentam níveis decimétricos a métricos, lenticulares ou não. A geometria lenticular pode ser interpretada como interdigitação com fácies pelíticas e podem ter diâmetros de centenas de metros, sendo que as maiores alcançam mais de um quilômetro.

2.3.3 Grupo Canastra

Descrito inicialmente como Formação Canastra (Barbosa, 1955) e posteriormente designado como Grupo Canastra (Barbosa *et al.*, 1970), representa uma associação de metassedimentos psamíticos e pelíticos com frequente presença de carbonato, depositadas em bacia de margem passiva em contexto de um megaciclo regressivo (Dardenne, 2000). As rochas metamórficas são de baixo grau metamórfico, e estão na fácies xisto verde (Dardenne, 2000). O Grupo Canastra é dividido nas Formações Serra do Landim, Paracatu, Serra da Urucânia e Hidrelétrica do Batalha (Figura 2.4) (Dardenne, 2000).

A porção basal do Grupo Canastra, a Formação Serra do Landim, apresenta margas e lentes calcárias que gradam a calcifilitos e calcixistos ricos em cloritas que vão de coloração verde pálida até cinza esverdeado, com intercalações de quartzitos brancos da Formação Paracatu (Dardenne, 2000).



Figura 2.4 - Coluna estratigráfica do Grupo Canastra (Modificada de Dardenne, 2000).

A Formação Paracatu é subdividida em dois membros, sendo o membro inferior Morro do Ouro, que é composto por camadas de quartzitos, passando por espessas camadas de filitos carbonosos escuros com intercalações de quartzitos finos. No topo, o Membro Serra da Anta é representado por camadas de filitos cinzas e cinza esverdeados com algumas intercalações carbonáticas e finas camadas de quartzitos (Freitas-Silva & Dardenne, 1994).

Formação Serra da Urucânia: composta por um pacote de metarritmitos arenosos com intercalações de quartzitos finos. São interpretados como depositados em ambientes marinhos profundos a pouco profundos, com associação de fácies turbidíticas que passam para plataforma dominada por tempestades em direção ao topo. Desta forma, no conjunto de metassedimentos predominam os metapelitos (filitos) (Freitas-Silva & Dardenne, 1994).

Formação Serra da Batalha: essa formação apresenta predominância de quartzitos finos micáceos. Nessa formação ocorrem estruturas sedimentares tipo cruzadas acanaladas, espinha de peixe e tangenciais de baixo ângulo e é interpretado como depositado em plataforma dominada por marés (Freitas-Silva & Dardenne, 1994).

2.3.4 Grupo Vazante

O Grupo Vazante compreende uma espessa sequência pelito-carbonatada depositada numa plataforma marinha rasa durante um ciclo regressivo (Dardenne, 2000) e posteriormente metamorfizada em fácies xisto verde baixo. Esses metassedimentos são divididos em sete formações (Figura 2.5): Retiro ou Santo Antônio do Bonito, Rocinha, Lagamar, Serra do Garrote, Serra do Poço Verde, Morro do Calcário e Serra da Lapa (Dardenne, 2000).

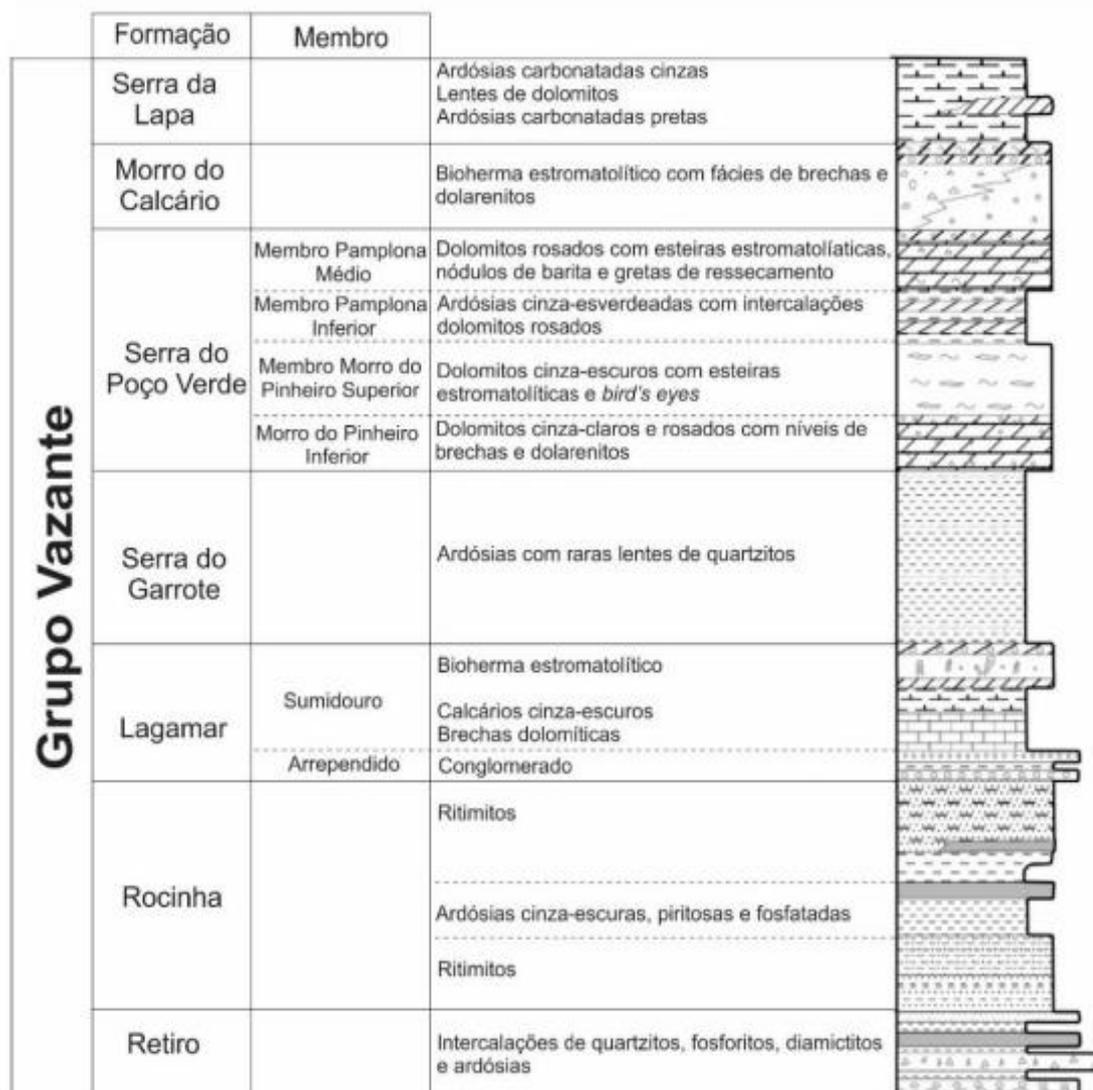


Figura 2.5 - Coluna estratigráfica do Grupo Vazante, compilada de Dardenne (2000). Fonte: Moura, 2018.

A Formação Retiro ou também chamada de Formação Santo Antônio do Bonito, é considerada a formação basal do Grupo Vazante, caracterizada por uma associação de níveis métricos de quartzitos de coloração esbranquiçada, por vezes conglomeráticos, apresentando intercalações de delgados níveis pelíticos. Localmente ocorrem diamictitos de composições que compreendem metapelitos, quartzitos, tonalitos, dolomitos, calcários e granitoides numa matriz pelítica com níveis pelíticos fosfatados. Essas camadas de diamictitos são interpretadas como originadas por fluxos de detritos em ambiente de água relativamente profunda (Dardenne *et al.*, 1998).

Seguindo, a Formação Rocinha é caracterizada por uma rítmica alternância de níveis pelíticos e arenosos que passam a um espesso pacote de siltitos e pelitos. No topo ocorre uma sequência de ardósias e camadas de metassiltitos regularmente intercalados, passando verticalmente para carbonatos cinza escuro e ardósia com pirita e finas laminações fosfáticas que se alternam para fosfarenitos e fosfolutitos calcíferos (Nogueira, 1993 e Dardenne, 2000). Na porção superior ocorrem ritmitos arenosos que hospedam o depósito de fosfato de Lagamar constituído essencialmente por fosfarenitos.

A Formação Lagamar é psamo-pelito-carbonatada e subdivida em dois membros: Arrependido e Sumidouro. O Membro Arrependido é composto por um conglomerado basal com alternância de quartzitos, metassiltitos e ardósias. O Membro Sumidouro apresenta brechas dolomíticas sucedidas por horizontes de calcários cinza escuros estratificados intercalados por brechas lamelares e dolomitos estromatolíticos.

A Formação Serra do Garrote (Madalosso & Vale, 1978; Madalosso, 1980; Dardenne, 1978; Campos Neto, 1984; Dardenne *et al.* 1997, 1998), é interpretada como uma sequência marinha profunda, que apresenta ardósias de coloração verde a cinza, localmente rítmicas, contendo carbonato e pirita com finas intercalações de quartzitos com menor frequência (Madalosso, 1980; Dardenne, 1978a, 2000).

A Formação Serra do Poço Verde consiste em uma sequência predominantemente dolomítica, subdividida em quatro membros da base para o topo: Morro do Pinheiro Inferior, Morro do Pinheiro Superior, Pamplona Inferior e Pamplona Médio. O Morro do Pinheiro Inferior constitui de dolomitos cinzas a rosados maciços com níveis raros de dolarenitos, por vezes oncolíticos, brechas lamelares e lentes de estromatólitos colunares, com intercalações de folhelhos carbonosos e piritosos. Morro do Pinheiro Superior é representado por dolomitos de coloração escura com estruturas *birds eyes* e esteiras algais, com níveis subordinadas de dolarenitos e folhelhos carbonosos com pirita. O Membro Pamplona Inferior é caracterizado por folhelhos carbonáticos, ardósia carbonosa cinza-claro e finos níveis dolomíticos. E o Membro superior da formação, Pamplona Médio, corresponde a dolomitos claros de coloração cinza-claros a rosados

com laminações algais, níveis dolareníticos, estromatólitos colunares e raras lentes de folhelho escuro.

A Formação Morro do Calcário é formada essencialmente por dolomitos, biostromos e biohermas com laminações convexas, além de doloruditos, dolarenitos oolíticos e oncólitos.

Representando o topo do Grupo Vazante, a Formação Serra da Lapa, constitui uma sequência de filitos carbonosos e metassiltitos carbonáticos, lentes carbonáticas e camadas de quartzitos com estromatólitos e esteiras algais, além de finos níveis quartzíticos.

2.3.5 Grupo Bambuí

As rochas que constituem o Grupo Bambuí foram originalmente descritas por Rimman (1917) e consistem basicamente em rochas sedimentares pelíticas e carbonatadas do Neoproterozoico que recobrem diversas unidades da Faixa de Dobramentos Brasília e do Cráton São Francisco. Dardenne (2000) divide o Grupo Bambuí em seis formações: Jequitaí, Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré, Serra da Saudade e Três Marias (Figura 2.6).

A Formação Jequitaí ocorre na base do grupo e representa um depósito glacio-marinho (Uhlein *et al.* 1999), marcado pela presença de camadas de diamictitos contendo seixos de calcário, dolomito, quartzito e gnaisses em uma matriz de cor cinza esverdeada (Dardenne, 2000). Essa associação sedimentar que seguiu a glaciação Jequitaí, é representada por três megaciclos regressivos, iniciados por uma transgressão marinha regional associada com subsidência da bacia. Esse fato possibilitou a deposição de sequências marinhas rasas que gradam para fácies de maré e supramaré (Dardenne, 1981 e 2000).

O megaciclo 1 corresponde a Formação Sete Lagoas, composta por rochas pelito-carbonáticas tais como siltitos, margas, calcários laminados, calcários estromatolíticos e dolomitos. Dardenne (2000) descreve um engrossamento para o topo na Formação Sete Lagoas. Essas rochas foram depositadas em ambientes de intermaré e inframaré em plataforma carbonática e plataforma mista (Nobre-Lopes, 1995; Lima, 1997).

O megaciclo 2 é composto pela Formação Serra de Santa Helena, que é representada por rochas siliciclásticas finas, principalmente siltitos e folhelhos cinza esverdeados intercalados com arenitos finos e lentes de calcários (Lima, 2005); e pela Formação Lagoa do Jacaré, que consiste em calcários cinza escuros depositados em plataforma marinha dominada por ondas de tempestade (Dardenne, 2000).

O megaciclo 3 pode ser descrito pelas formações Serra da Saudade e Três Marias. Composto por rochas siltico-argilosas a Formação Serra da Saudade apresenta lentes irregulares de calcário microcristalino cinza e arenito muito fino com laminação cruzada dando, resultado de uma subida relativa do nível do mar, que indica uma sedimentação como influência de ondas de

tempestade (Alvarenga *et al.*, 2011). A Formação Três Marias composta por arcóseos, arenitos arcoseanos e siltitos, com raras intercalações conglomeráticas intercalados com siltitos arcoseanos de colocação verde. Esta sequência se desenvolveu pela deposição de tempestitos, e apresenta granocrescência ascendente (Chiavegatto, 1992).

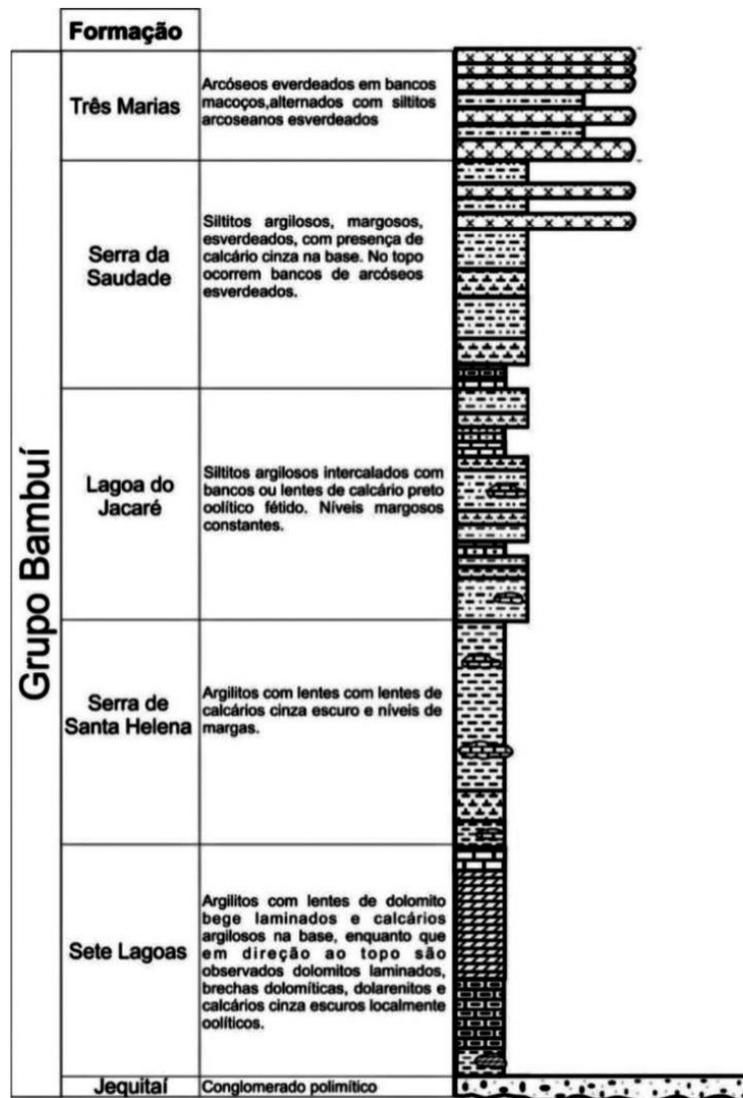


Figura 2.6 - Coluna estratigráfica do Grupo Bambuí, compilada de Dardenne (2000).

CAPÍTULO 3

3. GEOTECNOLOGIAS

3.1 Introdução

As geotecnologias incluem o conjunto de técnicas e métodos para coleta, processamento, análise, armazenamento em banco de dados e disponibilização de informações com referência geográfica. Essas tecnologias são compostas por soluções em hardware e software que unidas configuram como importantes ferramentas para decisões. Dentre as diversas ferramentas disponibilizadas, incluem o sensoriamento remoto, aplicativos de *smartphone* para auxiliar na navegação e levantamentos de aerogeofísica. A manipulação dessas ferramentas compõe uma etapa primordial do mapeamento geológico, em específico no pré-campo, onde todas as informações levantadas são utilizadas para a confecção dos produtos iniciais e preparação para melhor eficiência da campanha de campo.

Ao longo de todo o projeto diversas geotecnologias foram utilizadas, sozinhas ou em conjunto, e nesse capítulo estão descritos os principais métodos e *softwares* utilizados, assim como os produtos gerados.

3.2 Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto é a ciência da obtenção de informações da superfície terrestre à distância, por meio de detecção e monitoramento das repostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres (Meneses & Almeida, 2012). Resumidamente, através do sensoriamento remoto é possível a obtenção de imagens de objetos sem o contato físico direto entre o alvo e o sensor (Arcanjo, 2011).

No Projeto Unai foram utilizados o Sistema de Posicionamento Global (GPS), imagens de satélite e levantamentos aerogeofísicos. As imagens do sensor MSI (*MultiSpectral Instrument*) e *Alos Palsar* foram processadas pelo *software* *ARCGIS 10.7* e *PCI Geomatica*, bem como todos os mapas confeccionados neste projeto.

3.3 Natureza dos Dados Orbitais

3.3.1 Imagem Sentinel - 2

O satélite *Sentinel-2* faz parte do projeto da Agência Espacial Europeia (ESA) e da Comissão Europeia pelo Programa *Copernicus*, que teve como missão o lançamento de dois satélites idênticos (*Sentinel-2A* e *Sentinel-2B*) que operam na mesma órbita síncrona ao Sol, lançados em junho de 2015 e 2017, respectivamente. O sensor levado a bordo é o *Multispectral Instrument* (MSI), que apresenta 13 bandas multiespectrais (Tabela 3.1), visível, infravermelho

próximo (NIR), ondas infravermelho curtas (SWIR), com uma resolução espacial de 10, 20 e 60 metros, apresentando espectro entre 443 a 2190nm (ESA, 2021). O Sensor MSI foi desenvolvido com o intuito de monitoramento da vegetação, solos e áreas costeiras. A imagem foi obtida de forma gratuita por meio do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) no endereço: <http://earthexplorer.usgs.gov> (USGS, 2021).

Resolução	Nr da Banda	Nome da Banda	Comprimento de Onda Central (nm)	Largura da Banda (nm)
10 m	B02	Azul	490	66
	B03	Verde	560	36
	B04	Vermelho	665	31
	B08	NIR (Infravermelho Próximo)	842	106
20 m	B05	Red Edge 1	705	15
	B06	Red Edge 2	740	15
	B07	Red Edge 3	783	20
	B08A	Red Edge 4	865	21
	B11	SWIR 1	1610	91
	B12	SWIR 2	2190	175
60 m	B01	Aerossol	443	21
	B09	Water Vapor	940	20
	B10	Cirrus	1375	31

Tabela 3.1 - Bandas Espectrais para os sensores Sentinel-2 (4 de 10 m de resolução; 6 de 20 m de resolução; e 3 de 60 m de resolução).

A imagem Sentinel-2 aqui utilizada é da data 26/09/2020, que corresponde ao período da seca, pois é o período que tem a menor interferência das nuvens. Foram geradas 2 composições coloridas (Figura 3.1), uma R4/G4/B2 para cor verdadeira que ajudou na extração das estradas e trilhas, e a R8/G4/B3 que realça a vegetação fotossinteticamente mais ativa, que responde com alta reflectância da vegetação nos comprimentos de onda do infravermelho próximo (NIR), as deixando com cor avermelhada, auxiliando a extração da vegetação.

3.3.2 Imagem ALOs

Lançado pela missão da *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA), o satélite *Advanced Land Observation Satellite* (ALOS) teve seu funcionamento entre os anos de 2006 a 2011, com o objetivo de observação detalhadas atuais mudanças no planeta, como condições climáticas, monitoramento de desastres, entre outros. O satélite possui três sensores a bordo: *Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar* (PALSAR), o *Panchromatic Remote-Sensing Instrument for Stereo Mapping* (PRISM) e o *Advanced Visible and Near Infrared Radiometer-type 2* (AVNIR-2). O presente trabalhou com o sensor PALSAR, o código das cenas e a data de

aquisição consta na Tabela 3.2. O sensor possui 4 bandas espectrais, com resoluções que variam entre de 7 até 100 metros e opera com frequências de 1270 MHz. As imagens obtidas de forma gratuita por meio do *Alaska Satellite Facility* apresentam resolução espacial de 12,5 metros e está disponível no: disponível no site: https://search.asf.alaska.edu/#/?dataset=ALOS&productTypes=RTC_HI_RES.

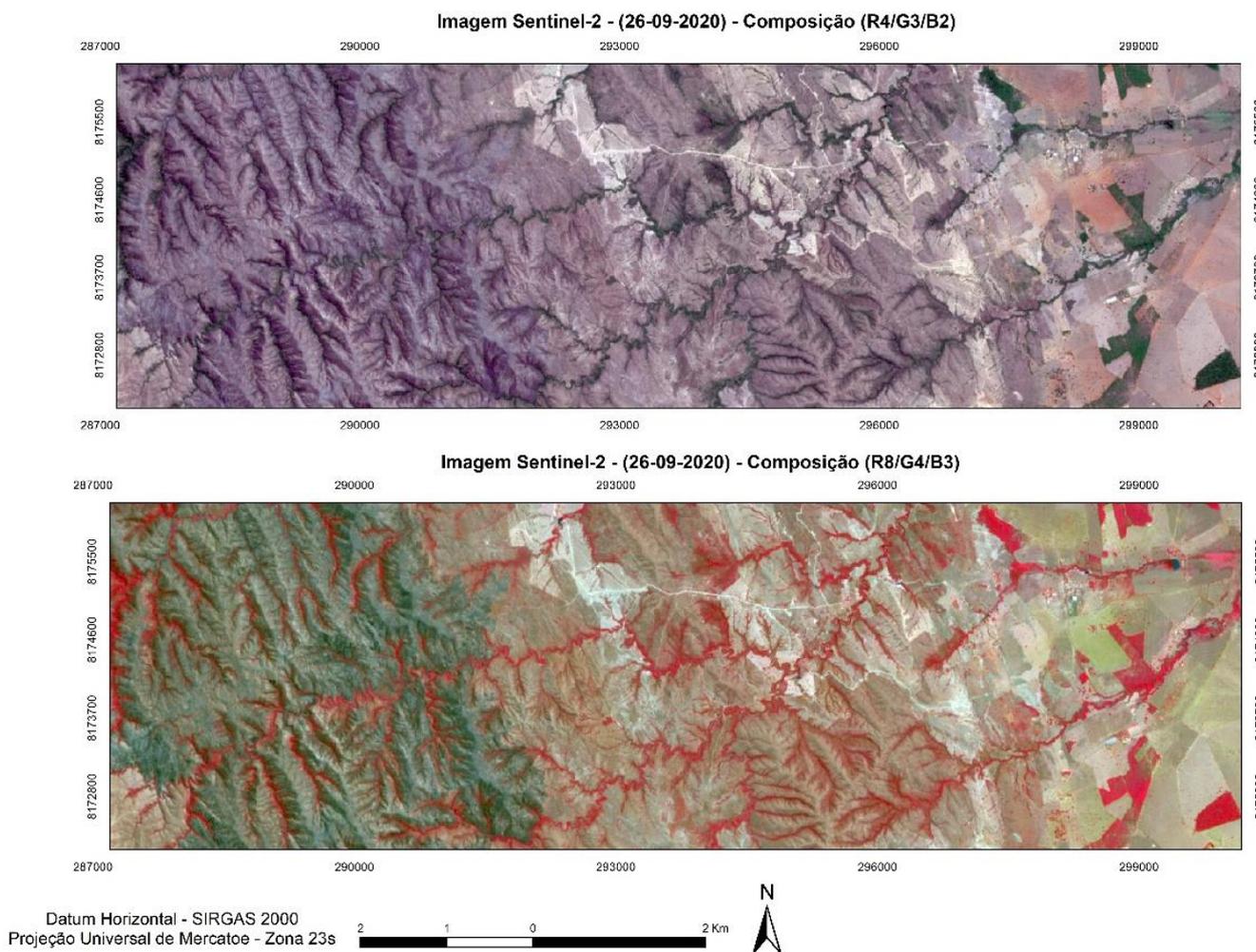


Figura 3.1- Composições coloridas das imagens do Sentine-2 da dato de 26/09/2020. (A) R4/G3/B2: composição colorida no padrão cor verdadeira. (B) R8/G4/B3: composição que realça a vegetação fotossinteticamente auxiliando a extração das drenagens.

Sensor Remoto	Código (ID)	Data da Aquisição
Alos - Palsar	AP_05134_FBS_F6840_RT1	11 de janeiro de 2007
	AP_05134_FBS_F6850_RT1	
	AP_02771_FBS_F6840_RT1	
	AP_02771_FBS_F6830_RT1	

Tabela 3.2 - Código da cenas que compõem a área do projeto e a data da aquisição do dado do satélite Alos.

Posteriormente foi aplicada a técnica de mosaicagem para unir as cenas que compõem a área estudada e a partir disso foi elaborado o modelo digital de elevação (MDE), que tem como função a representação espacial de elementos presentes na superfície. A fim de obter um realce dos lineamentos estruturais foi aplicado a função de sombreamento presente no *software* ArcGis 10.7, *hillshading*, que possibilita a visualização do terreno em determinadas direções com relação a posição do sol (Figura 3.2). O ângulo de iluminação utilizado foi de 315°.

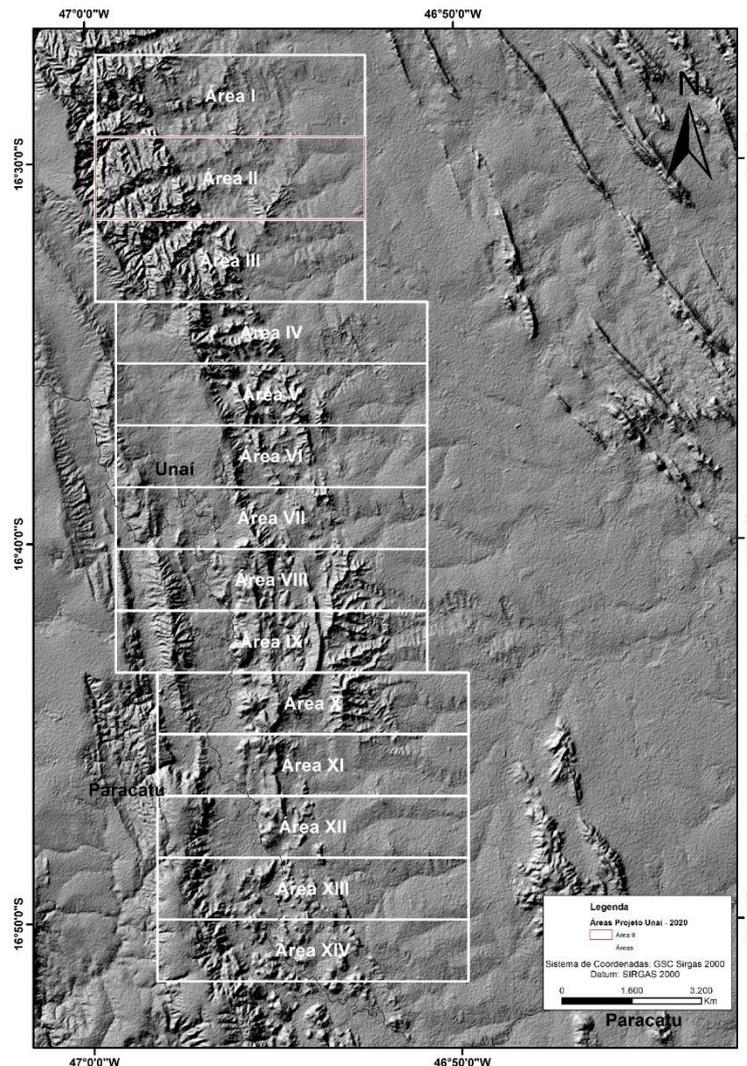


Figura 3.2 - Imagem ALOS com hillshading com azimuth de 315° e altitude de 45 na área do Projeto Unai – 2020 – Minas Gerais.

3.4 Mapa de Lineamentos Morfoestruturais

Através do *hillshading* foi possível confeccionar outros três produtos com o objetivo de extrair os principais lineamentos morfoestruturais do projeto, são estes: (i) A partir do *software* PCI Geomatica extrair os lineamentos regionais de forma automática, utilizando a ferramenta (*Line: Lineament Extraction*); (ii) Através do *software* Arcgis 10.7 extrair os lineamentos

regionais e local por meio da ferramenta *AzimuthFinder*. O diagrama de rosetas com as principais lineações foi confeccionado através do *software* OpenStereo (version 0.1.2f). Através das figuras 3.3 e 3.4 observa-se uma homogeneidade das lineações, com predominância para NNW-SSE e subordinadamente para ENE-WSW.

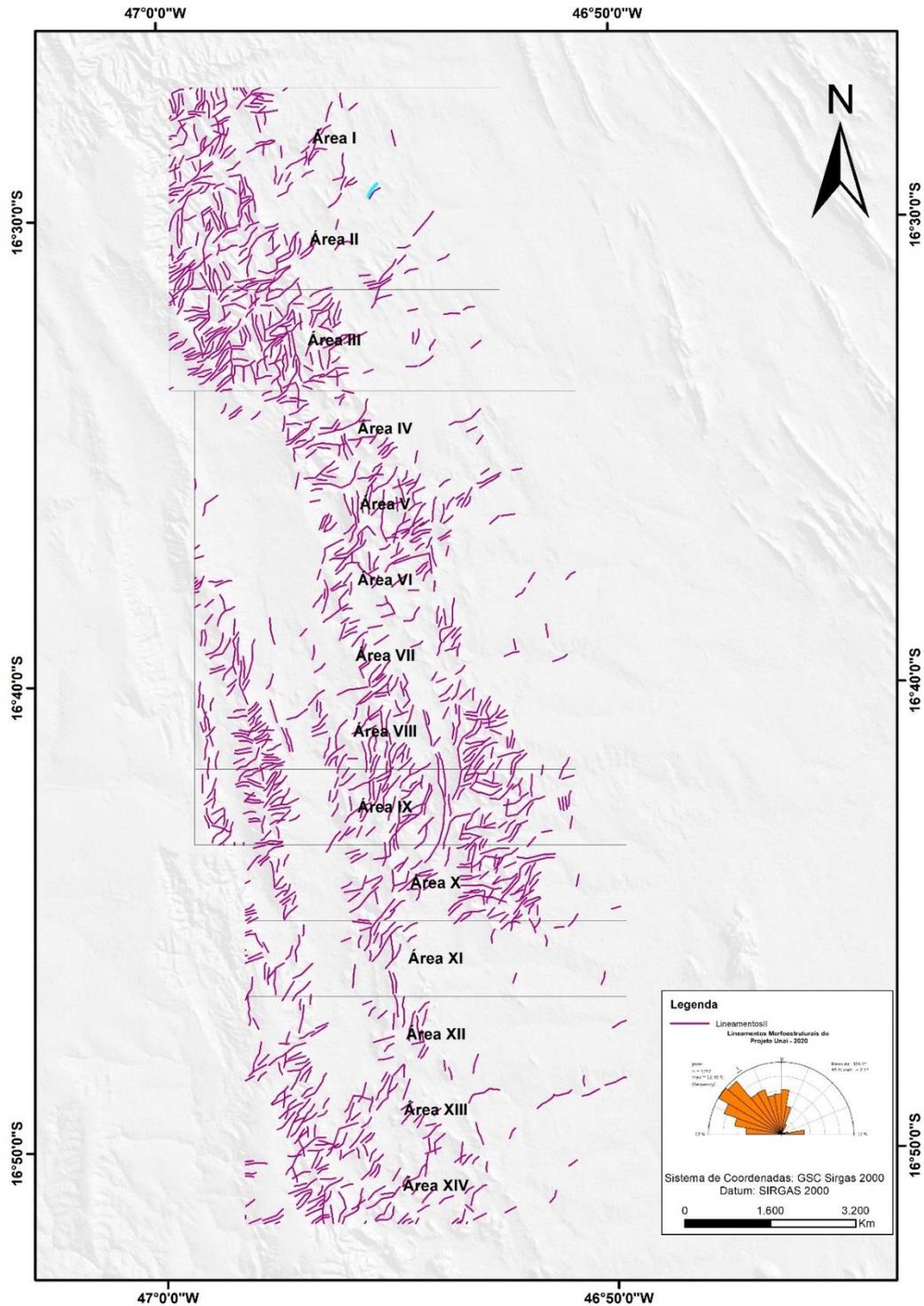


Figura 3.3 - Mapa de lineamentos morfoestruturais do Projeto Unai e diagrama de rosetas correspondente. Os lineamentos foram extraídos pelo software PCI Geomatica através da ferramenta Line: Lineament Extraction

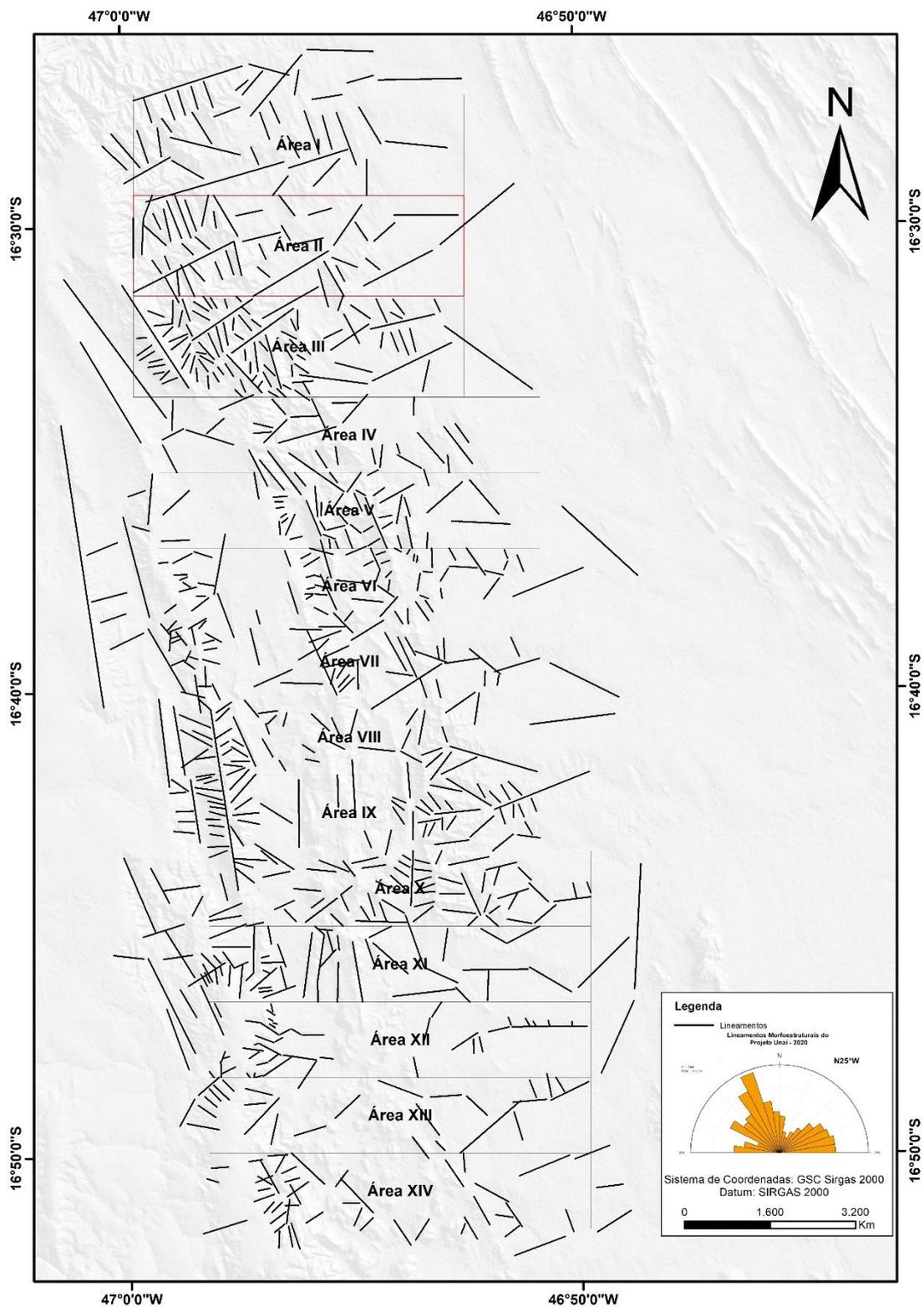


Figura 3.4 - Mapa de lineamentos morfoestruturais do Projeto Unai e diagrama de rosetas correspondente. Os lineamentos estão sobre relevo sombreado

3.5 Mapa Fotointerpretado

O trabalho de fotointerpretação foi um processo importante na etapa pré-campo, pois auxiliou com uma caracterização mais eficiente das unidades encontradas assim como forneceu uma prévia do que poderia ser encontrado em campo em termos de contatos entre as unidades.

Nesta etapa foi elaborado o mapa fotointerpretado que contém os elementos com os elementos (Figura 3.5). A extração das quebras positivas e negativas, lineações em feixe e em série, alinhamentos e definição de zonas homólogas foi realizada utilizando a própria imagem de satélite Sentinel e o relevo sombreado obtido a partir do MDE. Na área foram identificadas quatro zonas homólogas e a partir da fotointerpretação foi possível caracterizar cada uma dessas zonas a partir de elementos como: tipo de relevo, padrão de drenagens, densidade de drenagens, vegetação e texturas/estruturas (Tabela 3.3). As drenagens não foram colocadas na fotointerpretação em função da elevada densidade, o que dificultaria a visualização dos demais elementos fotogeológicos.

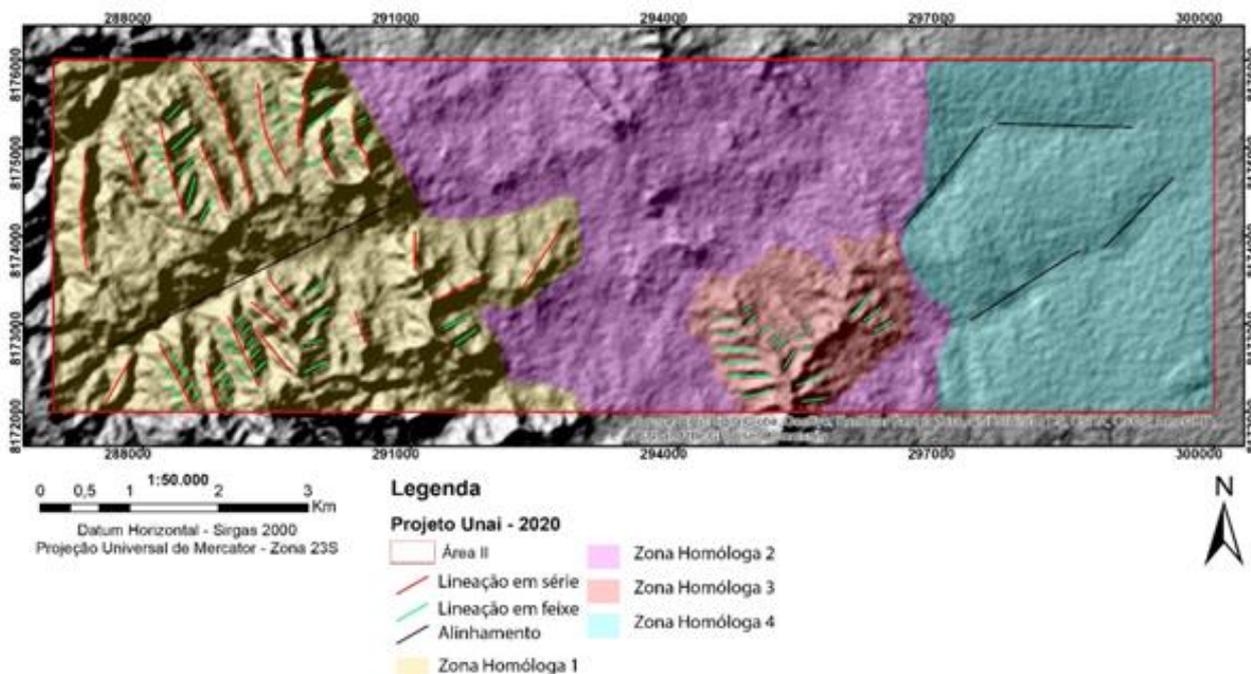


Figura 3.5 - Mapa de fotointerpretação da Subárea II separado em zonas homólogas, contendo alinhamentos, lineação em feixe e lineação em série.

Zonas Homólogas	Relevo	Padrão de Drenagem	Densidade de Drenagem	Vegetação
1	Forte ondulado (Alto topográfico)	Subdendrítico	Alta	Densa nas drenagens, e rasteira nas serras
2	Suave ondulado	Dendrítico	Alta	Densa nas drenagens, e rasteira nas serras
3	Forte ondulado	Paralelo	Alta	Densa nas drenagens, e rasteira nas serras
4	Plano	Anastomosado	Baixa	Pastos

Tabela 3.3 - Descrição das zonas homólogas da Subárea II.

3.6 Aerogeofísica

Na aerogeofísica a coleta de dados é feita por aeronaves, com sensores geofísicos específicos acoplados. Os levantamentos aerogeofísicos cobrem grandes áreas em um tempo curto

e com preço baixo para a aquisição de dados, apresentam alta resolução e exibem certa uniformidade de amostragem ao longo da linha de voo. Estes métodos são costumeiramente usados no auxílio de mapeamentos geológicos e cartográficos, principalmente em fases iniciais, para delimitação de alvos a serem estudados em campo, e provêm informações acerca da geologia estrutural e dos limites entre as unidades geológicas. O Projeto Unai utilizou dados de aerogamaespectrometria e dados de aeromagnetometria, obtidos do Projeto de Levantamento Aerogeofísico de Minas Gerais - Área 01, Unai-Paracatu-Vazante-Coromandel para auxiliar no processo cartográfico geológico da região do projeto.

Os dados utilizados foram cedidos pela CODEMIG (Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais), através do Programa de Levantamento Aerogeofísico de Minas Gerais/ Área 1, Unai-Paracatu-Vazante-Coromandel. O programa foi coordenado pela Secretaria de Minas e Energia do Governo de Minas Gerais - SEME, que firmou contrato com a Lasa Engenharia e Prospecções S.A. para realizar a aquisição e processamento dos dados (Lasa, 2001).

Os dados foram coletados entre os meses de agosto e dezembro de 2000. Para a realização do levantamento, foram utilizadas duas aeronaves equipadas com magnetômetro de bombeamento ótico de vapor de césio da Scintrex, modelo CS-2, e gamaespectrômetro multicanal Picodas, modelo PGAM-1000, e sistema de navegação GPS Picodas/Novatel de 12 canais. As informações técnicas dos instrumentos estão listadas na Tabela 3.4.

Aeromagnetômetro		Aerogamaespectrômetro				
Sensor	Scintrex CS-2	Canal Radiométrico	Janela de energia (MeV)		Canais Correspondentes	
Resolução	0,001 nT	Contagem Total	0,41	2,81	35	240
Faixa	20.000 – 95.000 nT	Potássio	1,37	1,57	117	134
Montagem	<i>Stinger</i>	Urânio	1,66	1,86	142	159
		Tório	2,41	2,81	206	240
		Cósmico	3	6	255	

Tabela 3.4 - Informações técnicas dos instrumentos.

As linhas de voo foram orientadas N30E e as linhas de controle N60W e a altura de voo foi fixada em 100 metros sobre o terreno. O espaçamento entre as linhas de voo foi de 250 m e entre as linhas de controle de 2.500 m. O intervalo entre as medições consecutivas foi de 1,0 s para o gamaespectrômetro e de 0,1 s para o magnetômetro. A velocidade aproximada de voo é de 200 km/h, desta forma as leituras do magnetômetro equivalem a aproximadamente 5,5 m no terreno e as leituras do gamaespectrômetro representam intervalos de aproximadamente 55 m do terreno (LASA, 2001).

3.6.1 Gamaespectrometria

O método de gamaespectrometria ou radiométrico é caracterizado pela detecção de radiação

gama (γ) oriunda da desintegração de elementos radioativos na superfície do planeta. As principais fontes de radiação gama provêm da desintegração natural do potássio (^{40}K), urânio (^{238}U) e tório (^{232}Th), que são componentes da maioria das rochas em superfície. Os isótopos ^{238}U e ^{232}Th não emitem radiação gama, porém seus isótopos decorrentes do decaimento radioativo (^{214}Bi e ^{208}Tl , respectivamente) emitem.

Os dados são obtidos na forma de contagens por segundo (cps) de potássio, urânio e tório provenientes dos primeiros 30-40 cm de material na superfície, normalmente material intemperizado, solos e rochas aflorantes. Devido aos contrastes de radioatividade natural das diferentes rochas e solos a gamaespectrometria é muito aplicada no mapeamento geológico. A detecção dos raios gama pode ser influenciada por qualquer matéria entre o alvo emissor e o sensor, como cobertura e umidade do solo, densidade da vegetação, variações na temperatura atmosférica, presença de nuvens, umidade relativa e variações topográficas (Jaques *et al.* 1997).

O potássio ocorre de forma significativa nas rochas ígneas ácidas, como granitoides e equivalentes vulcânicos, rochas metamórficas micáceas, feldspáticas e quartzo-feldspáticas, como filitos, xistos e gnaisses e rochas sedimentares, como arcóseos, argilitos e folhelhos (Ferreira *et al.*, 2016). O potássio é extremamente móvel durante o intemperismo e alterações hidrotermais, sobretudo em regiões de climas tropicais.

Urânio e tório ocorrem normalmente em minerais acessórios em rochas ígneas e metamórficas quartzo-feldspáticas e como minerais resistatos em rochas sedimentares e seus teores são expressos na ordem de partes por milhão (ppm). O comportamento do urânio e do tório são diferentes do potássio, por estarem contidos em grande parte em minerais estáveis na superfície. Portanto, podem se acumular em depósitos aluvionares. O urânio em específico pode ter sua mobilidade alterada quando na forma hexavalente, mais solúvel. O U^{+6} é comum em rochas ricas em fosfatos e sulfatos, substituindo o cálcio.

A partir dos dados radiométricos corrigidos, foram gerados produtos para uso na cartografia geológica na área do Projeto Unaí, seguindo o fluxograma de processamento dos dados (Figura 3.6).

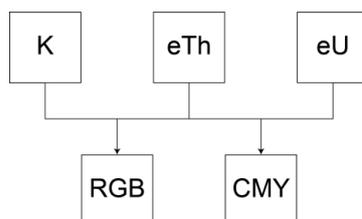


Figura 3.6: Fluxograma dos produtos radiométricos. Porcentagem do potássio (K), equivalente de tório (eTh), equivalente de urânio (eU), composição ternária CMY e composição ternária RGB.

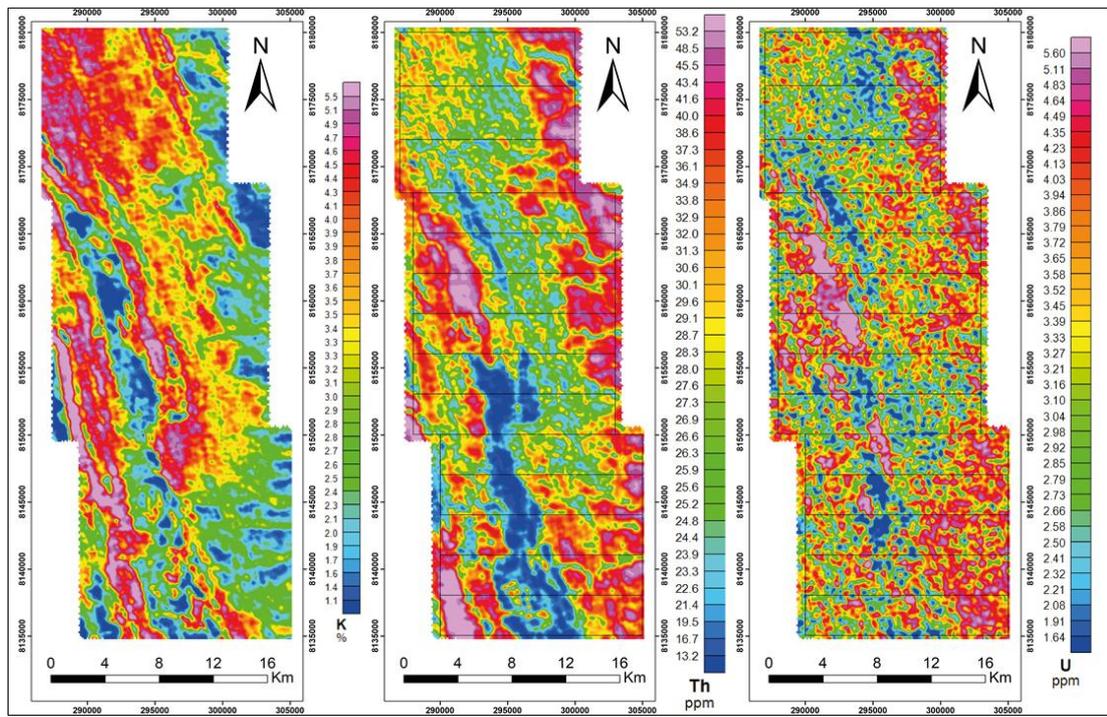


Figura 3.7 - Mapa das concentrações de Potássio (%), Tório equivalente (ppm) e Urânio equivalente (ppm).

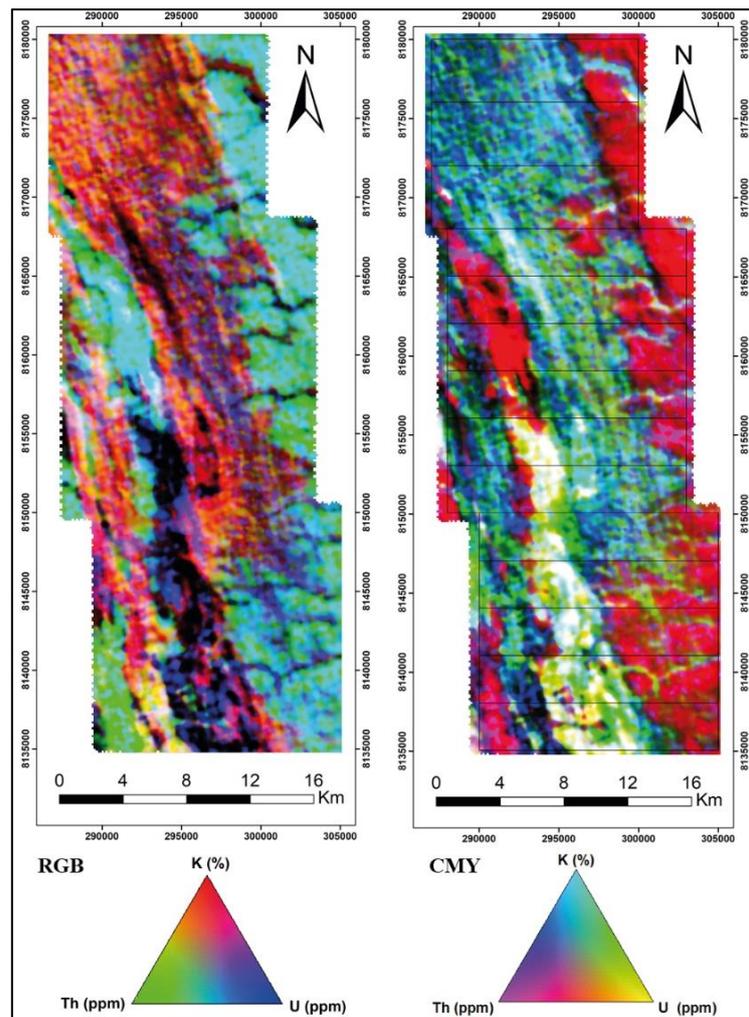


Figura 3.8 - Mapas de composição ternárias, RGB e CMY.

O mapa de composição ternária RGB, foi utilizado para delimitação de domínios

gamaespectrográficos distintos do Projeto Unai, nesta interpretação foram separados 5 domínios em que a concentração de K, eTh e eU foi o critério utilizado (Figura 3.8). A Tabela 3.5 mostra a descrição destes domínios.

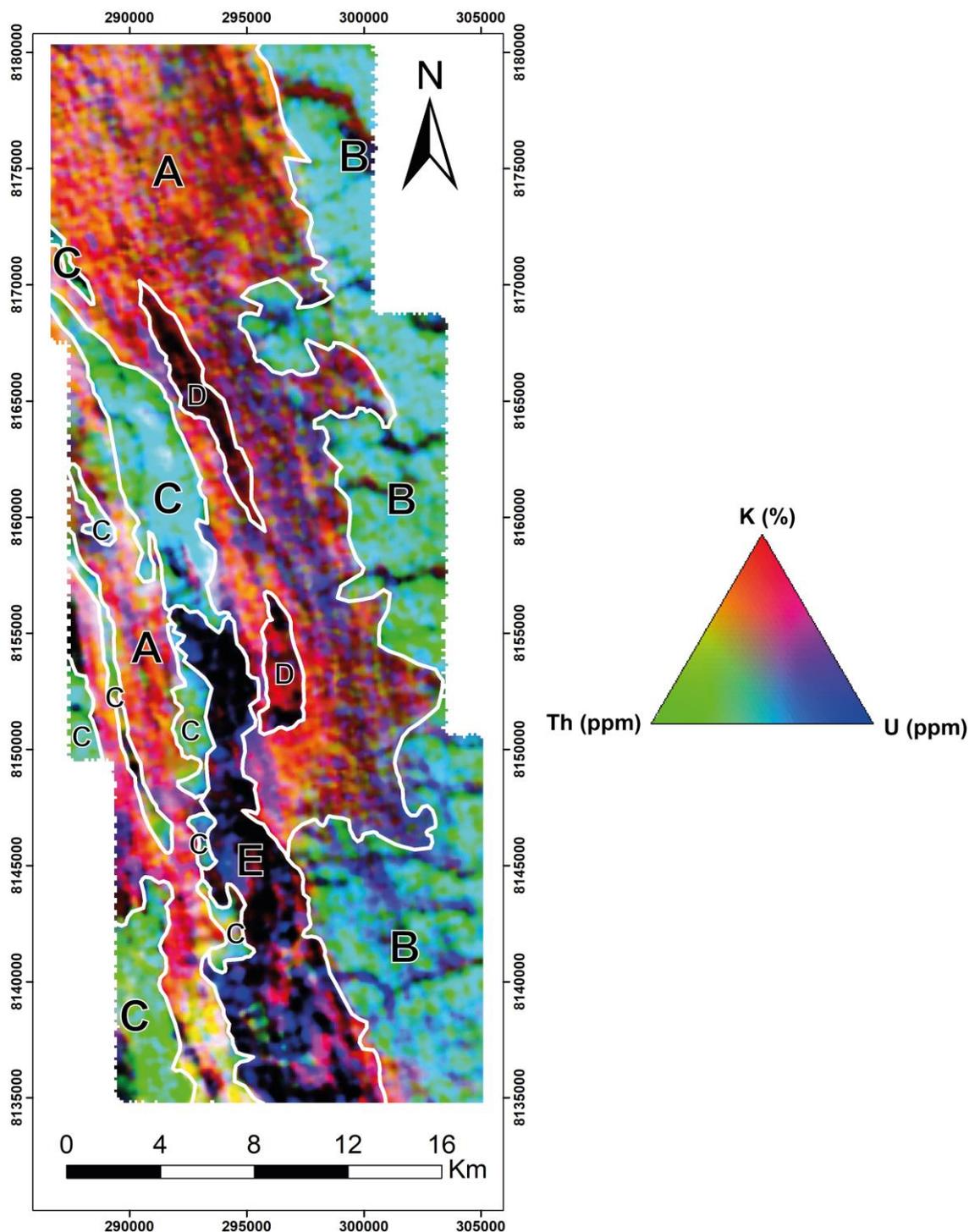


Figura 3.9 - Mapa de composição ternária RGB com os domínios gamaespectométricos interpretados.

Domínio	K	eTh	eU	Descrição
A	Alto	Médio/Baixo	Médio	Domínios de cores avermelhadas e

				amareladas, de orientação NNW-SSE.
B	Médio/Baixo	Alto	Alto	Domínio contínuo como predomínio de cor verde azulada, de orientação NNW-SSE.
C	Médio/Baixo	Alto	Médio/Alto	Domínios descontínuos de cor verde, alongados e pouco espessos, orientados NNW-SSE.
D	Médio	Baixo	Baixo	Domínios de cor vermelho/preto, alongados e pouco espessos, orientados NNW-SSE.
E	Baixo	Baixo	Médio/Baixo	Domínio contínuo de cor preta arroçada, orientado NNW-SSE.

Tabela 3.5 - Descrição dos domínios gamaespectométricos.

3.6.2 Magnetometria

O método potencial da magnetometria mede a variação espacial do campo magnético da Terra. Esta variação é causada pela heterogeneidade da suscetibilidade magnética dos minerais que constituem os diversos tipos de rochas. A magnetização das rochas está relacionada à presença de minerais magnéticos, podendo ser causadas por uma magnetização induzida ou remanescente.

A magnetização induzida ocorre quando as rochas são submetidas a um campo magnético externo, sendo variável com a quantidade de seus minerais magnéticos. A magnetização remanescente está relacionada ao resfriamento de rochas ígneas abaixo da temperatura de Curie e transformações de várias naturezas que alteram o estado da rocha durante sua história geológica.

A aeromagnetometria é usada na exploração mineral, nos levantamentos regionais para cartografia de detalhe e na detecção de alvos de prospectos. O método é muito utilizado na identificação de feições estruturais em que minerais magnéticos se formaram. Os mapas de anomalias magnéticas são frequentemente usados para delimitação de falhas e contatos geológicos. Esses mapas mostram a distribuição espacial de fontes magnéticas que podem estar a diferentes profundidades e conter propriedades físicas e geométricas distintas.

As formas de anomalias magnéticas dependem da direção da magnetização induzida e remanescente, tornando a interpretação de anomalias magnéticas a partir de dados originais muito difícil. Para obter melhores resultados são utilizadas técnicas de filtragem auxiliar para identificação de anomalias de fontes rasas ou profundas e para destacamento de características de interesse (Ferreira *et al.*, 2013).

A partir dos dados magnéticos pré-processados foram gerados os produtos seguindo o fluxograma presente na Figura 3.10.

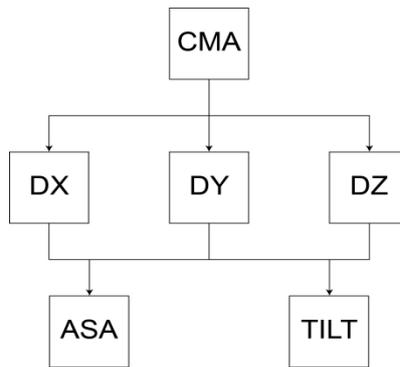


Figura 3.10 - Fluxograma dos produtos magnetométricos.

O Campo Magnético Anômalo (CMA) é apresentado na Figura 3.11. As anomalias mostram duas respostas, um alto e um baixo magnético. Esse caráter dipolar dificulta a sua interpretação, mas ainda assim pode auxiliar na interpretação da estruturação geral.

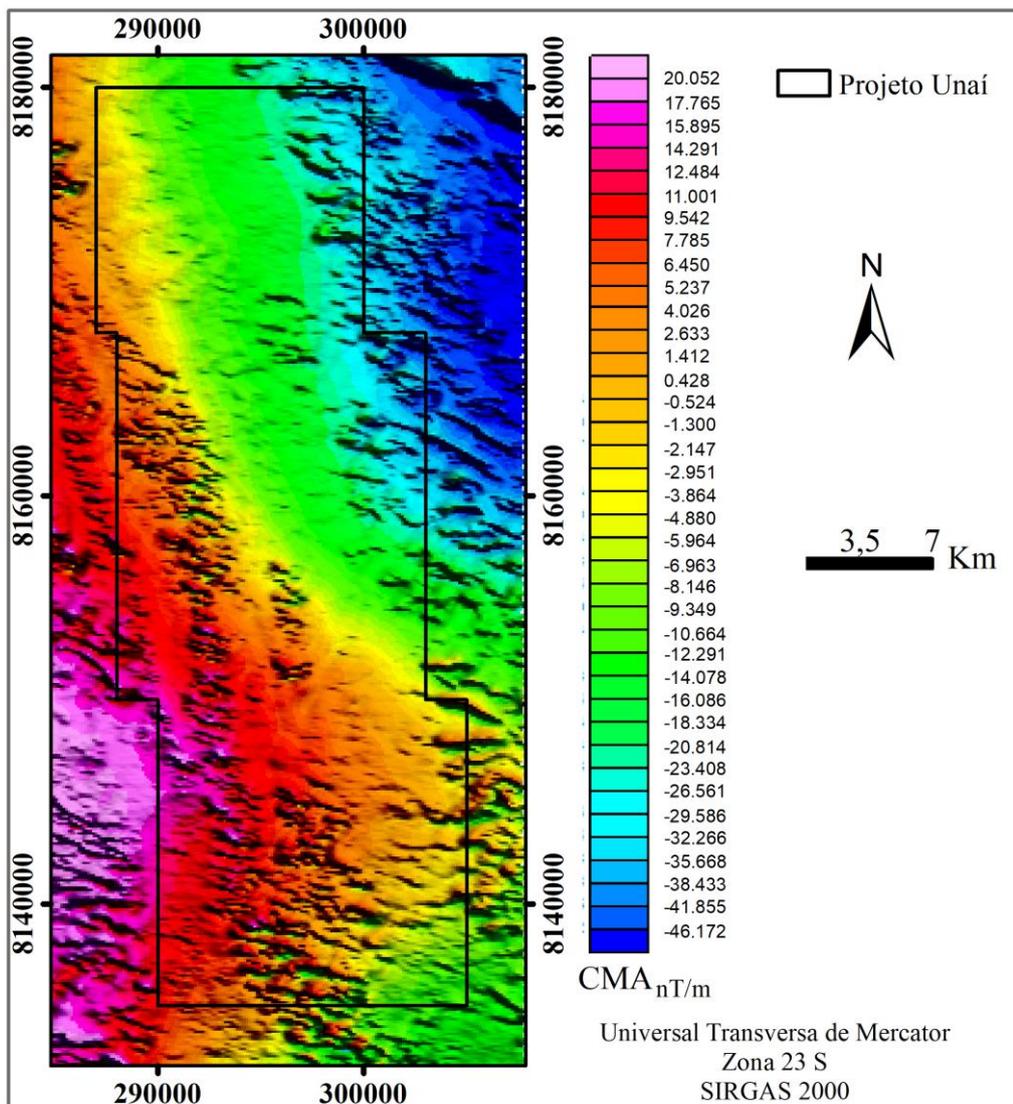


Figura 3.11 - Campo Magnético Anômalo, em destaque a área do Projeto Unai.
Com a finalidade de melhorar a visualização das anomalias e realçar mudanças bruscas das

propriedades físicas das unidades geológicas, foram gerados novos produtos a partir dos gradientes horizontais e vertical do CMA.

Transformando o campo magnético anômalo (CMA), a primeira derivada da componente vertical z (Dz) em anomalia magnética realça as altas frequências do sinal analítico. O realce das altas frequências pode fornecer informações sobre os contatos, discontinuidades e lineamentos.

A imagem da amplitude do sinal analítico (ASA) apresenta uma assinatura localizada das fontes magnéticas realçando as bordas em corpos largos e o centro em corpos estreitos, independente das direções magnéticas da fonte e do campo magnético da Terra (Blum *et al.* 1999). Além de posicionar as fontes em sua máxima amplitude, ela pode melhor representar os contatos (Figura 3.12).

A amplitude do sinal analítico (ASA) pode ser dada por:

$$ASA = \sqrt{(D_x)^2 + (D_y)^2 + (D_z)^2} \quad \text{Equação 3.1}$$

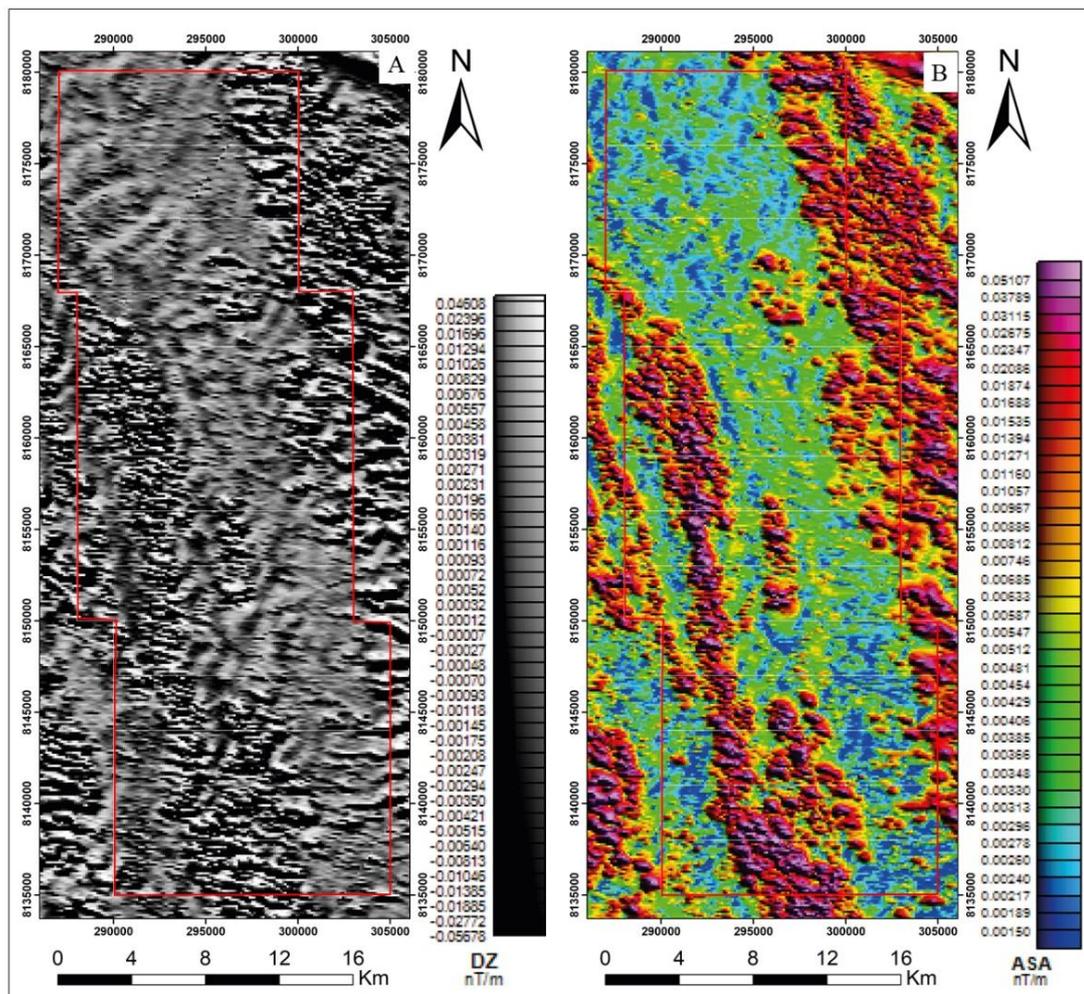


Figura 3.12 - A derivada vertical z (DZ) e a amplitude do sinal analítico (ASA), foram gerados a partir do campo magnético anômalo (CMA). O polígono em vermelho representa a área do Projeto Unaí.

A derivada TILT (TILT) é dada pelo arco tangente da razão entre a primeira derivada

vertical pelo gradiente horizontal (Equação 3.13). O produto tem a vantagem de delimitar as bordas de fontes rasas e profundas de forma equivalente (Miller & Singh, 1994) (Figura 3.13).

$$TILT = \arctan(D_z / \sqrt{(D_x^2 + D_y^2)}) \quad \text{Equação 3.2}$$

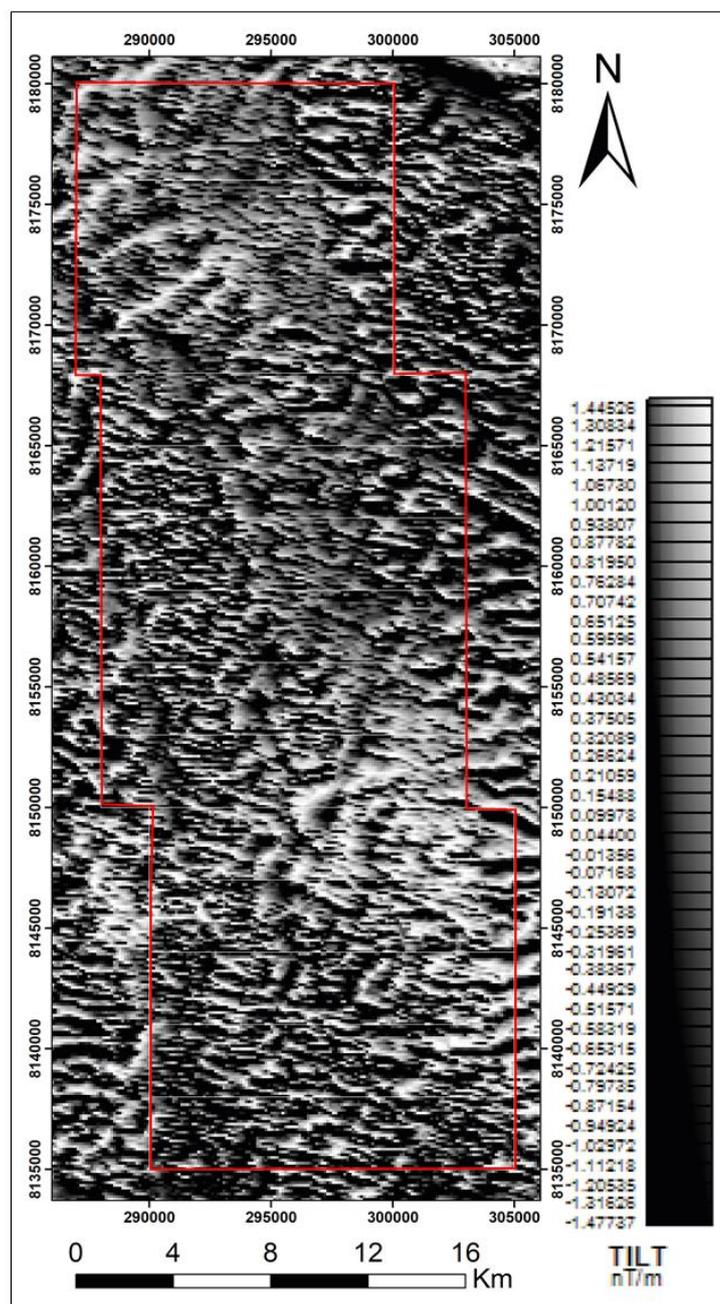


Figura 3.13 - Derivada TILT. O polígono vermelho em destaque representa a área do Projeto Unai.

Para separação e interpretação de domínios gamaespectométricos foi utilizado o mapa de composição ternária em RGB, (Figura 3.14). Foi utilizado como critério para separação as concentrações de K e Th e eU, dessa forma foram separados 3 domínios, descritos na Tabela 3.6.

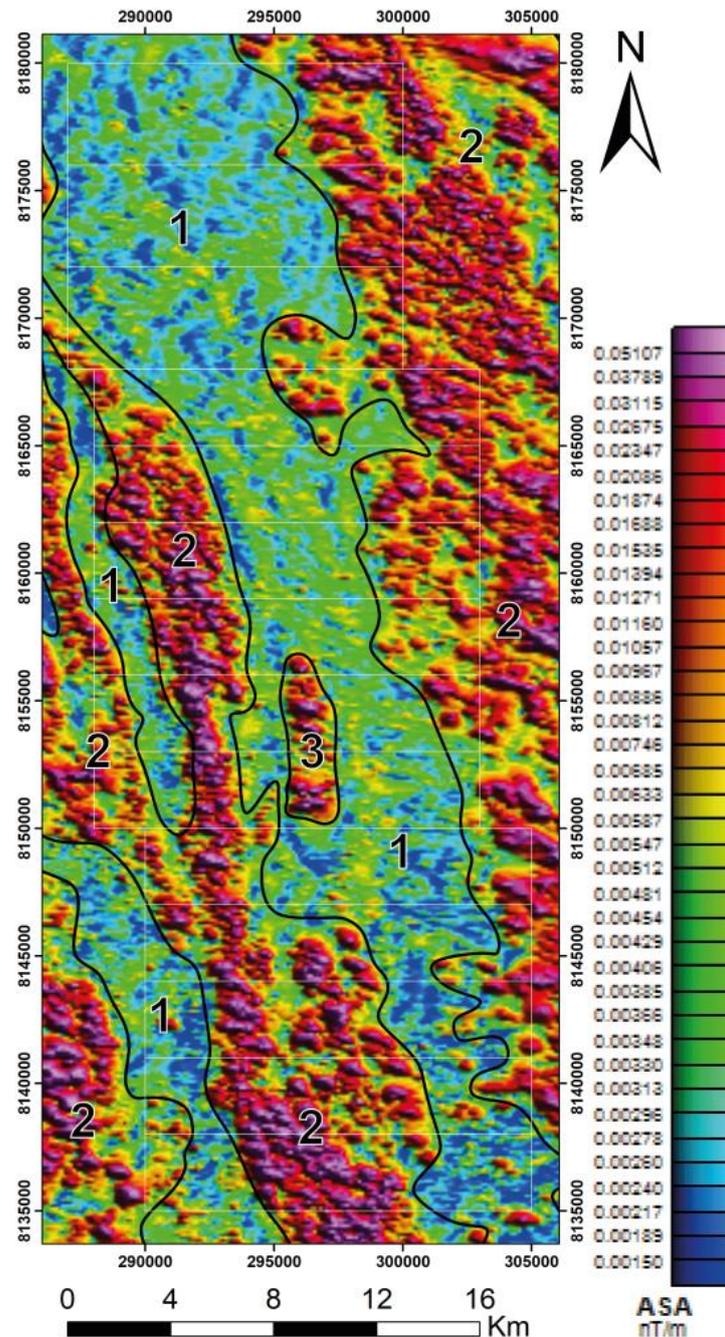


Figura 3.14 - Individualização de domínios em mapa de amplitude de sinal analítico (ASA).

Domínio	Descrição
1	Gradiente magnético médio a baixo, heterogêneo, orientação NNW-SSE. Na porção sudoeste da área esses domínios se intercalam com domínios de gradiente alto a médio.
2	Gradiente magnético alto a médio, heterogêneo de forma geral, orientação NNW-SSE. Anomalias de gradientes maiores estão alinhadas nesse domínio. Na porção centro-oeste há um alinhamento espesso de gradiente maior, que se bifurca com o aparecimento de um domínio de gradiente médio a baixo.
3	Gradiente magnético alto a médio, heterogêneo, orientação NNW-SSE. Domínio único de forma lenticular no meio de um domínio de gradiente médio a baixo.

Tabela 3.6: Descrição dos domínios individualizados a partir do mapa da imagem de amplitude de sinal analítico.

3.7 Sísmica de Reflexão

A sísmica de reflexão é um método geofísico muito utilizado no estudo de bacias sedimentares, de particular interesse para indústria petrolífera. O método é fundamentado na propagação e reflexão de ondas acústicas no substrato. A obtenção dos dados se baseia no tempo de percurso da onda, da fonte sísmica e do meio rochoso, sendo essa propagação dependente de propriedades físicas como densidade e elasticidade do meio. Em decorrência do contraste das propriedades entre as camadas, uma parcela da energia acústica é refletida de volta para a superfície. Para aquisição é usada uma fonte de energia artificial, como explosivos, que tem como objetivo emitir ondas sonoras. Também são utilizados hidrofones ou geofones, com determinado espaçamento a fim de detectar a chegada de ondas refletidas à superfície (Simm & Bacon, 2014).

A soma dos vales e picos obtidos nas ondas refletidas, com os valores do tempo de reflexão completa além dos valores de distância entre os geofones se obtém um perfil, X, Y, Z, em que x é a distância horizontal, y a diferença de impedâncias e z representa o eixo do tempo. Dessa forma é possível a inferência de tipos de rochas e estruturas geológicas através da projeção estratigráfica.

A interpretação da seção sísmica é feita a partir do comportamento dos refletores, que podem ser contínuos ou descontínuos, e pelos tipos de terminações destes refletores em distintos padrões: *onlap*, *overlap*, *downlap*, entre outros.

3.7.1 Aquisição de dados sísmicos do Projeto Unai

Os dados sísmicos foram adquiridos em 1995 pela Petrobrás, a linha “R0240_São_Francisco_045_PSTM” em conjunto como poço estratigráfico “1-BRSA-871-MG” (Figura 3.15). A Agência Nacional do Petróleo (ANP) tornou os dados técnicos de bacias sedimentares *onshore* públicos, em maio de 2021. No entanto não há detalhamento sobre a aquisição e processamento de dados. Para o projeto foi utilizado o arquivo SEG-Y, referente ao dado pós-empilhamento “MIG-FIN”, disponibilizado no bando de dados online BDEP.

A imagem com o perfil sísmico interpretado será discutida no Capítulo 7, que trata sobre a evolução geológica da área do projeto.

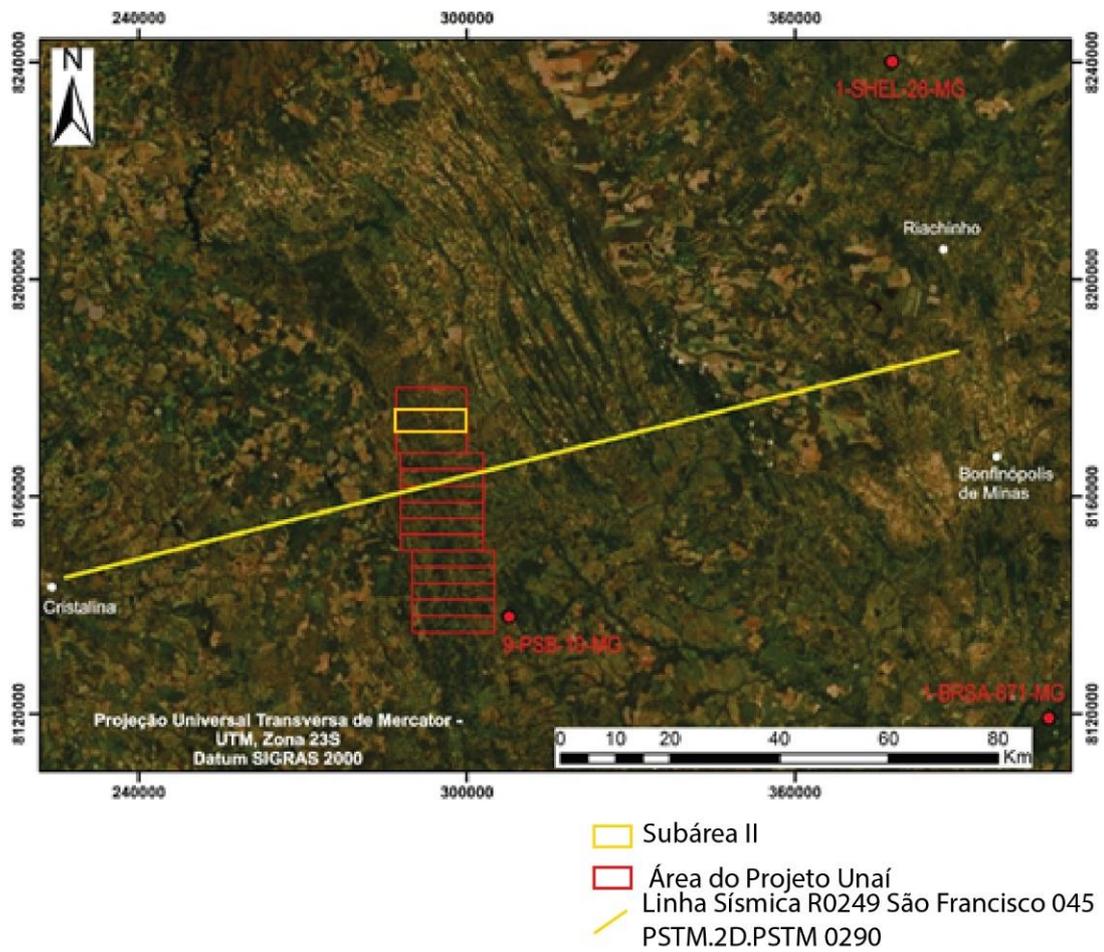


Figura 3.15 – Localização da linha sísmica R0240_São_Francisco_045_PSTM.

CAPÍTULO 4

4. ESTRATIGRAFIA, PETROGRAFIA E SISTEMAS DEPOSICIONAIS

4.1 Estratigrafia e Petrografia

4.1.1 Introdução

Este capítulo apresenta a descrição em ordem cronológica das unidades litoestratigráficas que compõem o mapa geológico do Projeto Unaí, elaborado na escala 1:50.000 e o detalhamento das litofácies presentes na Subárea II. O projeto individualizou quatro unidades litoestratigráficas: Formação Quilombo e grupos Paranoá, Canastra e Bambuí. As exposições das rochas ocorrem em diversas formas: lajedos, cortes de estradas, drenagens e blocos rolados.

As descrições detalhadas das litofácies serão apresentadas em macro escala (afloramento) até microescala (petrografia), e são relacionados com o padrão geofísico, o modo de exposição das rochas e o produto gerado pelo sensoriamento remoto. Foi confeccionada coluna com a estratigrafia integrada do Projeto Unaí, junto com as descrições de cada unidade (Figura 4.1). Os dados apresentados estão normatizados pelo Código Brasileiro de Nomenclatura Estratigráfica (Petri *et al.* 1986).

ÉON	ERA	PERÍODO	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS
PROTEROZOICO	NEOPROTEROZOICO	Ediacariano	<p>Grupo Bambuí – Formação Sete Lagoas</p> <p>NPBs Siltitos, siltitos argilosos, folhelhos, margas, calcários micríticos, compondo uma sucessão estratificada em camadas centimétricas a decimétricas, dobradas. Rochas de cores escuras (preto a cinza escuro) quando não alteradas e ocre/amarela/rosada quando alteradas.</p>
		Steniano	<p>Grupo Paranoá – Formação Córrego do Barreiro</p> <p>MPPcba Arenitos grossos, médios, finos até conglomeráticos feldspáticos (escuros quando frescos e cinza claro a esbranquiçados quando alterados).</p> <p>MPPcbd Dolomitos cinza claro a escuro, micríticos, estromatolíticos (estromatólitos colonares), doloruditos intraclásticos e oncolíticos e dolarenitos intraclásticos e oolíticos.</p> <p>MPPcbs Siltitos laminados, siltitos argilosos, margas laminadas de cores escuras quando frescas e amareladas a rosadas quando alteradas.</p>
MESOPROTEROZOICO	Ecstasiano		<p>Grupo Canastra – Formação Serra do Landim</p> <p>MPCfl Clorita filitos, clorita-fengita filitos, clorita-fengita-quartzo filitos, calcifilitos, mármores finos dolomíticos, mármores finos calcíticos, quartzitos finos micáceos.</p>
		<p>Formação Quilombo</p> <p>Membro Ribeirão da Porteira</p> <p>MPQrp Ritmitos psamo-pelíticos, representados por intercalações de litoarenitos finos, litoarenitos grossos, grauvacas líticas finas, grauvacas líticas grossas, arenitos, sublitoarenitos, siltitos maciços, siltitos laminados, folhelhos, argilitos, e conglomerados clasto-suportados subordinados.</p> <p>Membro Ribeirão do Franco</p> <p>MPQrf Ritmitos pelito-arenosos, com intercalações de camadas centimétricas de litoarenitos, grauvacas líticas, siltitos laminados, siltitos maciços, argilitos, folhelhos e rochas vulcânicas ácidas a intermediárias subordinadas (dacito e riolito), afaníticas ou com esferulitos.</p>	

Figura 4.1 - Coluna estratigráfica integrada da área do Projeto Unaí mostrando as principais características de cada unidade mapeada.

4.1.2 Litoestratigrafia do Projeto Unai

Na área do Projeto Unai foram definidas quatro unidades litoestratigráficas que variam de idades desde o Ectasiano até o Ediacarano. Em ordem cronoestratigráfica sucedem as unidades: Formação Quilombo (Membro Ribeirão da Porteira e Membro Ribeirão do Franco), Grupo Canastra (Formação Serra do Landim), Grupo Paranoá (Formação Córrego do Barreiro) e Grupo Bambuí (Formação Sete Lagoas).

A Formação Quilombo foi descrita por Campos *et al.* (2021), na região de Unai como uma sucessão psamo-pelítica-ritmítica que é caracterizado como uma sequência turbidítica, com associação de rochas vulcânicas. É a unidade mais antiga presente na área do projeto, de idade ectasiana, esta unidade é subdividida em dois membros: Membro Ribeirão da Porteira (MPQrp), de deposição mais proximal; e Membro Ribeirão do Franco, de deposição mais distal; e juntos cobrem aproximadamente 60% da área total do projeto, em uma faixa contínua de direção NW-SE. Nas áreas do extremo sul do projeto (subáreas XII, XIII e XIV) não afloram rochas do Membro Ribeirão da Porteira.

As rochas do Grupo Paranoá, aflorantes nas subáreas VII a XIV apresentam fácies psamíticas e carbonáticas em contato abrupto. Compreende uma porção de 25% da área do projeto, sendo individualizada em três tipos petrográficos principais: arenito fino a grosso, siltito, siltito argiloso e siltito margoso e dolomitos com diferentes fácies. As exposições das rochas se dão de forma contínua na direção NW-SE e também como *klippes* em contato com rochas da Formação Quilombo. Na área aflora o topo do Grupo Paranoá, unidade que foi correlacionada à Formação Córrego do Barreiro, de idade Ectasiana.

Aflorando nas subáreas III a XIV, o Grupo Canastra cobre cerca de 10% da área do projeto. As rochas apresentam baixo grau metamórfico, estando na fácies xisto verde, zona da clorita. Expõem na região mapeada rochas da Formação Serra do Landim, compostas por filitos, por vezes carbonosos, e rochas carbonáticas marmorizadas, com idade máxima de deposição Ectasiana.

O Grupo Bambuí representa uma sucessão de rochas jovens, ocupando cerca de 5% da área do projeto. Os afloramentos são escassos, em sua maioria ocorrem de forma bastante alterada, o que dificulta a identificação de estruturas primárias e a própria descrição das rochas. As fácies associadas a esta unidade estão presentes nas subáreas I a V, sendo que na Subárea II foi observada uma particularidade onde essas rochas afloram em drenagens e estão melhor preservadas. São compostas por uma espessa sucessão de margas, siltitos e folhelhos da Formação Sete Lagoas que possuem idade máxima de deposição Ediacarana.

4.1.3 Fundamentos Teóricos

A introdução dos conceitos relativos às correntes de turbidez se deu há 70 anos, por Kuenen & Migliorini que deu um novo olhar as interpretações de sedimentos marinhos, no qual estabeleceram uma ligação entre o fluxo de água e a estratificação gradativa.

Os turbiditos são classificados como resultantes da evolução das correntes de turbidez, que são eventos de deposição de massas de sedimentos, impulsionados pelo próprio peso sob ação da gravidade, formando um acamamento gradual (Abel, 1988). O entendimento desses depósitos turbidíticos tem grande relevância, pois apresentam elementos para reconstrução paleográfica que constituem importantes reservatórios de hidrocarbonetos.

Com o passar do tempo, o conhecimento sobre os turbiditos ganhou força. Hoje há inúmeros modelos na literatura capazes de interpretar o registro sedimentar turbidítico (Della Fávera, 2000). Autores como Bouma, Mutti, Ricci Luchi, Migliorini, entre outros, apresentaram grande impacto ao relacionar os depósitos de camadas gradativas, depositadas em contexto marinho profundo, que seriam formados pela deposição de correntes de turbidez.

O projeto Unai definiu a caracterização da sucessão psamo-pelítica-ritmítica da Formação Quilombo como fácies turbidíticas segundo o modelo de Mutti (1992) e Mutti et al. (1999), no qual os autores utilizam o conceito de associação de fácies capaz de confeccionar um arcabouço genético de fácies turbidíticas. O modelo se baseou no conceito de que o tipo de fluxo gravitacional nos depósitos resultantes das correntes de turbidez é bi-partido, com uma base granular mais concentrada e laminar, e topo mais diluído e turbulento. Durante o fluxo turbulento vários mecanismos de suporte de grãos agem com diferentes tamanhos na evolução do fluxo. A corrente de turbidez pode ser de alta ou de baixa densidade e evoluem através de sucessivas transformações de fluxo, levando à segregação de carga sedimentar. Na relação de fácies, o salto hidráulico ganha um “novo fôlego” ao passar de trechos confinados para desconfinados do sistema turbidítico. Os fluxos possuem maior ou menor eficiência, ou seja, habilidade de distribuir os sedimentos bacia adentro (Sanders, 1965; Mutti et al, 1999 apud D’avila & Paim, 2003).

A partir desse conceito, Mutti (1992) propõem nove fácies (F1 a F9) (Figura 4.2) para caracterizar uma sequência turbidítica, e essas fácies são caracterizadas pelos seguintes estágios: fácies F1 - originado por fluxo de detritos coesos no qual há uma interrupção - *debris flow*; fácies F2 - congelamento, por coesão, de um fluxo hiperconcentrado; fácies F3 - diminuição da intensidade da corrente de turbidez hiperconcentrada; fácies F4, F5 e F6 - diminuição da competência e transformações ocorridas na origem e na extremidade das correntes supercríticas, sendo que a F4: apresenta carpetes de tração, a F5 é formada por um “congelamento” rápido da corrente de turbidez supercrítica e a F6 é o resíduo basal originado pelo salto hidráulico, que transforma uma corrente de turbidez supercrítica em subcrítica; fácies F7 e F8 - correntes de turbidez subcríticas que originaram depósitos de granulação fina que são depositados depois do

salto hidráulico; e fácies F9 - logo após são depositados através processos de tração e suspensão, em correntes de turbidez subcríticas declinantes.

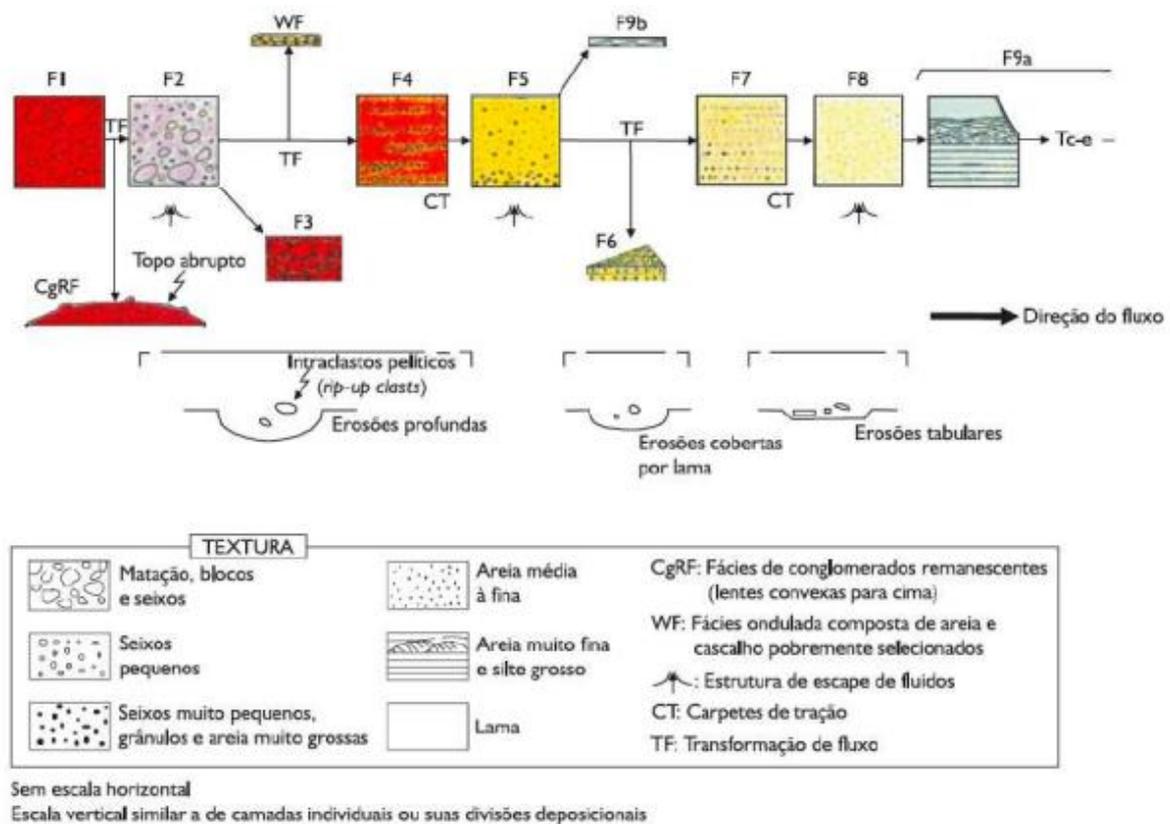


Figura 4.2 - Esquema de distribuição das 9 (nove) fácies turbidíticas de uma corrente de turbidez de Mutti (retirado de D'Ávila & Paim, 2003, modificado de Mutti, 1992).

A Tabela 4.1 mostra as principais características das nove fácies de Mutti (1992) e Mutti *et al.* (1999).

4.1.4 Geologia Local

Na Subárea II foram cartografadas duas unidades litoestratigráficas, da base para o topo: Formação Quilombo - Membro Ribeirão da Porteira e Membro Ribeirão do Franco; e Grupo Bambuí - Formação Sete Lagoas. O mapa geológico referente à Subárea II é exibido na Figura 4.3.

4.2 Formação Quilombo

A Formação Quilombo corresponde a maior parte da Subárea II, ocupando 81% da extensão total da área. Esta unidade litoestratigráfica é dividida em dois membros: Ribeirão da Porteira (MPQrp) e Ribeirão do Franco (MPQrf). O Membro Ribeirão da Porteira encontra-se na porção extremo oeste da área II e está em contato interdigitado com o Membro Ribeirão do Franco, que está localizado parte central da área. O Membro Ribeirão do Franco está em contato tectônico com a Formação Sete Lagoas do Grupo Bambuí, por meio de uma falha de empurrão.

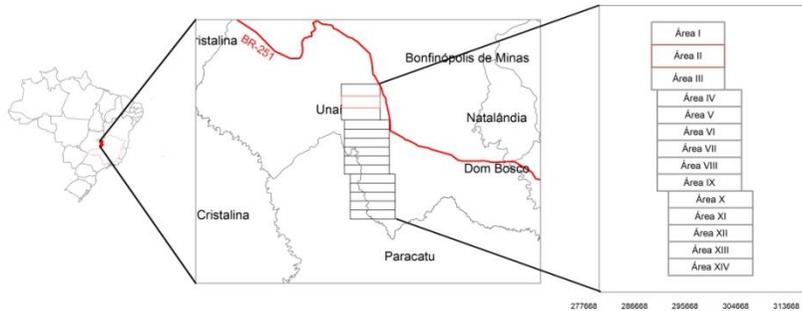
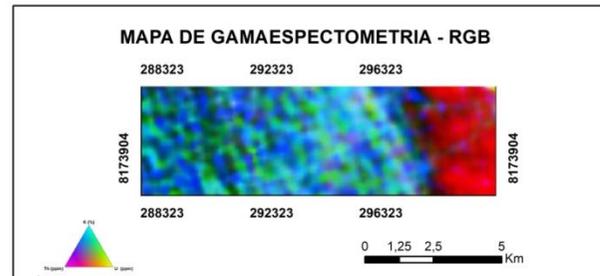
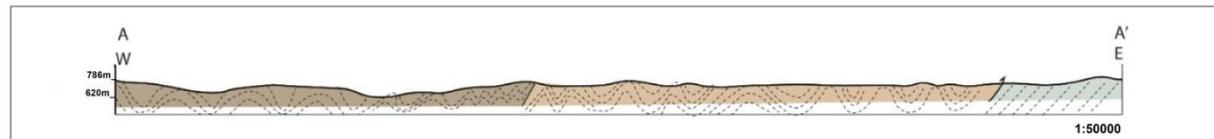
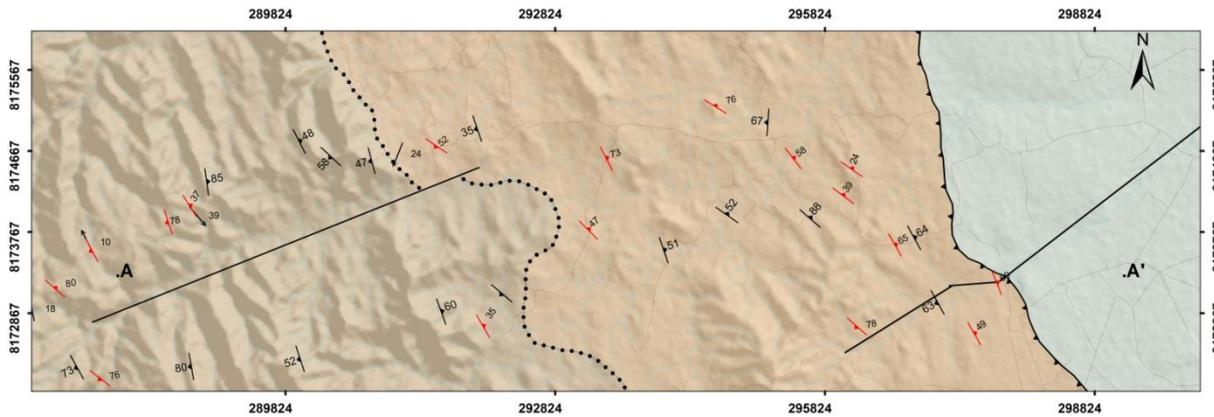
Fácies	Características
F1	- Feições de fluxo plástico, composta por matriz argilosa com clastos (de granulometria calhau até matacão) flutuantes. - Clastos maiores tendem a acumular-se em direção ao topo da camada e a se projetar além dela. A presença de clastos muito maiores do que a média.
F2	- Presença de grandes clastos argililosos removidos do substrato - Clastos maiores flutuam em matriz composta de lama, cascalho e areia, a rocha é grão suportada - Preferencialmente, os clastos maiores ocorrem na parte inferior da camada.
F3	- Conglomerados suportados por clasto, em geral sem matriz, limitados por superfícies erosivas na base. - Organização interna variável, em geral sem estratificação ou com gradação inversa - Forma de lentes limitadas por superfícies erosivas.
F4	- Carpetes de tração com grãos grossos, identificados por nítida estratificação plano-paralela
F5	- Arenitos grossos conglomeráticos, muito mal selecionados; - São comuns feições de escape de fluídos - Não apresentam estratificação interna, mas podem mostrar gradação normal
F6	- Granulação média a grossa - Formas de leito de <i>Megaripples</i>
F7	- Areia fina a grossa organizadas em delgados carpetes de tração; - Gradação normal; - Formam um conjunto de lâminas com adelgaçamento progressivo para cima.
F8	- Camadas de areia fina e maciça, depositadas principalmente por suspensão.
F9	- Granulometria muito fina e siltica; - Divisão laminadas por corrente; - Capeamento por argilito maciço.

Tabela 4.1 - Tabela com as principais características das nove fácies turbidíticas estabelecidas por Mutti (1992) e Mutti et al. (1999). Fonte: Moura, 2018.

As principais exposições de rochas dessa unidade estão em lajedos, cortes de estradas, drenagens e em trilhas. As rochas frescas estão localizadas principalmente em drenagens mais encaixadas.

As unidades litoestratigráficas apresentam caráter anquimetamórfico, com presença de estruturas primárias, estratificações e laminações, apresentando estruturas que indicam processos de deformação tectônica pós-deposicional.

Os membros da Formação Quilombo podem ser diferenciados com base na caracterização litofaciológica, todavia elementos fisiográficos como relevo, solo, densidade de drenagem e vegetação são fatores que podem ser utilizados para distinguir os membros desta unidade, principalmente para facilitar sua cartografia geológica.



Unidades Litoestratigráficas

NEOPROTEROZOICO
Ediacariano
Grupo Bambuí
Formação Sete Lagoas
 NPBs: Siltitos, folhelhos, siltitos argilosos, margas, calcários micríticos, compondo sucessão estratificada em camadas centimétricas a decimétricas, dobradas. Rochas de cores escuras (preto a cinza escuro) quando frescas e ocre/amarela/rosada quando alteradas.

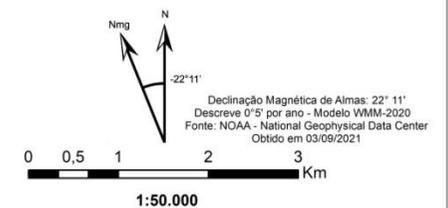
MESOPROTEROZOICO
Steniano - idade máxima de deposição 1.050 Ma (zircoão detrítico e sobrecrescimento de xenotíma em zircoão detrítico)
Formação Quilombo
 Membro Ribeirão do Franco
 MPQR: Rítmicos psamo-pelíticos, representados por intercalações de litoarenitos finos, litoarenitos grossos, grauvacas líticas finas, grauvacas líticas grossas, arenitos, sublitoarenitos, siltitos maciços, siltitos laminados, folhelhos, argilitos, e conglomerados clasto-suportados subordinados. Rochas com coloração escura quando frescas passando a amarelada, ocre e rosada quando alteradas. Contatos bruscos entre as camadas individuais.
 Membro Ribeirão da Porteira
 MPQR: Rítmicos pelito-arenosos, com intercalações de camadas centimétricas de litoarenitos, grauvacas líticas, siltitos laminados, siltitos maciços, argilitos, folhelhos e rochas vulcânicas ácidas a intermediárias subordinadas (dacito e riolito), afaníticas ou com esterulitos.

Convenções Cartográficas

- Drenagem
- Estrada Não Pavimentada

Convenções Geológicas

- Foliação Plano Axial
- Falha de Empurrão Definido
- Lineação de Estiramento (Ln)
- Contato Interdigitado
- Foliação Paralela ao Acamamento
- Fratura



Trabalho Final de Graduação - 2021
 Projeto Unai - 2020
 ÁREA II

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000 Zona 23S

Coordenador: José Elói Guimarães Campos
 Autores: Eduardo Dias dos Santos
 Matheus Ferreira da Silva

Figura 4.3 - Mapa geológico da Subárea II, na escala 1:50.000.

O Membro Ribeirão da Porteira ocorre em área com padrão de relevo mais movimentado, com declividades maiores, com ampla presença de drenagens encaixadas. O solo principal encontrado é da classe do Neossolo Litólico, que apresenta pequena espessura, em meio a exposições rochosas.

Na região de ocorrência do Membro Ribeirão da Porteira observa-se vegetação do tipo campo limpo, por vezes campo sujo. Os afloramentos são abundantes, tendo pacotes mais espessos de sedimentos psamíticos e pacotes pelíticos de menor espessura, que apresentam uma maior susceptibilidade ao intemperismo. Os pacotes psamíticos, devido sua maior resistência ao intemperismo, são responsáveis por sustentar o relevo e por isso as áreas de ocorrência desta unidade são as mais elevadas na Subárea II. A Figura 4.4 traz uma seção que exemplifica o empilhamento estratigráfico do Membro Ribeirão da Porteira.

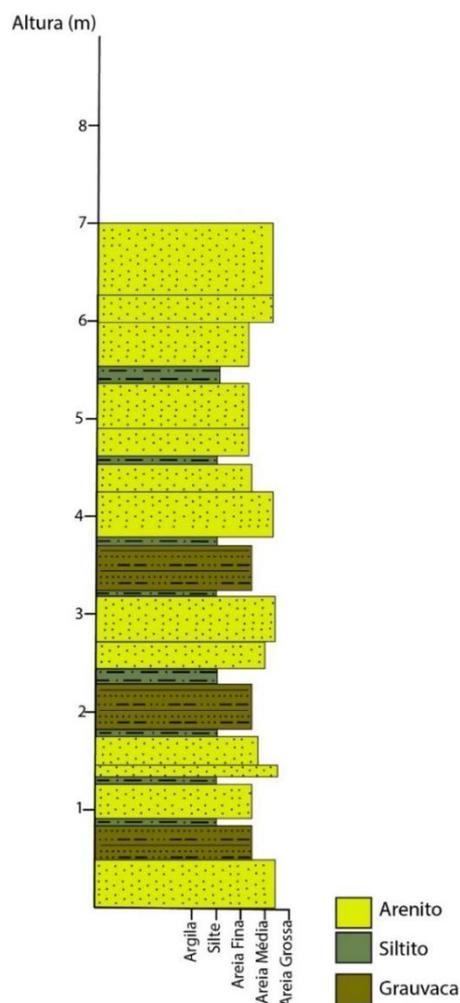


Figura 4.4 - Seção Estratigráfica esquemática confeccionada com dados coletados na Subárea II. Nesta seção foram observados ritmos com maior aporte de sedimentos psamíticos. A espessura das camadas de arenitos varia de decimétricas a métricas, enquanto os pacotes de siltitos apresentam espessuras centimétricas a decimétricas. Já as camadas de grauvaca apresentam espessuras individuais desde menores que 1 até cerca de 40 centímetros.

O Membro Ribeirão do Franco apresenta contraste altimétrico em suas áreas de ocorrência

com relação ao membro descrito anteriormente, apresenta serras baixas, com padrão de relevo suave a suave ondulado (Figura 4.5).



Figura 4.5 - Paisagem na Subárea II do Projeto Unaí, mostrando a diferença de relevo nos membros da Formação Quilombo. O Membro Ribeirão da Porteira exibe um relevo mais acidentado e predominância de vegetações rasteiras, enquanto no Membro Ribeirão do Franco tem-se relevos suaves e vegetação típica de campos sujos variando até vegetação típica de cerrado.

Em suas áreas de ocorrência os solos mais comumente encontrados são Cambissolos Háplicos, relacionados com Neossolos Litólicos e com Latossolos, mostrando vegetação característica de cerrado. As exposições de rochas pelíticas apresentam-se mais fortemente intemperizadas em relação aos pacotes psamíticos, devido à menor resistência dessas rochas aos processos denudacionais. Na Figura 4.6 é possível observar exemplos do empilhamento estratigráfico do Membro Ribeirão do Franco.

O contato entre os dois membros é interdigitado, mostrando uma relação de deposição simultânea entre os dois conjuntos de rochas, contudo em condições ambientais contrastantes. Para o detalhamento da descrição das fácies da Formação Quilombo será adotada a proposta de fácies de Mutti (1992) que se fundamenta na caracterização dos aspectos litológicos e estruturas sedimentares, que tem como função o detalhamento das fácies turbidíticas a partir de aspectos genéticos.

4.3 Caracterização Faciológica

O conceito de fácies é utilizado para caracterizar um corpo rochoso por meio de combinações de aspectos litológicos, físicos e biológicos, que permitem sua individualização das rochas adjacentes (Walker, 1992). As fácies baseadas nos aspectos litológicos são definidas como litofácies.

Uma litofácies individual é definida como uma unidade de rocha que se pode ser distinguida de outras com base na sua geometria, litologia, estruturas sedimentares, padrão de

paleocorrente e conteúdo fossilífero. Cada uma das litofácies representa um evento deposicional individual, que podem ser agrupadas em associações de litofácies, no qual caracteriza um determinado ambiente deposicional (Miall, 1999).

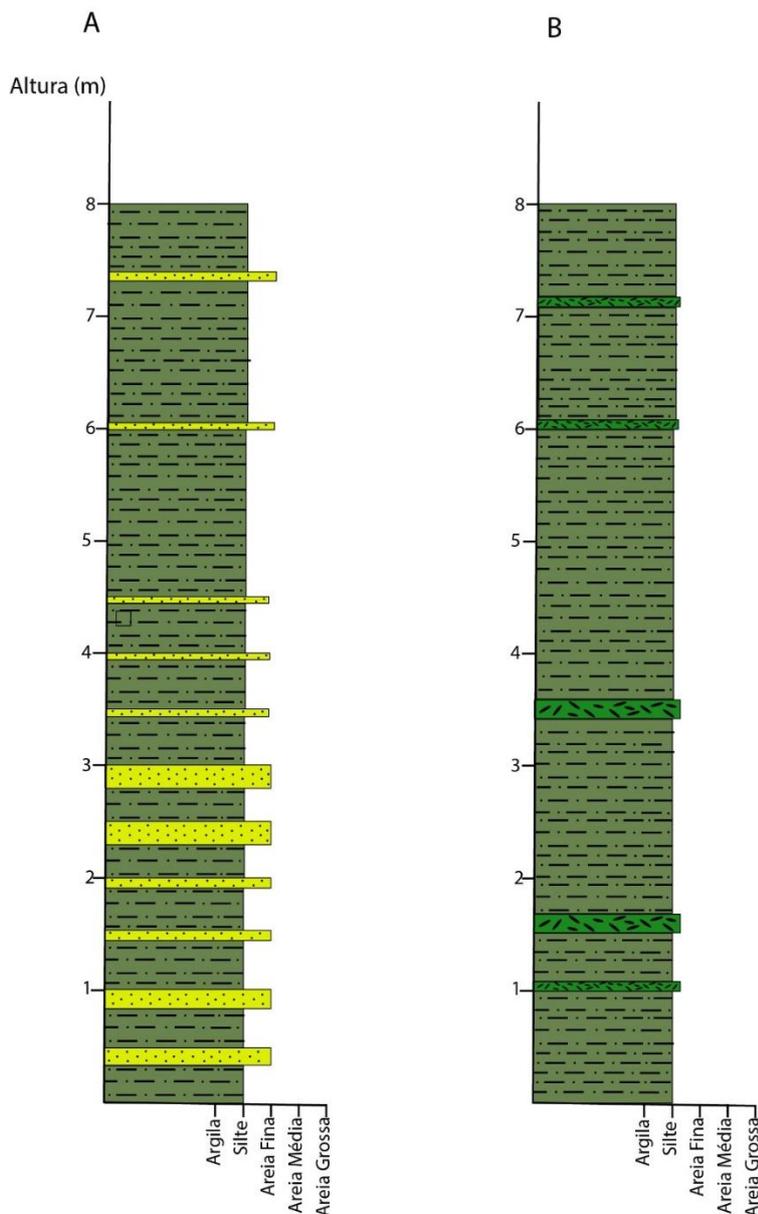


Figura 4.6 - Seção estratigráfica esquemática confeccionada com dados coletadas na Subárea II. A. Seção em que se pode observar maior contribuição de sedimentos pelíticos indicativo de deposição mais distal. B. Seção em que é possível observar intercalações de siltitos com rochas vulcânicas que ocorrem concordantes ao acamamento.

4.3.1 Fácies F3

Essa fácies é caracterizada por ortoconglomerado polimítico, que foram encontrados em locais pontuais na área do projeto, nas subáreas II, VIII e IX, em drenagens encaixadas em formada de paredão e em lajedos.

São rochas de coloração cinza esverdeadas quando frescas e marrons quando alteradas, com clastos arredondados, com baixa esfericidade e mal selecionamento (Figura 4.7).



Figura 4.7 - Amostra macroscópica 20-IX-99, ortoconglomerado polimítico de coloração acinzentada, apresentando clastos arredondados com baixa esfericidade e baixo grau de selecionamento.

O arcabouço é composto por 85% de fragmentos líticos, sendo 55% de fragmentos de pelitos (0,4 a 2,4 cm) e 30% de fragmentos de arenitos (0,8 a 9,5 mm), além de 13% quartzo (0,08 a 0,6 mm) e 2% de óxidos. Os fragmentos líticos são caracterizados por laminação interna, típica de rochas pelíticas (siltios e folhelhos), alongados ou arredondados com presença de pequenos grãos de quartzo. Os fragmentos de arenito são arredondados, com baixa esfericidade internamente marcados pelos grãos em contato planar (Figura 4.8). Os grãos de quartzo são arredondados, com baixa esfericidade, sendo monocristalino, por vezes policristalino, com extinção ondulante, por vezes reta. Também é observada orientação preferencial dos grãos ao longo do plano de acamamento.

A compactação mecânica é evidenciada pelos contatos planares e côncavo-convexo entre os fragmentos líticos de arenitos finos a médios e menos frequentemente ocorrem contatos suturados. Os contatos dos grãos de quartzo são predominantemente planares, por vezes côncavo-convexo.

Essa fácies apresenta característica de fluxo turbulento, com a perda de velocidade da corrente ocorre a deposição das partículas mais grossa e gerando ortoconglomerados (D'ávila & Paim, 2003). Não se descarta a possibilidade de ter havido transformação de fluxo turbulento para laminar resultando na remoção da matriz fina.

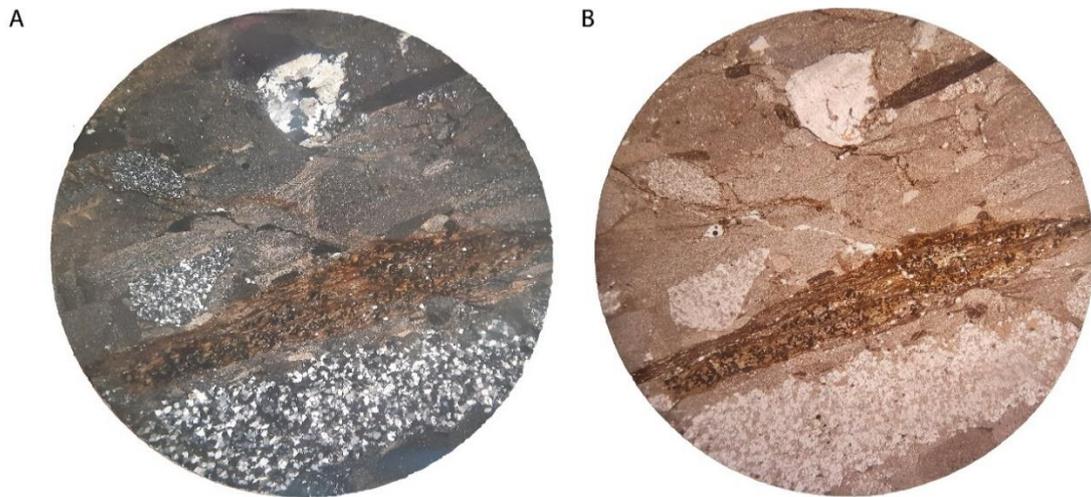


Figura 4.8 - Fotomicrografia da amostra 20-IX-99 a nicois paralelos na imagem A. e a nicois cruzados na imagem B. Nesta imagem podem-se observar fragmentos líticos de pelitos.

4.3.2 Fácies F6

A fácies F6 é caracterizada por arenitos médios e litoarenitos, que foram encontradas em todas as áreas de ocorrência da Formação Quilombo do projeto. Essa fácies ocorre em diversos tipos de afloramentos, como lajedo, drenagem e corte de estrada, em camadas maciças decimétricas até métricas.

As rochas dessa fácies apresentam coloração cinza escuro quando frescas, e marrom quando alteradas. Na Subárea II, observou-se predominância de litoarenitos com espessura variando de decimétricas a métricas, sendo observado também arenitos quartzosos (> 95% quartzo) e arenitos sublíticos (5% a 25% de fragmentos líticos).

O litoarenito apresenta coloração acinzentada com clastos subarredondados a subangulosos, e seus clastos são predominantemente elípticos, com granulometria menor que 0,5mm, e frequentemente apresenta laminação plano-paralela com ocorrência de laminação truncada. O arcabouço é composto por 20% de fragmentos líticos, 5% de matriz argilosa, e 68% de quartzo, 5% de plagioclásio, 1% de óxidos e 1% de cimento.

Os fragmentos líticos variam o tamanho de 0,2 a 1 mm, por vezes encontram-se estirados e ocupam os interstícios (pseudomatriz). Apresentam também fragmentos de calcita, subarredondados com baixa esfericidade. O quartzo apresenta granulometria de 0,1 a 1 mm, arredondados a subarredondados, ângulos a subangulosos, evidenciando uma baixa maturidade textural. O plagioclásio apresenta granulometria de 0,1 a 1 mm, arredondados a subarredondados, ângulos a subangulosos e pode ser diferenciado dos quartzos devido a geminação lei da albite. O cimento silicoso ao redor dos clastos de quartzo (sobrecrescimento) indica um processo pós-deposicional precoce. Os contatos entre os grãos são planares e côncavo-convexos, sendo

predominante planares. Apresentam laminação plano-paralela, e localmente, laminação truncadas.

Ocorrem com menor frequência arenitos quartzosos de coloração acinzentada quando frescos e amarronzado quando alterados e apresentam mal selecionamento, com clastos subarredondados. Essas rochas têm como característica alta maturidade mineralógica, com 95% de quartzo e 5% de minerais micáceos, incluindo clorita e muscovita. São predominantemente maciços, porém, por vezes exibem laminações plano-paralelas e laminações com truncamento.

Os arenitos sublíticos apresentam grande similaridade aos litoarenitos, diferenciando devido a menor ocorrência de fragmentos líticos. O arcabouço é composto por 65% de quartzo, 3% de plagioclásio, 3% de matriz argilosa, 25% de fragmentos líticos, 2% de óxidos e 2% de cimento silicoso (Figura 4.9). Os fragmentos líticos têm um tamanho que varia de 0,3 a 2 mm, apresentando características de pseudomatriz, com fragmentos líticos entre os interstícios de clastos de quartzo. O quartzo (0,08 - 0,9mm), em sua maioria monocristalino, arredondados, com média esfericidade, com extinção reta a ondulada. O plagioclásio apresenta-se alterado, por vezes exibindo geminação lei da albita, com tamanho de 0,1 a 0,4mm. O cimento silicoso é observado entre os grãos de quartzo e preenchendo os poros. Apresenta contato planares e côncavo-convexo, predominado contatos côncavo-convexos entre os grãos de quartzo.

Esses depósitos são da mesma população encontrada na fácies F5, mas que foram transportados corrente abaixo, passando por elutriação dos finos e retrabalhamento, gerando areias de granulometria média a grossa com laminações plano-paralelas e truncadas (D'ávila & Paim, 2003).

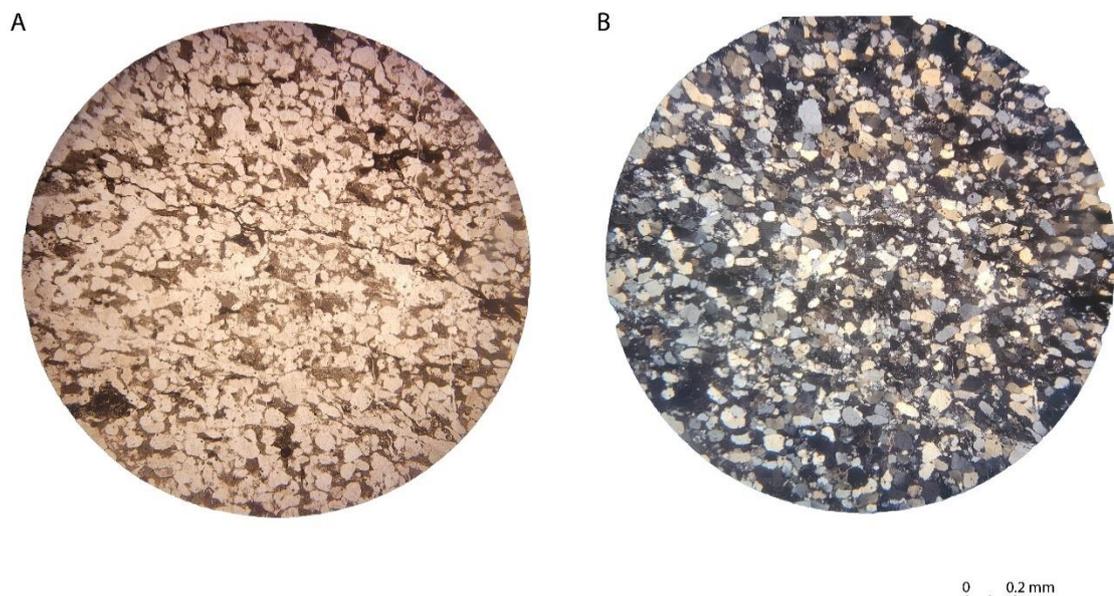


Figura 4.9 - Litoarenito mal selecionamento, com grãos subarredondados e com baixa esfericidade. A: Em nicois paralelo. B: Em nicois cruzados.

4.3.3 Fácies F7

A fácies F7 é caracterizada por grauvacas líticas e grauvacas quartzosas maciças. Os

afloramentos dessas rochas são menos frequentes que as da fácies F6 e ocorrem principalmente em lajedos e cortes de estradas. Constitui nessa fácies intercalações com a fácies F8, marcada por camadas heterolítica (Figura 4.10).

A grauvasca lítica apresenta coloração cinza escura quando fresca e marrom ou rosada quando alterada. Esta fácies, na maior parte da área de ocorrência, apresenta textura maciça, sem apresentar estruturas primárias, além de grãos subarredondados com baixa esfericidade, baixa seleção e baixa maturidade textural e mineralógica.

Petrograficamente é constituída de 45% de quartzo, 25% de fragmentos líticos, 2% de plagioclásio, 20% de matriz argilosa, 7% de óxidos e 1% de muscovita. Os cristais de quartzo variam de 0,1 a 1 mm, são subarredondados e com baixa a média esfericidade. Os fragmentos líticos apresentam tamanho de 0,4 a 2,2mm, são mal arredondados e de baixa esfericidade. Os grãos de plagioclásio apresentam tamanhos variáveis de 0,3 a 0,6mm com tendência subangulosa e alta esfericidade (Figura 4.11). Os contatos variam de planares, côncavo-convexo até suturados.

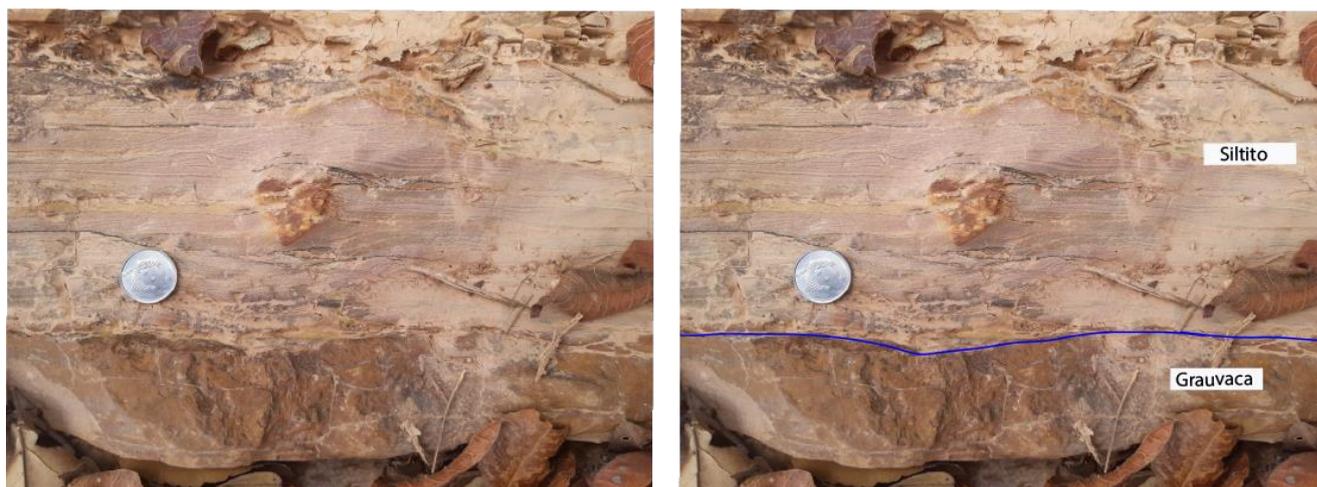


Figura 4.10 - Afloramento evidenciando o comportamento do contato entre as camadas individuais, mostrando brusco entre camada de grauvasca lítica e camada de siltito laminado.

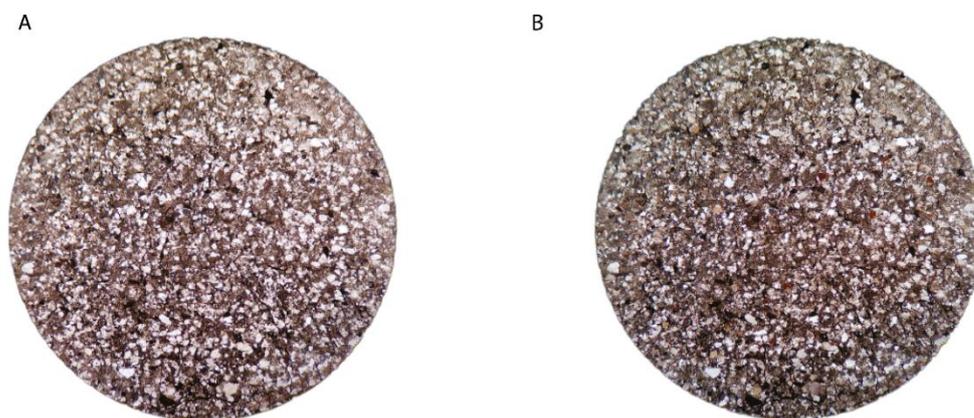


Figura 4.11 - Seção da lâmina da grauvaca lítica pobremente selecionada, fina, com grãos subangulosos com moderada esfericidade.

A grauvaca quartzosa maciça é encontrada com menor frequência na região do projeto, sendo encontrada nas áreas II e IX. Esta fácies apresenta coloração cinza escura quando fresca e marrom quando alteradas, mal selecionada com granulometria areia fina a média, e grãos subangulosos. O arcabouço é constituído de 37% de quartzo, 50% de matriz lamosa, 5% de feldspato, 6% de fragmentos líticos e 2% de muscovita. O quartzo apresenta tamanho de 0,1 a 0,25mm, caracterizado tanto por clastos monocristalinos quanto policristalinos, angulosos a subangulosos com alta esfericidade. Os grãos de plagioclásio apresentam tamanho de aproximadamente 0,1 mm subangulosos com esfericidade média.

Essa fácies evidencia alternância de areia grossa com areia de granulometria mais fina, que são desenvolvidos por meio de fluxo que combinam a tração de carga grossa na base do fluxo derivado do retrabalhamento de depósitos de fluxo granulares depositados corrente acima, junto também com a deposição de areia fina a média transportada por fluxo turbulento (D'ávila & Paim, 2003).

4.3.4 Fácies F8

Essa fácies é caracterizada por siltitos maciços e siltitos laminados, que foram encontrados em diversos locais na Subárea II, em drenagens, cortes de estrada e em lajedos (Figura 4.12). Essas rochas apresentam coloração cinza esverdeada quando fresca e amarelo avermelhado quando alterada. As camadas possuem geometria tabular, com continuidade lateral regular.

Essa fácies é característica de depósitos mais distais que apresentam predominantemente grãos finos e sem estrutura trativa, formado por decantação de partículas finas em suspensão (D'ávila & Paim, 2003).

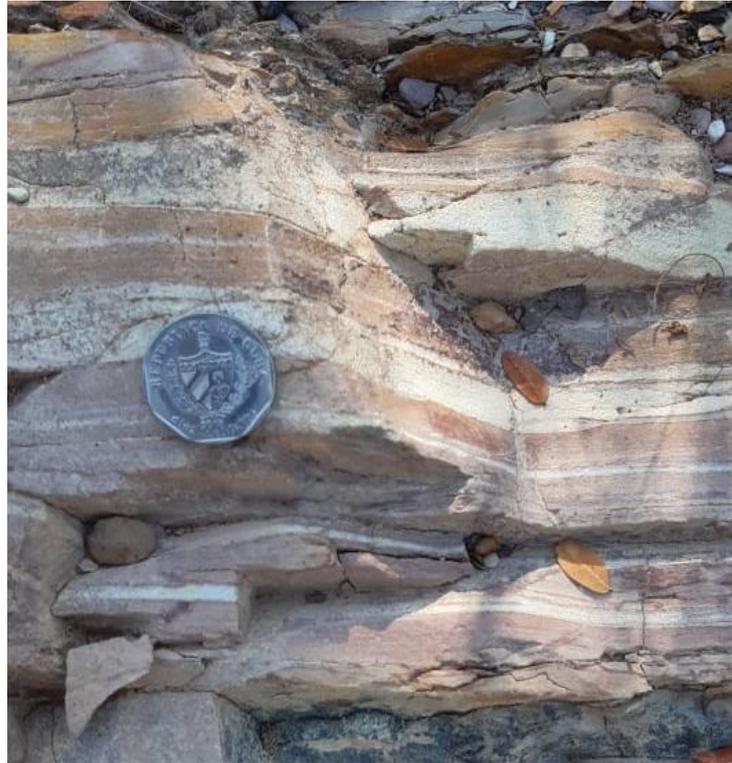


Figura 4.12 - Siltito laminado intemperizado de coloração rosada/amarelada encontrado em corte de estrada.

4.3.5 Fácies F9

A fácies F9 é caracterizada por folhelhos laminados de coloração cinza esverdeada com espessura aproximada de 10 cm e foi observada em raros pontos na área do projeto (Figura 4.13). Essa fácies é formada nos estágios finais das correntes de turbidez, onde ocorre uma redução de energia o que favorece a deposição de lama por decantação (D'ávila & Paim, 2003).

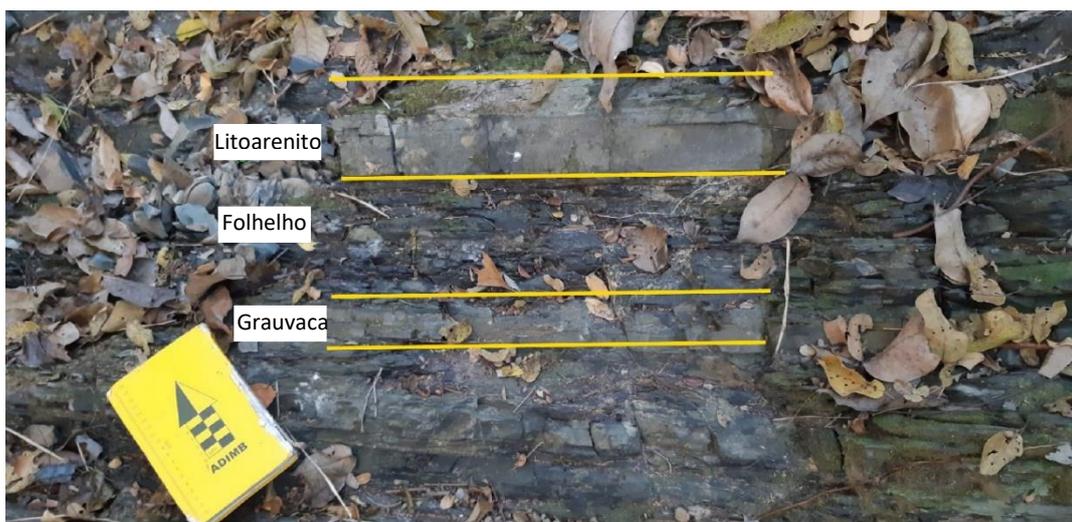


Figura 4.13 - Folhelhos intercalados com litoarenitos e grauvacas.

4.4 Petrografia das Rochas Vulcânicas

As rochas vulcânicas foram originalmente descritas por Campos *et al* (2021) como de ocorrência restrita ao Membro Ribeirão do Franco. Contudo, o presente trabalho mostra que estas rochas também ocorrem no Membro Ribeirão da Porteira.

Afloram nas subáreas II, III, IV, no Membro Ribeirão do Franco, e na Subárea VII ocorrem no Membro Ribeirão da Porteira. As exposições são comuns em vales de drenagens, apresentam coloração acinzentada quando fresca e avermelhada quando alterada. As principais características que as distingue das rochas sedimentares, são sua densidade, maior dureza e a presença de microfenocristais imersos em uma matriz muito fina. Ocorrem em camadas delgadas, com espessuras decimétricas, variando entre 10 a 60 cm, intercalado com siltitos do Membro Ribeirão do Franco, e com arenitos do Membro Ribeirão da Porteira. Apresentam textura microporfírica, localmente afanítica (Figura 4.14), apresentando textura esferulítica causados por processo de resfriamento rápido.

Na análise microscópica, as texturas em “olhos” mostram tamanhos de 0,1 a 0,6 mm, sendo interpretadas como esferulitos deformados, ou como citado por Moura (2018) como microamígdala, preenchida por quartzo (Figura 4.15). A matriz é muito fina e não é possível identificar os minerais que a compõem. Essas rochas foram classificadas por Moura (2018), com base em dados geoquímicos, de composição intermediária/ácida, com composição de dacito a riolito e ocorrem dispostas de forma concordante a sedimentação.



Figura 4.14 - Afloramento de rocha vulcânica afanítica em drenagem e amostra de mão de rocha vulcânica microporfírica. Fácies vulcânica no Membro Ribeirão do Franco.

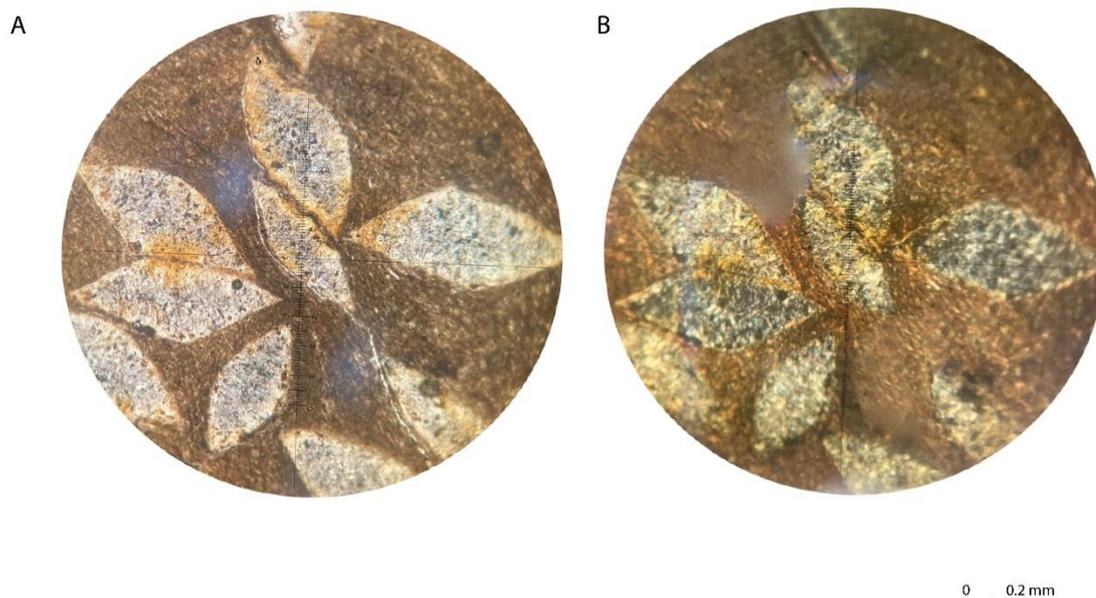


Figura 4.15 - Seção da lâmina do Membro Ribeirão do Franco mostrando a feição em forma de “olhos”.

4.5 Sistema Depositional da Formação Quilombo

O modelo deposicional proposto para a Formação Quilombo é o leque turbidítico marinho profundo, que são rampas submarinas alimentadas por cânions. O modelo utilizado se encaixa nas associações de fácies do sistema turbidítico proposto por Mutti (1992) descritas no projeto (Figura 4.16).

A Figura 4.13 mostra três processos diferentes, evidenciado pela presença da fácies F6, F7 e F8 de Mutti. A fácies F6 evidencia fluxo laminar, a fácies F7 é depositada por fluxos de lama com menor retrabalhamento e a fácies F8 mostra uma diminuição drástica na energia do sistema, depositando partículas em suspensão.

A partir da composição petrográfica das duas unidades que compõem a Formação Quilombo é possível caracterizar duas condições dentro do sistema turbidítico proposto. Toda a sedimentação desta unidade se dá em condições distais, com deposição não confinada em canais, entretanto os dois membros representam, condições distintas nas franjas dos lobos turbidíticos: *i*) maior contribuição psamítica contendo intercalações de litoarenitos, grauvacas líticas e com eventuais conglomerados, caracterizado como a porção mais proximal do sistema de águas profundas; e *ii*) ritmitos com maior contribuição pelítica, representada por intercalações de arenitos finos, siltitos e folhelhos, que evidência as condições mais distal de águas profundas.

Em ambos os membros ocorrem restritos volumes de derrames de lavas intermediárias a ácidas, que são interpretadas como de vulcanismo subaquoso formado em condições de ambientes tectônicos intraplaca a pós-colisional (Campos *et al.*, 2021).

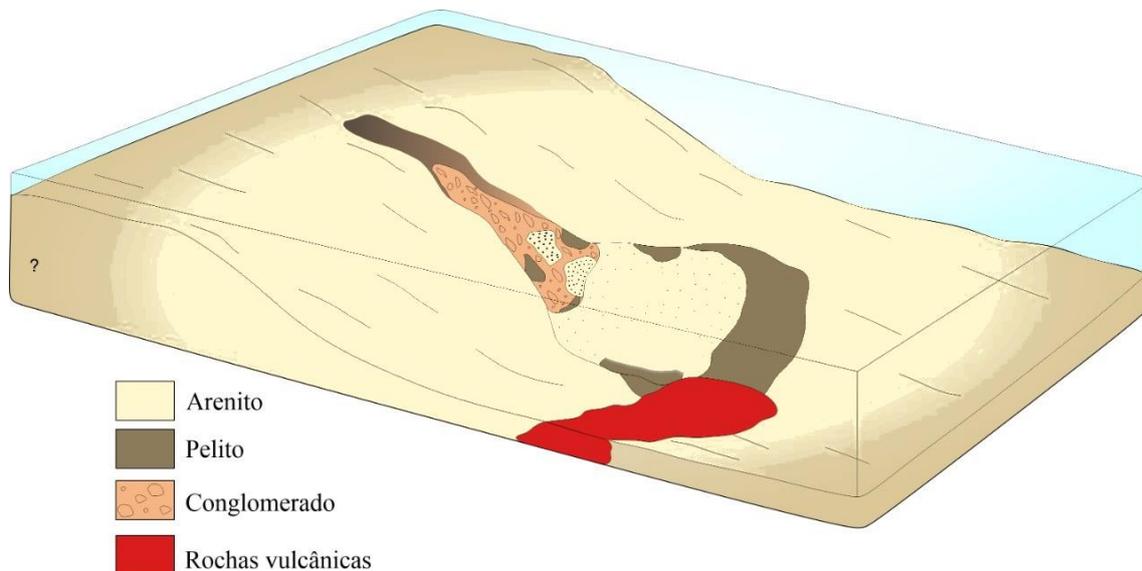


Figura 4.16 - Sistema deposicional turbidítico da Formação Quilombo evidenciando as fácies associadas aos depósitos mais proximais (fração mais grossa) e distais (fração mais fina).

4.6 Grupo Bambuí

4.6.1 Formação Sete Lagoas

Na área do projeto, a Formação Sete Lagoas ocupa regiões com cotas mais baixas, em topografia suave e em drenagens encaixadas, ocorrendo em contato com rochas do Membro Ribeirão do Franco. Apresenta rochas de coloração cinza escuro e esverdeadas quando frescas (Figura 4.17) e rosadas, avermelhadas com manchas brancas quando alteradas (Figura 4.18). As rochas frescas estão localizadas restritamente em drenagens da Subárea II em função de um controle estrutural específico. As fácies com contribuição carbonática têm maior tendência a formar camadas de maiores espessuras, apresentando níveis decimétricos a métricos, e as rochas com menor contribuição carbonática apresentam espessuras centimétricas.

Na Subárea II, a associação de fácies apresenta uma espessa sucessão de margas, siltitos e folhelhos. As margas apresentam camadas decimétricas, com estrutura maciça, e em alguns níveis laminação plano-paralela, e ocorrem intercaladas com camadas centimétricas de siltito, com espessura centimétrica (3-4 cm), com laminação plano-paralela bem marcada, por vezes maciços, e também ocorre intercalações com folhelhos verde escuro. A laminação é ressaltada por diferentes níveis de compactação nas rochas presentes dessa formação, e pela leve variação granulométrica.



Figura 4.17 - Afloramento de rochas do Grupo Bambuí, Formação Sete Lagoas, encontrado em leito de drenagem. Intercalação de níveis pelíticos com e sem contribuição carbonática.



Figura 4.18 - Formação Sete Lagoas, em elevado grau de alteração, mostrando coloração rosada com preservação da laminação da rocha. Afloramento em ravina erosiva na área II.

A Tabela 4.2 sintetiza as fácies presentes na Formação Sete Lagoas e respectivas estruturas, além dos processos responsáveis pela sua deposição.

Código	Fácies	Estrutura	Processos
Cm	Calcário micrítico	Maciço	Deposição química
Sl	Siltito laminado	Laminação plano-paralela	Deposição por suspensão
Fol	Folhelho	Laminação plano-paralela	Deposição por suspensão
Mn	Marga	Maciça	Deposição simultânea por suspensão de precipitação química

Tabela 4.2 - Tabela de fácies aplicadas à Formação Sete Lagoas do Grupo Bambuí.

4.7 Sistema Depositional da Formação Sete Lagoas

A gênese destes depósitos de granulação fina é interpretada como derivada de processos suspensivos em águas profundas abaixo do nível de base de ondas de tempo bom, possivelmente em uma plataforma rasa. Vieira et al., (2007) interpretam que a deposição da Formação Sete Lagoas se desenvolveu em rampa carbonática, dividida em ambientes de rampa interior, média e exterior (Figura 4.19).

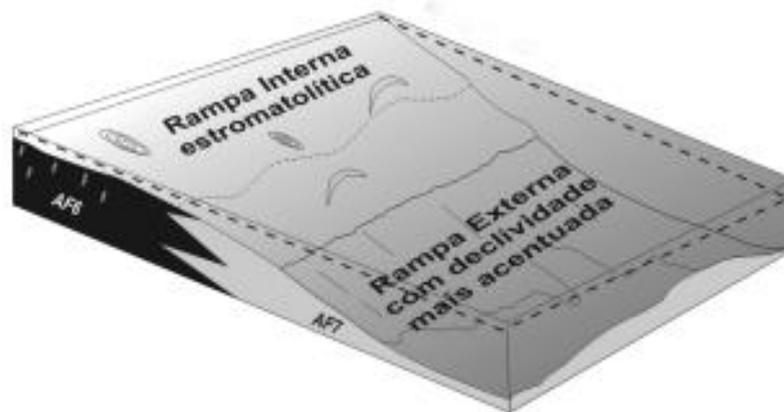


Figura 4.19 - Bloco diagrama esquemático mostrando o modelo deposicional de rampa carbonática, proposto para a Formação Sete Lagoas por Vieira et al. (2007).

Na área em estudo a presença de sedimentação mista, com sedimentos pelíticos, sedimentos carbonáticos impuros (margas) e sedimentos carbonáticos puros (calcários micríticos) indica a atuação simultânea de processos suspensivos em associação com processo de precipitação química.

Como as intercalações entre as diferentes fácies é aleatória, sugere-se que a deposição carbonática ou com contribuição carbonática era controlada pela saturação das águas na plataforma. A sedimentação pelítica é essencialmente controlada pela disponibilidade de lamas nas porções de baixa energia na plataforma externa.

CAPÍTULO 5

5. GEOLOGIA ESTRUTURAL

5.1 Introdução

Em uma perspectiva tectônica regional, a área do Projeto Unaí está inserida no contexto da Faixa de Dobramentos de Brasília, em um extenso sistema de dobras e cavalgamentos neoproterozoicos que ocupa a porção centro-leste da Província Tocantins (Fuck, 1994). O sistema de dobramentos e cavalgamentos se estende por mais de 1000 km junto a borda oeste do Cráton São Francisco, estruturado em dois segmentos: a norte, com direção preferencial NE-SW, e ao sul, com direção preferencial NW-SE (Almeida, 1981; Dardenne, 2000).

A área de estudo está localizada na porção externa da Faixa Brasília, no seguimento sul, com estruturas associadas a transporte tectônico com movimento dominante para leste acompanhadas de um metamorfismo progressivo que aumenta de leste para oeste (Fuck *et al.*, 2005). Ocorrem dobras flexurais por deslizamento e extensas falhas de empurrão colocando litologias mais antigas sobre unidades mais jovens, que pode ser exemplificado pelo deslocamento da Formação Quilombo sobre o Grupo Bambuí.

Os elementos geométricos identificados e a cinemática da deformação permitiram englobar o contexto estrutural em um único evento de deformação progressiva. O contato tectônico entre as unidades geológicas aflorantes na área do estudo pode ser de dois tipos, por falhas reversas de baixo ângulo ou por empurrões. Falhas reversas colocam o Grupo Canastra sobre o Grupo Paranoá e o Grupo Paranoá sobre a Formação Quilombo. Na porção nordeste, a Formação Quilombo está em contato com o Grupo Bambuí por meio de uma falha de empurrão. Estes dois tipos de falhas são similares, e o que as diferencia é o fato de nas falhas reversas de baixo ângulo não haver a inversão da estratigrafia, o que é observado na falha de empurrão.

O fato de a deformação não envolver o embasamento permite considerar o sistema tectônico como do tipo pelicular ou *thin skinned* (Moura, 2018).

Foram realizadas cinquenta e três medidas de acamamento primário (S₀), que é o plano mais facilmente observado na maioria dos afloramentos. O acamamento primário apresenta direção máxima de 247/44 (Figura 5.1). Além disso, é observada foliação de plano axial (S_p), das dobras responsáveis pelo encurtamento crustal regional. Estas dobras são fechadas, assimétricas e apresentam planos axiais em alto ângulo, com mergulho para oeste indicando vergência geral para leste em direção ao Cráton São Francisco.

Além do acamamento, das dobras e da foliação de plano axial, ainda ocorrem estruturas como *slickenlines* e fraturas.

A foliação apresenta orientação preferencial SSW/NNW e uma cinemática reversa com componente transcorrente sinistral com vergência para E/SE. As fraturas apresentam direções preferenciais NW/NE e mergulhos normalmente que variam de moderados a altos.

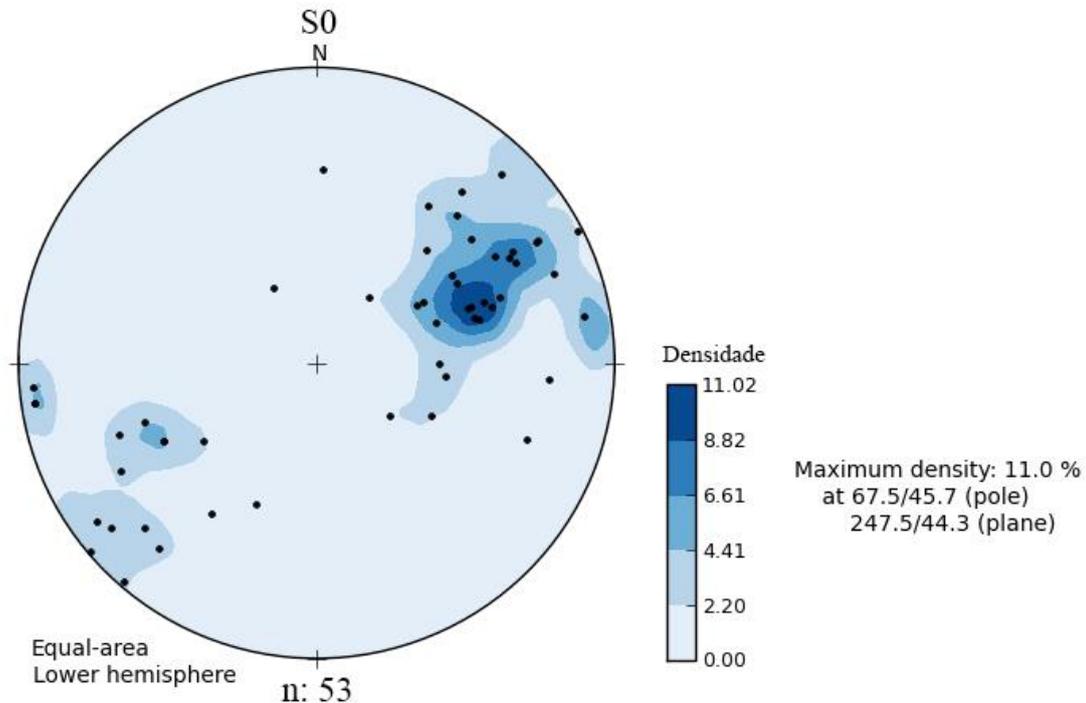


Figura 5.1 - Estereograma evidenciando o comportamento do acamamento primário (S0), com predomínio de mergulho para SW, com mergulhos que variam de 23° a 88°.

5.2 Arcabouço Estrutural

Através da análise estrutural dos elementos tectônicos na Subárea II foi possível dividir o conjunto de estruturas em dois contextos: i) com predominância de feições dúcteis representadas pela presença de dobras, foliações e lineações; e ii) feições rúpteis, evidenciado pela ocorrência de fraturas e falhas. A seguir são detalhadas as estruturas, seu significado e a cinemática associada.

Na Subárea II encontram-se estruturas dúcteis como foliações e dobras (Figura 5.2). A Formação Quilombo é representada por uma ritmicidade de níveis pelíticos e psamíticos, no qual são observadas dobras com escala métricas, antifformes, com geometrias fechadas, planos axiais inclinados, assimétricas, com eixo sub-horizontal e levemente inclinado.

De maneira geral, o estilo de dobras mais comum é do tipo chevron, contudo, dobras em caixa, dobras suaves, dobras apertadas até quase isoclinais, dobras com flancos invertidos, dobras com flancos falhados e dobras com eixos verticalizados também são encontradas. Esta diversidade de estilos de dobramentos, muitas vezes mostrando aspectos de estruturas desarmônicas, é compatível com a condição crustal em que a deformação se processa. Neste caso, trata-se de uma tectônica rasa, com restrito confinamento litostático, e por isso o escape vertical e lateral de massa

é facilitado, resultando em estruturas como as dobras descritas. O fato de as rochas serem praticamente sedimentares, sem serem submetidas a metamorfismo, apenas no campo do anquimetamorfismo corrobora esta interpretação.

A foliação Sp observado na área de estudo está bem marcada e preservada, ocorrendo em rochas pelíticas de maneira mais evidente, e menos expressivo em rochas psamíticas. Essas foliações ocorrem por vezes perpendicular ao acamamento, apresentando uma clivagem espaçada em arenitos (Figura 5.3). Foram levantadas 40 (quarenta) medidas de Sp durante o campo, com atitude máxima de aproximadamente 240/51. Essas medidas foram tratadas no estereograma (Figura 5.4).

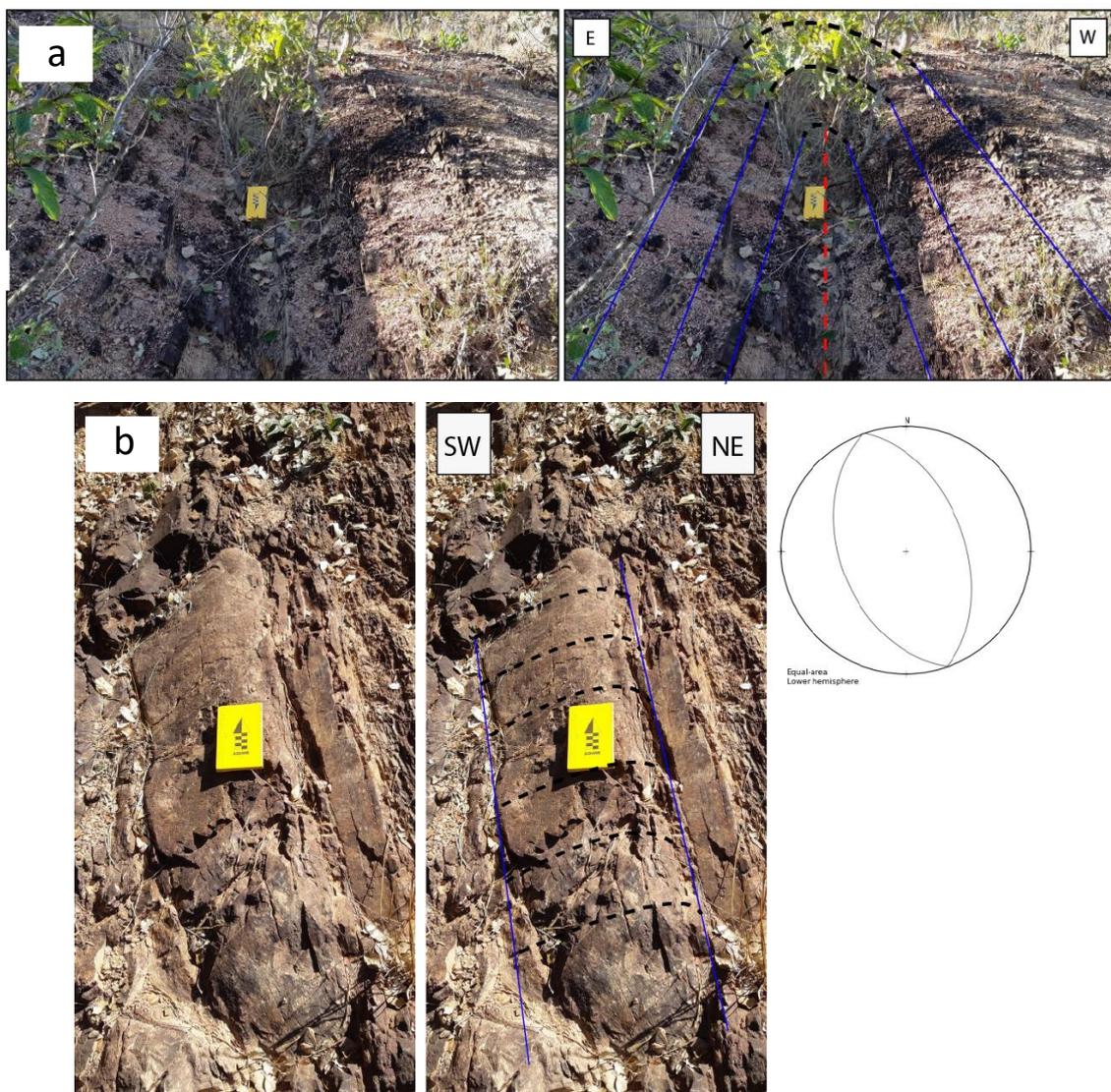


Figura 5.2 - Afloramento em lajedo (a e b), mostrando padrão assimétrico com vergência para leste. Estas estruturas correm comumente em ritmitos do Membro Ribeirão do Franco.

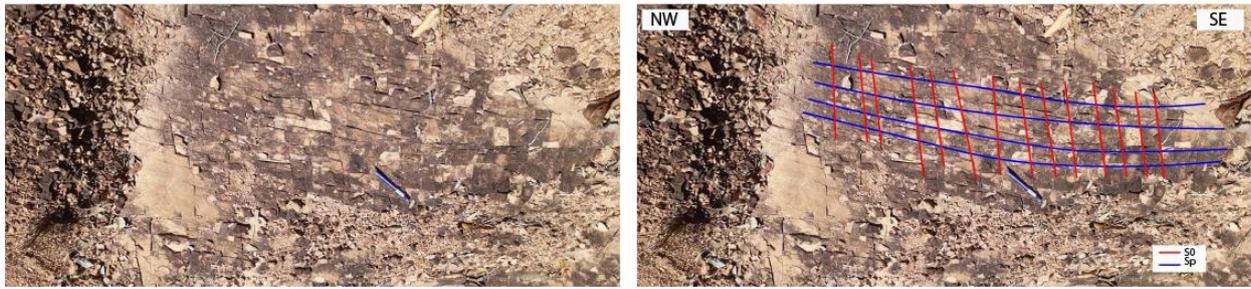


Figura 5.3 - Clivagem espaçada em rochas de composição psamíticas da Formação Membro Ribeirão do Franco. A foliação Sp (344/69) obliqua a S0 (063/48), apresentando uma clivagem espaçada.

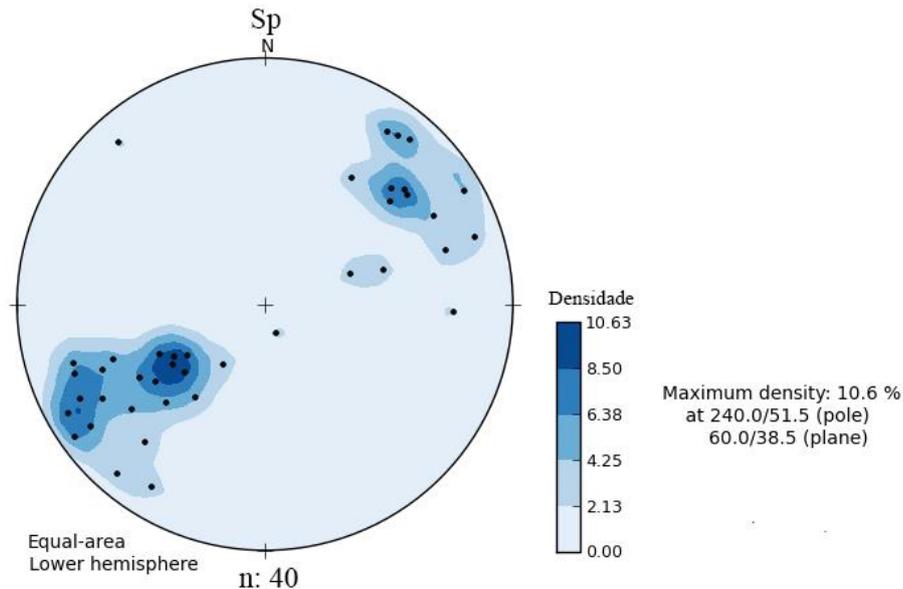


Figura 5.4 - Estereograma referente a foliação Sp com mergulhos variando de 24° a 83° para SW.

Algumas estruturas geradas durante a deformação progressiva são as falhas reversas e os deslocamentos interestratais ocasionando *slickenlines* além de diferentes famílias de fraturas. A ocorrência dessas estruturas se dá em resposta a uma posição estratigráfica em zonas crustais mais rasas.

As estruturas tipo *slickenlines* estão contidas no plano do acamamento (S0) ou em veios de segregação de quartzo leitoso e tem caimento que varia de 18° a 40° com direção predominante NW/SE, indicando uma movimentação reversa com componente sinistral.

Essas lineações são indícios do cavalgamento da Formação Quilombo sobre o Grupo Bambuí, evidenciando a cinemática do movimento regional. Localmente este tipo de estrutura ocorre internamente na Formação Quilombo e indica que houve encurtamentos e rompimentos de flancos de dobras no interior desta unidade e não apenas nos contatos das estruturas regionais.

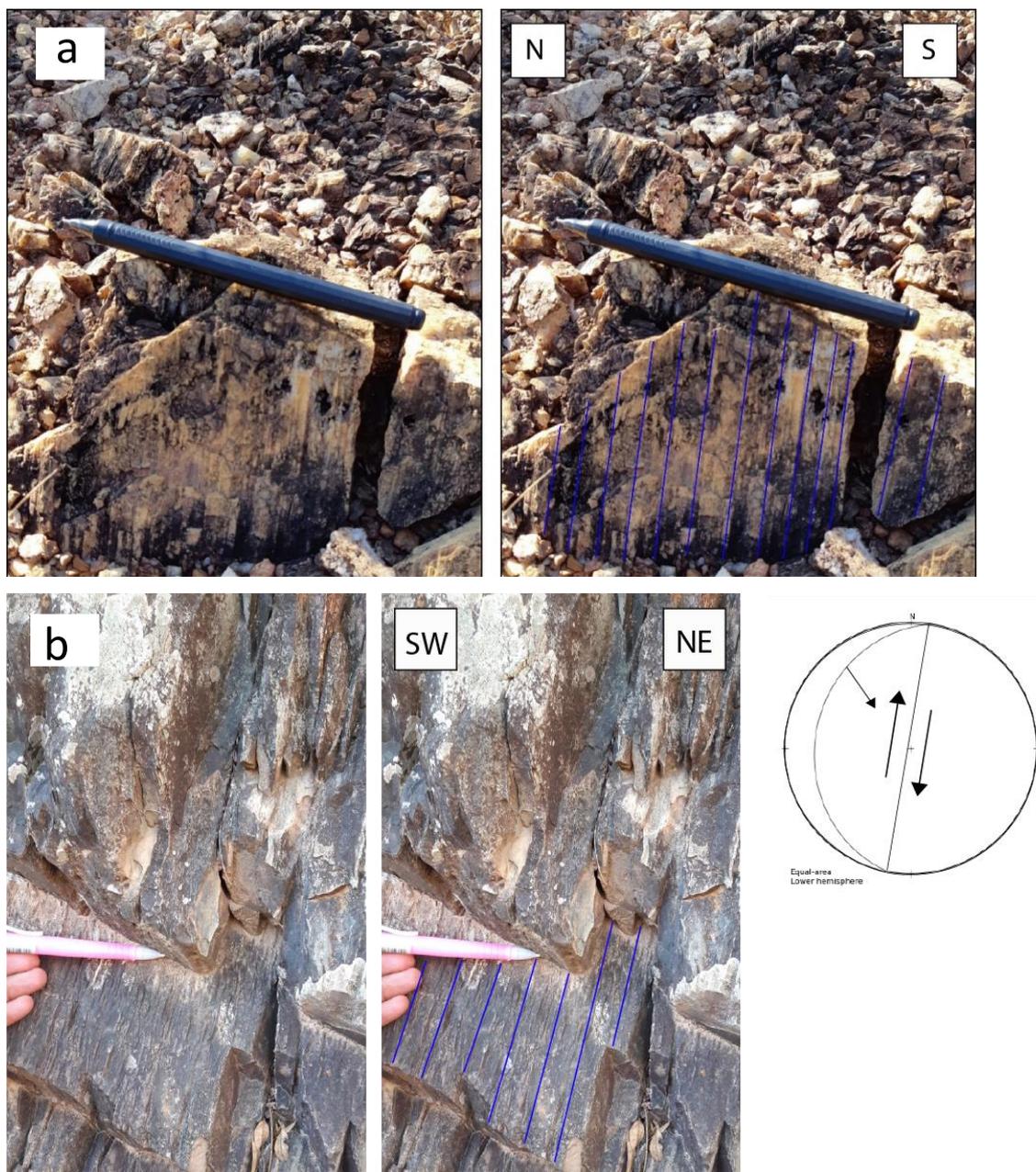


Figura 5.5 - a. Slickenlines em litologia quartzoarenítica do membro Ribeirão da Porteira. **b.** Slickenlines no litoarenito no Membro Ribeirão da Porteira com estereograma indicando cinemática transpressiva sinistral, com topo para nordeste.

As fraturas ocorrem comumente na maior parte das exposições rochas na área de estudo. Essas estruturas são subverticais e por vezes formam pares conjugados (Figura 5.6). Foram aferidas cinquenta e quatro medidas de fraturas, e com isso foi possível confeccionar um diagrama de rosetas que evidenciou as direções preferenciais das famílias de fraturas em N33°W e N25°E, mostrando correlação com padrão dos lineamentos morfoestruturais integrados na área do projeto Unai (Figura 5.7).

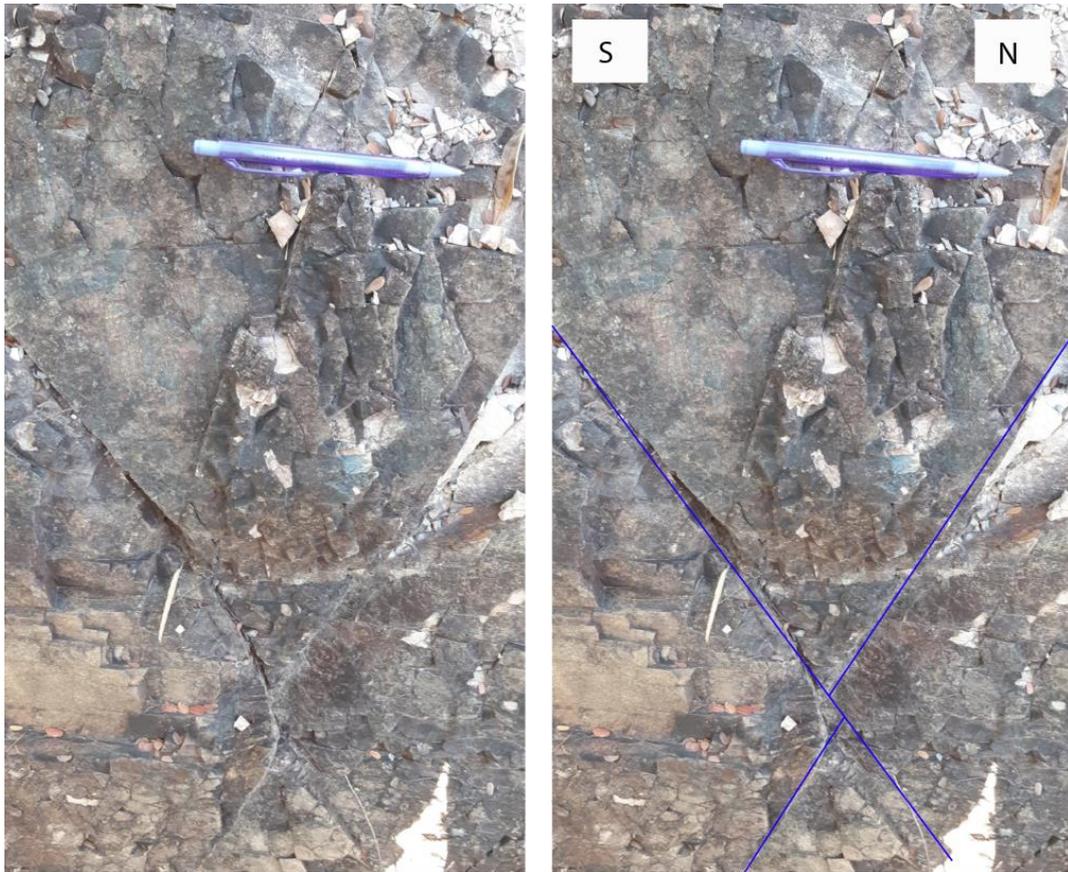


Figura 5.6 - Exemplo de fraturas de par conjugado desenvolvidas em rochas do Membro Ribeirão da Porteira, apresentando restrito deslocamento.

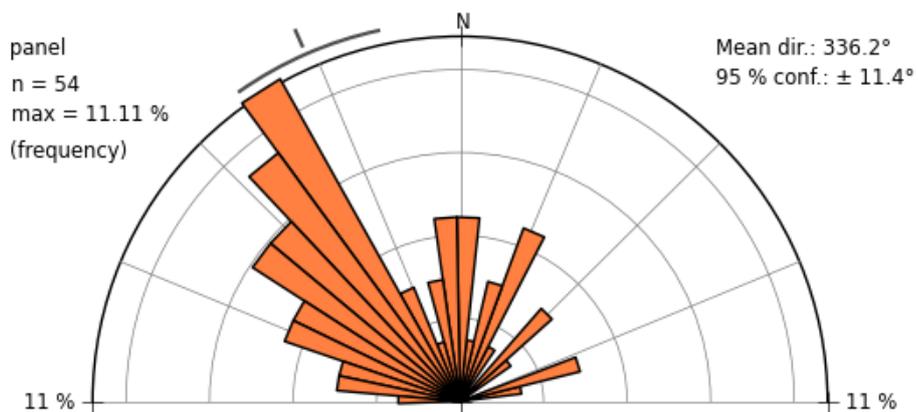


Figura 5.7 - Diagrama de roseta de fraturas da Subárea II. Nota-se direção preferencial N33°W e N25°E.

Na área de estudo é observada uma estrutura com fragmentos de pelitos tabulares compactos e deslocados, com material argiloso envolto, conferindo à rocha um aspecto brechado (Figura 5.8). Essa brecha de falha de escala decimétrica parece corresponder a uma fratura de cisalhamento desenvolvida em estrutura preexistente, indicando comportamento dúctil-rúptil, que ocorre em zonas crustais relativamente rasas.

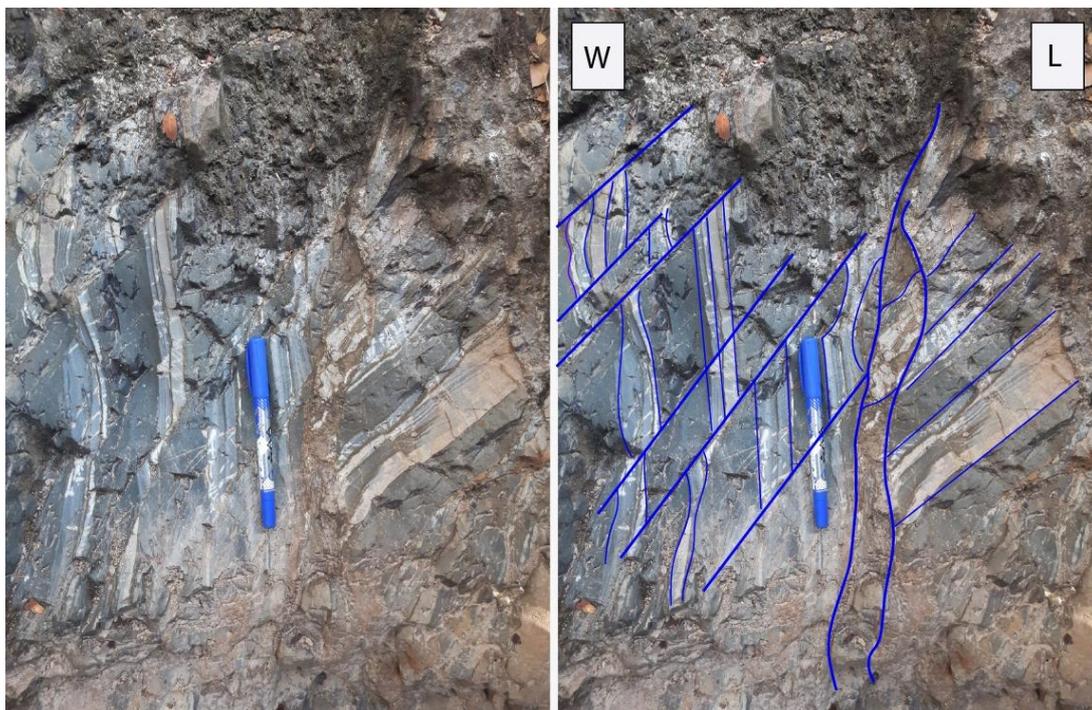


Figura 5.8 - Brecha de falha de escala decimétrica, fragmentos de pelitos tabulares deslocados, indicando um comportamento dúctil-rúptil. Encontrado em um afloramento de drenagem no Membro Ribeirão do Franco.

5.3 Discussões

O padrão das estruturas observadas nas rochas da Formação Quilombo, não apenas na Subárea II, mas em áreas adjacentes, como na BR-251 ao norte da área do projeto mostra estruturas com diferentes estilos. As dobras variam desde dobras suaves, apertadas, em chevron, em caixa (Figura 5.9) e com flancos invertidos, com flancos rompidos por falhas.



Figura 5.9 - Dobra em caixa preservada em ritmitos da Formação Quilombo (Br-251 Km 924).

Este padrão de estruturação é típico de uma tectônica rasa em rochas com contraste reológico, o que é corroborado pelo fato de se tratar de uma sucessão rítmica de rochas praticamente desprovidas de metamorfismo. A deformação se dá em um contexto crustal de restrito confinamento litostático.

As rochas da Formação Quilombo foram empurradas sobre o Grupo Bambuí, por meio de esforços compressivos, que soergueram também as unidades litoestratigráficas superiores a esta unidade (Figura 5.10). Esse contato é de difícil observação em campo, visto que a litologia que compõe o Grupo Bambuí ocorre em sua maioria bastante alterada. Entretanto, na Subárea II foi constada uma particularidade, próximo à divisa com a área III foi observada a ocorrência de rochas frescas da Formação Sete Lagoas. Essas rochas afloram em uma janela estrutural circundada pelos ritmitos do Membro Ribeirão do Franco. Essa janela estrutural não é representada no mapa de escala 1:50.000 em função da escala, sendo necessário maior detalhamento para que esta feição estrutural pode ser evidenciada.

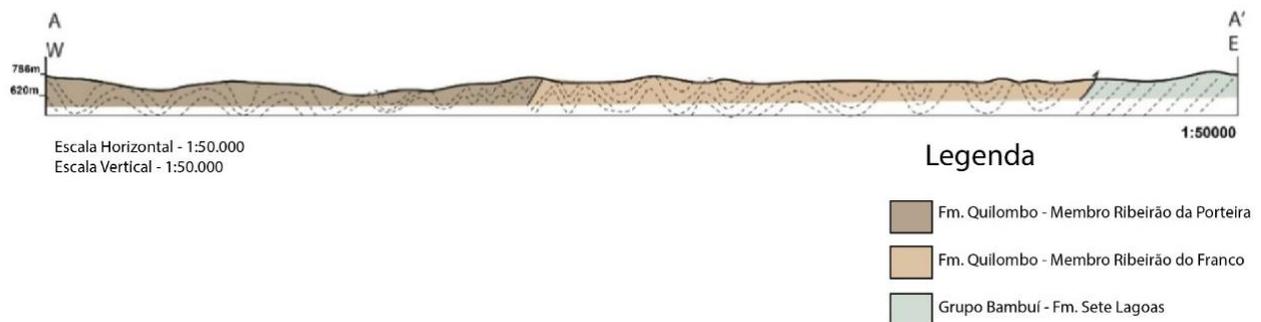


Figura 5.10 - Seção geológica da Subárea II.

Na Figura 5.11 foi destacada a área de ocorrência desses afloramentos, porém as exposições da Formação Sete Lagoas não ocorrem em todas as drenagens do perímetro, sendo apenas observadas nos casos em que as cotas topográficas estão abaixo de 620 metros. Nas drenagens acima dessa cota afloram as rochas do Membro Ribeirão do Franco. Essa janela estrutural é controlada pela erosão das rochas do Membro Ribeirão do Franco, que expõem as margas e dolomitos da Formação Sete Lagoas. Este padrão é apenas possível por se tratar de uma falha de baixo ângulo de mergulho que evoluiu com o padrão de rampas e patamares, de forma que a exposição da unidade que se encontra na lapa da falha é apenas observada localmente.

O contexto de deformação é mais raso, o qual é corroborado a partir dos dados obtidos em campo como as dobras no geral, fechadas com vergência predominantemente para leste evidenciando a resposta dessas unidades à compressão entre as falhas reversas. Além disso, a deformação associada ao empurrão é responsável pela geração das dobras e conseqüentemente da foliação Sp, cujo mergulho é para NE-SW e a qual, quando associada com *slickenlines*, revelam transporte tectônico preponderante para leste.

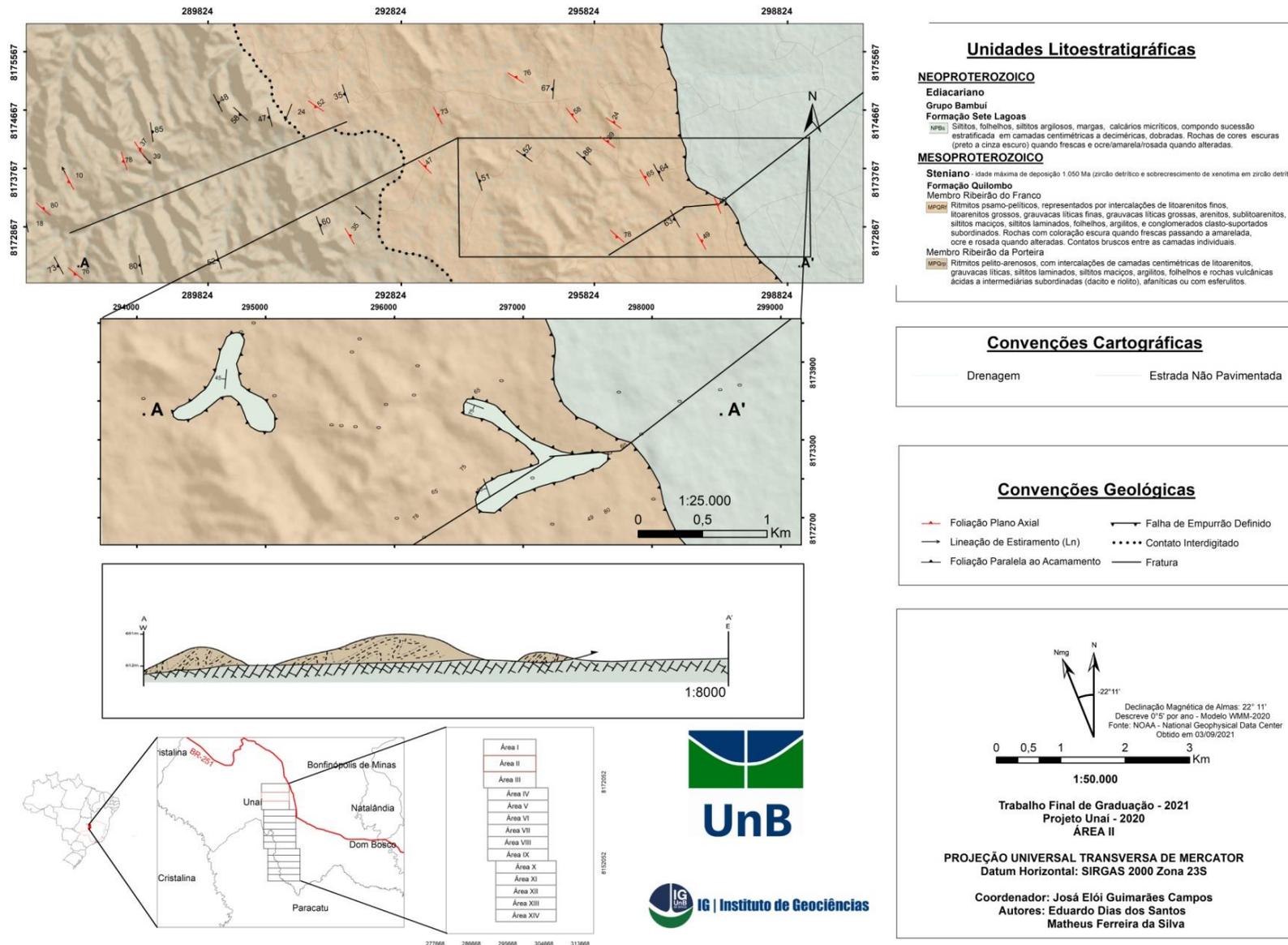


Figura 5.11 - Sessão Esquemática da Subárea II, com enfoque ao contato entre o Membro Ribeirão do Franco e a Formação Sete Lagoas do Grupo Bambuí. Essas rochas afloram em drenagens encaixadas no perímetro destacado no mapa, compoendo uma janela estrutural.

Com base na análise dos dados obtidos com o mapeamento de semidetalhe foi possível definir apenas um evento deformacional, com as direções de tensões compressivas na mesma orientação preferencial. As estruturas observadas foram geradas em resposta aos esforços compressionais na direção W-E, formando dobras com vergência para leste, pares de fratura NW-SE e NE-SW e lineações contidas em planos de deslocamentos. A cinemática da área pode ser descrita como reversa com topo para leste e componente sinistral.

CAPÍTULO 6

6. ZONEAMENTO HIDROGEOLÓGICO

6.1 Introdução

A necessidade por recursos hídricos aumenta ano após ano, e a disponibilidade desse recurso é limitada, e por isso tem gerado grande preocupação mundial sobre a disponibilidade e qualidade da água. Apesar da maior concentração de água doce existente no planeta seja encontrada no subsolo (97%) (ANA, 2019), a escassez de água é um problema, tanto por fatores climáticos, como longos períodos sem chuva quanto pela sua contaminação.

O objetivo principal do zoneamento hidrogeológico é a compartimentação do arcabouço geológico com base em suas propriedades hidrogeológicas: dados estruturais (comportamento reológico das rochas), taxas de infiltração do solo, vazões, características do solo (espessura, textura, estrutura, tipo, pH, etc.), perenidade dos cursos d'água superficiais, bem como regularização de uso, entre outras informações que podem estar presentes. A determinação do zoneamento hidrogeológico pode impactar potencialmente os usos existentes e posteriores, pois os efeitos podem ser monitorados para determinar se os regulamentos propostos para as diferentes zonas estão tendo os resultados desejados alcançados.

A área do projeto encontra-se inserida no contexto da Região Hidrográfica São Francisco, no qual o tipo de clima, como já mencionado no Capítulo de Introdução deste relatório, é predominante tropical úmido, no qual as variações térmicas são pequenas, com o regime pluviométrico caracterizado por máximos no verão, quente e chuvoso, e mínimos no inverno, frio e seco (Campos *et al.*, 2006).

O gráfico de balanço hídrico climatológico foi elaborado a partir da estação Unaí (Figura 6.1), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no período de 1981 a 2010. Devido à grande sazonalidade climática, apresenta déficit no balanço hídrico da região nos meses de maio a setembro, o que relaciona com os dados de precipitação, que são bem definidos pelo regime de menor pluviometria na região. Isso mostra que a retirada de água no sistema é maior que sua entrada, implicando diretamente na recarga do aquífero e na gestão dos recursos hídricos, que limita a disponibilidade de água para a população e para atividades agrícolas na região.

Para minimizar esses fatores são necessários estudos relacionados ao potencial hídrico em subsuperfície para a gestão e o planejamento do uso dos recursos hídricos. Contudo, esse capítulo não se refere ao mapeamento hidrogeológico da região, devido à falta de dados quantitativos, e

sim

sobre o potencial hidrogeológico da região e a caracterização geral dos aquíferos da área do projeto, utilizando dados da geologia e pedologia, culminando com a elaboração do mapa de zoneamento hidrogeológico da área na escala de 1:50:000.

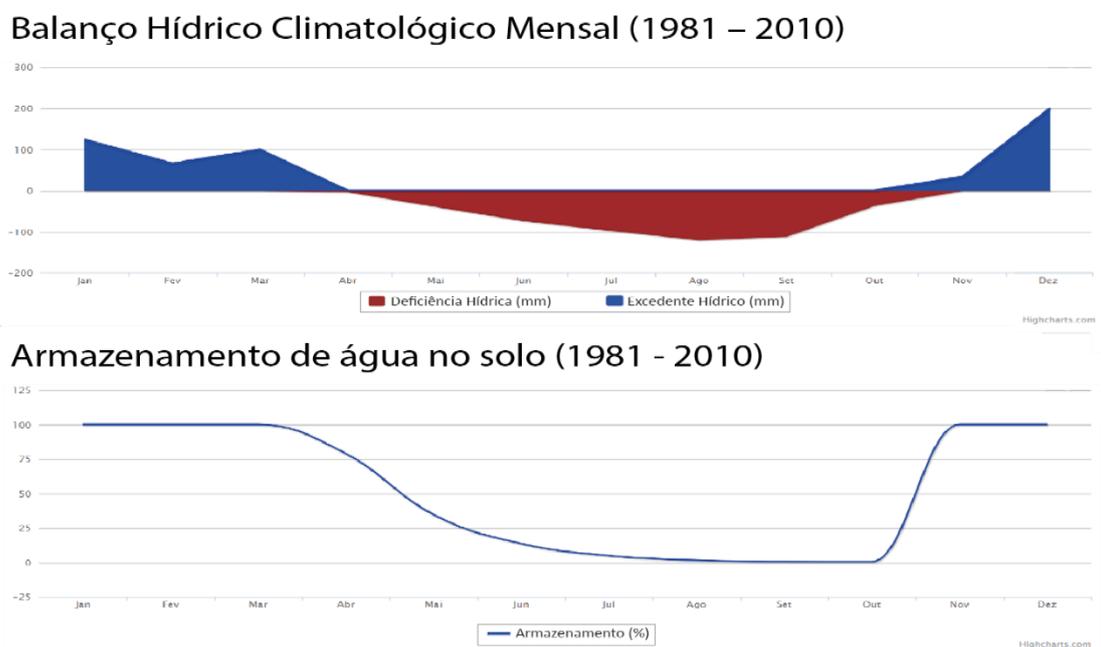


Figura 6.1 - Balanço hídrico e armazenamento de água no solo na estação de Unai, a mais próxima do perímetro estudado. Normais climatológicas de 1981 a 2010.

6.2 Mapa de Zoneamento Hidrogeológico

O mapa de zoneamento Hidrogeológico na escala 1:50.000 (Figura 6.2) foi confeccionado por meio da integração de todos os parâmetros disponíveis para a caracterização do potencial hidrogeológico da área, isto é, por meio das unidades litológicas, geomorfologia, dados de poços, solo e índice de fraturamento.

Como anteriormente mencionado, devido à ausência de dados quantitativos, foram utilizados dados qualitativos para embasar a proposição dos domínios. Os aquíferos foram categorizados de acordo com o tipo de rocha ou solo dos quais são compostos, sendo reclassificado pelo mapa pedológico do IBGE (2021) em escala 1:250.000. Desta forma, três domínios foram considerados: aquífero freático ou intergranular, associados aos solos espessos e solos rasos; e

domínios fraturado e fissuro-cárstico associados aos conjuntos rochosos (sua definição foi baseada na reclassificação do mapa geológico). Adicionalmente foi elaborado um diagrama de rosetas com base em direções dos lineamentos morfoestruturais medidos em campo. Também é apresentado no mapa dados de poços cadastrados SIAGAS - CPRM.

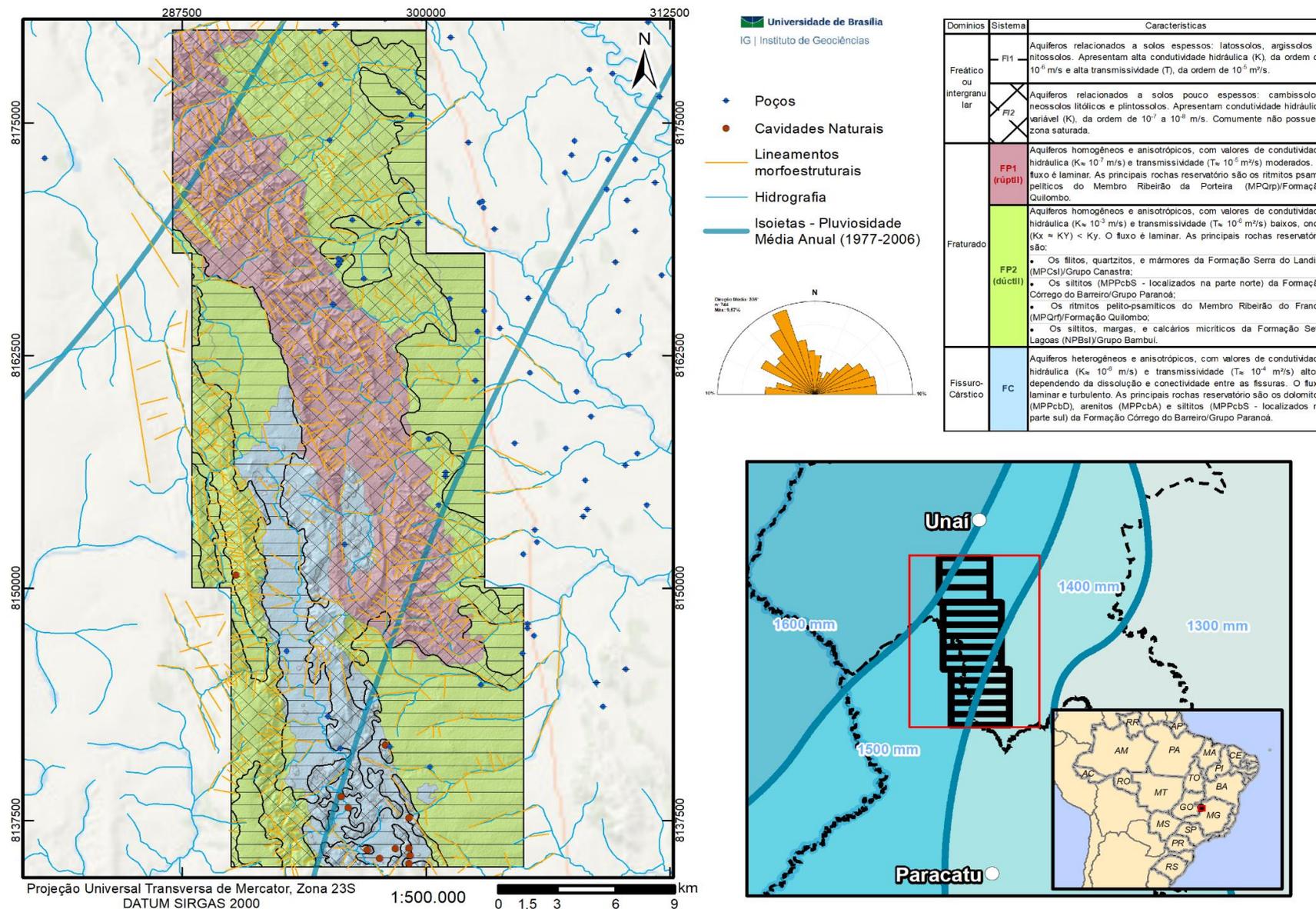


Figura 6.2 - Mapa de zoneamento hidrogeológico da área do Projeto Unai 2020, em que se evidenciam os três domínios de aquíferos e seus respectivos sistemas, assim como a precipitação média anual da região e o diagrama de rosetas dos lineamentos morfoestruturais.

Com base nessas características o domínio freático ou intergranular foi dividido nos sistemas F1 e F2, o domínio fraturado profundo foi dividido nos sistemas FP1 (que inclui rochas com comportamento rúptil quando submetidas a tensão compressiva) e FP2 (de caráter dúctil), e o fissuro-cárstico em FC.

6.3 Classificação e Caracterização dos Aquíferos

6.3.1 Aquíferos do Domínio Freático ou Intergranulares

O domínio de aquíferos freáticos é caracterizado pela sua porosidade primária, textura, estrutura, espessura, granulometria, condutividade hidráulica da cobertura pedológica, transmissividade e coeficiente de armazenamento. Este domínio de águas subterrâneas rasas foi dividido nos dois sistemas a seguir descritos.

Sistema Freático 1 (FI-1): são observados em área com padrão de relevo suave a suave-ondulado, onde predominam solos espessos, incluindo latossolos, argissolos e nitossolos. Apresentam elevada condutividade hidráulica, da ordem de 10^{-6} m/s e alta transmissividade, da ordem de 10^{-5} m²/s. Mostram grande importância hidrogeológica local, pois apresentam grande distribuição lateral, além de importante função reservatório, recarga, filtro e reguladora.

Sistema Freático 2 (FI-2): aquíferos associados a solos rasos, com exposições de afloramentos rasos, relevo montanhoso dissecado, com solos das classes dos cambissolos, neossolos litólicos e plintossolos. Apresenta condutividade hidráulica variável na ordem de 10^{-7} a 10^{-8} m/s; baixa transmissividade e comumente não apresentam zona de saturação. Portanto, estes aquíferos rasos apresentam limitação de suas funções filtro e reguladora.

6.3.2 Domínio Aquífero Fraturado

A ocorrência de água neste domínio está condicionada pela porosidade secundária, representada por fraturas, fendas e fissuras, resultantes de processos tectônicos, o que torna os reservatórios desse domínio aleatórios e descontínuos. Com base nas medições dos lineamentos morfoestruturais foi possível gerar um diagrama de rosetas que evidenciou a direção preferencial N25°W e outras na direção E50-60W como mostrado no diagrama de roseta dos principais lineamentos morfoestruturais (Figura 6.3). Esse domínio foi dividido em dois sistemas, como descrito a seguir.

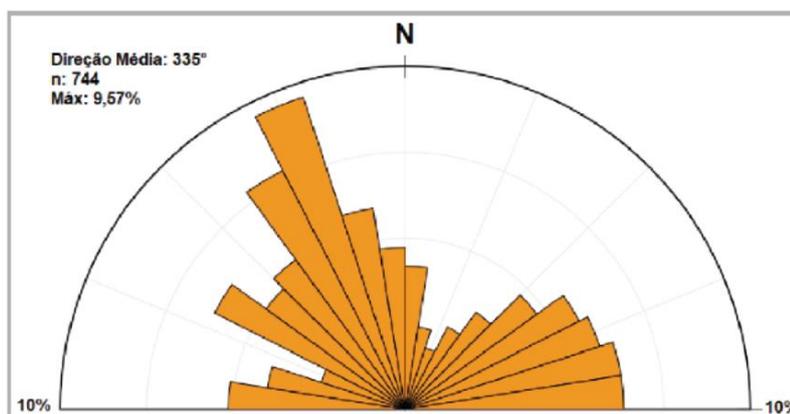


Figura 6.3 - Diagrama de roseta de fraturas do Projeto Unaí 2020. Nota-se direção preferencial N25°W e outras na direção E-W.

Sistema Fraturado Profundo 1 - (FP-1): representado por aquíferos homogêneos e anisotrópicos, com valores de condutividade hidráulica e transmissividade moderados. O fluxo nas fraturas é do tipo laminar, mas localmente em fraturas com maior abertura pode ser turbulento. As principais rochas reservatório são os ritmitos psamo-pelíticos do Membro Ribeirão da Porteira/Formação Quilombo.

Sistema Fraturado Profundo 2 - (FP-2): associado a aquíferos homogêneos e anisotrópicos, com valores de condutividade hidráulica (K) e transmissividade (T) variáveis, onde $(K_x \approx K_y) < K_y$. O fluxo é laminar. As principais rochas reservatório são:

- filitos, quartzitos, e mármores da Formação Serra do Landim/Grupo Canastra;
- siltitos (localizados na parte norte) da Formação Córrego do Barreiro/Grupo Paranoá;
- ritmitos pelito-psamíticos do Membro Ribeirão do Franco/Formação Quilombo; e
- siltitos, margas, e calcários micríticos da Formação Sete Lagoas/Grupo Bambuí.

6.3.3 Domínio Aquífero Fissuro-Cárstico

O domínio hidrogeológico fissuro-cárstico apresenta concentração de fluxo de água em fraturas e fissuras, decorrente de tectonismo, além de condutos de dissolução em rochas carbonáticas (calcários e dolomitos).

Sistema Fissuro-Cárstico (FC): corresponde a aquíferos heterogêneos e anisotrópicos, com valores de condutividade hidráulica e transmissividade variáveis em função do grau de dissolução e conectividade entre as fissuras. O fluxo é simultaneamente do tipo laminar e turbulento. As principais rochas reservatório são os dolomitos, arenitos e siltitos (localizados na porção sul da área do Projeto Unaí) vinculados à Formação Córrego do Barreiro/Grupo Paranoá.

6.4 Poços e Parâmetros

A Tabela 6.1 apresenta as informações disponíveis dos poços cadastrados no site do SIAGAS, que estão localizados na área do Projeto Unaí ou em suas adjacências.

Poços	Natureza	Uso da Água	Nd (m)	Ne (m)	Vazão Após Estabilização (m ³ /h)	Condutividade Elétrica	Temperatura
3100001156	Poço escavado (cisterna)			11,6			
3100001253	Poço tubular			5,6		140	
3100001261	Poço escavado (cisterna)			19,8			
3100015249	Poço tubular	Abastecimento doméstico/animal				138,2	26,4
3100015256	Poço tubular	Abastecimento doméstico/animal	64	11	20	222	25,6
3100015257	Poço tubular	Abastecimento doméstico/animal	48	15	15	121,4	
3100015258	Poço tubular	Abastecimento doméstico/animal	72	21	10,28	540	26,5
3100015259	Poço tubular	Abastecimento doméstico/animal	48	14	24	157,4	26,1
3100015260	Poço tubular	Abastecimento doméstico/animal				279	25,7
3100015265	Poço tubular	Abastecimento doméstico/animal				280	22,5
3100015266	Poço tubular	Abastecimento doméstico/animal					
3100015269	Poço tubular	Abastecimento doméstico/animal				198,9	25,8
3100015279	Poço tubular	Abastecimento doméstico					
3100015328	Poço tubular						
3100015329	Poço tubular	Abastecimento doméstico				103,4	25,9
3100015410	Poço tubular	Abastecimento doméstico/animal				192,8	29,5
3100015411	Poço tubular	Pecuária				145,1	26,1
3100015412	Poço tubular	Abastecimento doméstico/animal				212	26,7
3100015413	Poço tubular	Irrigação				215	25,9
3100015414	Poço tubular	Abastecimento doméstico/animal				133,3	27
3100015415	Poço tubular	Abastecimento múltiplo					
3100015416	Poço tubular	Abastecimento múltiplo				145,5	27,1
3100015417	Poço tubular	Abastecimento doméstico		27	6,8		
3100015418	Poço tubular						
3100015419	Poço tubular	Abastecimento doméstico/animal				168,2	27,7
3100015420	Poço tubular						
3100015421	Poço tubular	Abastecimento doméstico/animal					
3100015422	Poço tubular			32	13		
3100015423	Poço tubular	Pecuária				449	25,5
3100015424	Poço tubular	Abastecimento doméstico					
3100015425	Poço tubular	Abastecimento doméstico				386	29
3100015426	Poço tubular	Abastecimento				429	30,8

		doméstico					
3100015427	Poço tubular	Pecuária					
3100015434	Poço tubular	Abastecimento doméstico				170,8	25,1
3100015437	Poço tubular	Abastecimento doméstico/animal	50	27	5	130,5	23,9
3100015438	Poço tubular	Abastecimento doméstico	57	13	2,1		
3100019439	Poço tubular		28,14	11,54	17,14	250	
3100019440	Poço tubular		24,95	12,1	21,82	120	

Tabela 6.1 - Tabela com os dados retirados dos SIAGAS (2021) na área do Projeto Unai 2020.

6.5 Considerações Finais

Os aquíferos têm grande importância no abastecimento de águas na região principalmente para as propriedades rurais. Além disso, podem ser um fator estratégico em tempos de mudanças climáticas, pois podem fornecer água em tempos de seca prolongada. Um fator atrelado a essas mudanças climáticas, que causa déficit hídrico, é a redução da precipitação que ocasiona a diminuição da recarga nos aquíferos. O conhecimento sobre os parâmetros dos sistemas aquíferos, as condições climáticas e aspectos socioeconômicos da população possibilita o gerenciamento mais adequado dos usos dos recursos subterrâneos.

A partir da morfogênese (porosidade), geologia (litologias e estruturas) e fatores fisiográficos (clima e geomorfologia), também foi possível a caracterização do potencial hidrogeológico da região.

Com base nas características da morfogênese dos sistemas, os meios intergranulares possuem uma grande importância, pois o sistema FI1 tem papel importante na recarga dos aquíferos fraturados subjacentes, devido a sua porosidade, e condutividade / transmissividade, desempenhando a função filtro, além do armazenamento de águas. A utilização de recursos hídricos subterrâneos em latossolos por meio de poços escavados seria de muito interesse para a captação de água para manutenção de pequenas plantações e propriedades rurais comuns (Campos *et al.*, 2006).

Os dados qualitativos aqui mostrados representam um suporte para uma avaliação da situação dos recursos hídricos na região. Dentro desse limite, para um zoneamento para fins de planejamento se faz necessário construção de poços de observação, para um melhor aproveitamento racional da água subterrânea e caracterização real da oferta de água atual dos diferentes aquíferos. Analisando os dados da Tabela 6.1, é possível verificar que dos 38 poços cadastrados no SIAGAS, somente 12 apresentam valores sobre a vazão, sendo que 4 apresentam valores menores ou iguais a 7 m³/h, um apresenta vazão de 7-10 m³/h, e 7 com valores superiores 10 m³/h. Esses dados de vazões demonstram que a produtividade é média, sendo necessários mais dados para melhor caracterização.

Adotar parâmetros de monitoramento (tanto quantitativo, quanto qualitativo), políticas

públicas de uso da água e construção de poços seguindo as normas técnicas, pode mitigar problemas como sobreexploração e contaminação dos aquíferos.

A construção dos poços deve ser feita segundo todas as normas estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. Poços instalados na região, de forma incorreta, como mostrado na Figura 6.4, são vetores para infiltração de contaminantes, pois não apresentam perímetro de proteção sanitária. Assim, para remediar possíveis contaminações e maiores problemas ambientais, se faz necessária adequação destes poços segundo as normas técnicas.



Figura 6.4 - Instalação de poços fora na normativa da ABNT. A: Possível cisterna sem a isolamento e vedação sanitária adequada. B: Poço tabular sem a proteção sanitária adequada.

Para diminuir os impactos do crescimento populacional na região e compactação dos solos por meio da pecuária, recomenda-se o uso de sistemas de recarga artificial para contribuir com o aumento da disponibilidade de água no aquífero. O sistema de caixa de recarga (Figura 6.5) é um método eficaz para o processo de recarga artificial dos aquíferos. Este sistema é construído a partir da instalação de caixas com padrão cilíndrico (com 1 metro de diâmetro e 2,5 metros de profundidade), que recebem águas das chuvas captadas das coberturas das residências, através de tubos de PVC direcionadas para as caixas de recarga.



Figura 6.5 - Ilustração do sistema de caixa de recarga com a calha de captação de água da chuva e a caixa de infiltração de recarga artificial (Cadamuro, 2010).

Por fim, sendo por muitas vezes considerado o último instrumento de gestão dos recursos hídricos, a cobrança pelo uso da água por meio da instalação de hidrômetros. Esse método é bastante eficiente resultando em consumo mais eficiente com controle sobre as vazões demandadas, principalmente da água usada na agropecuária, com minimização de desperdícios, em função da valoração do recurso hídrico, que passa a ser considerado como um insumo da produção.

CAPÍTULO 7

7. EVOLUÇÃO GEOLÓGICA

7.1 Introdução

Este capítulo será dividido em duas seções, uma baseada na interpretação da linha sísmica Cristalina-Unaí (Figura 7.1) e outra baseada no mapeamento da área do Projeto Unaí e no contexto geológico regional. Estes tópicos serão denominados, respectivamente, Contexto Geológico Não Aflorante e Contexto Geológico Aflorante.

Na interpretação da linha sísmica Cristalina-Unaí foi possível identificar o embasamento cristalino, grupos Araí e Traíras que não afloram na área do projeto, sendo individualizada também a Formação Quilombo, e os grupos Paranoá, Canastra e Bambuí que foram mapeados pelas subáreas do Projeto Unaí.

É válido ressaltar que, como os grupos Canastra, Paranoá e Vazante apresentam idades e tipos de rochas semelhantes, diferenciar essas unidades na sísmica de reflexão é uma tarefa complexa. Seguindo esse raciocínio, os grupos Canastra e Paranoá só foram diferenciados na interpretação da linha sísmica Cristalina-Unaí devido aos dados de mapeamento obtidos no Projeto Unaí e nos mapas geológicos regionais.

A Formação Quilombo foi anteriormente tratada como unidade do Grupo Vazante, baseado na continuidade do mapa e interpretada como parte da margem passiva neoproterozoica. Porém, com o detalhamento das sucessões turbidíticas e a descoberta das rochas vulcânicas de idade 1.394 Ma foi possível desvincular essa sequência de rochas do Grupo Vazante (Campos *et al.*, 2021). Desse modo, as definições das litologias observadas no Projeto Unaí se deram pelas semelhanças nas descrições petrográficas de Moura (2018) e Campos *et al.* (2021).

O contexto tectônico do Projeto Unaí está inserido em uma região que foi submetida a rifteamento durante o Estateriano, o qual foi interrompido e permitiu a sedimentação em dois contextos distintos (Allen & Allen, 2005): i) bacia do tipo rift, que consiste na fase inicial de desenvolvimento da bacia e progride a partir de processos de subsidência termal e/ou mecânica controlada por falhas, onde a sedimentação predominante é de um ambiente não-marinho; ii) bacia do tipo SAG, que é formada a partir de subsidência prolongada e favorecida pela falta de tectonismo durante a sedimentação.

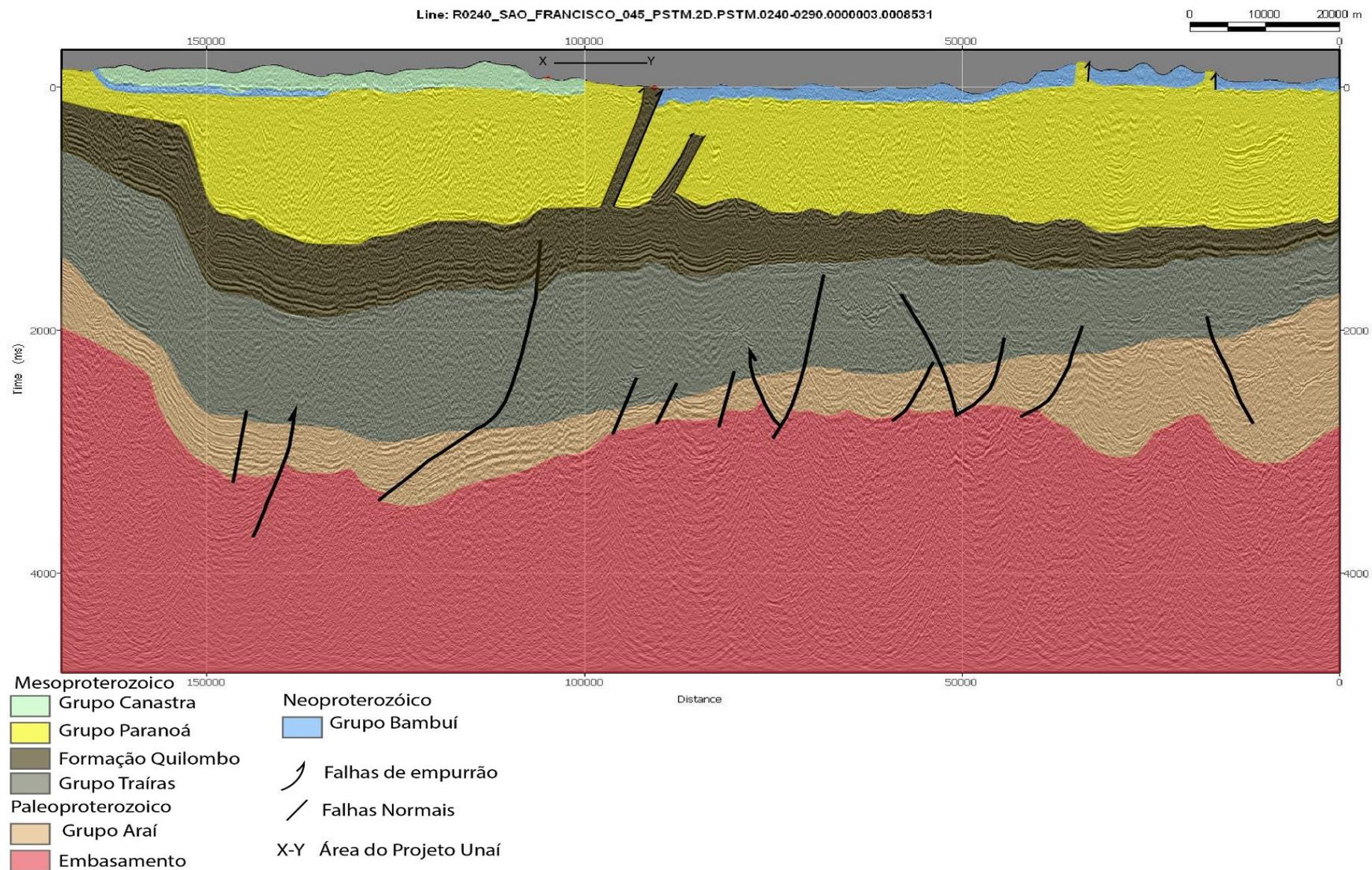


Figura 7.1 - Interpretação da linha sísmica Cristalina Unai. Os pontos X-Y indicados na imagem mostra que a linha passa pela área do projeto Unai, nas áreas V e VI.

7.2 Contexto Geológico Não Aflorante

Com base na interpretação da linha sísmica Cristalina-Unai, é possível discriminar as unidades geológicas não aflorantes na área estudada, que são o (I) embasamento, (II) Grupo Araí e (III) Grupo Traíras.

I: O embasamento cristalino foi descrito por Moura (2018), que encontrou ocorrências dessas rochas através de janelas estruturais ao norte da área estudada pelo Projeto Unai, entretanto a seção sísmica não corta a área de exposição destas rochas (Figura 7.2). São descritos tonalitos e granodioritos de idade Riaciana (2.14 Ga), que apresentam assinatura geoquímica de granitos tipo S, provenientes de ambiente de arco magmático. Essas rochas podem ser correlacionadas com rochas da Suíte Aurumina de 2.17 Ga (Botelho *et al.*, 2006) uma vez que apresentam idades semelhantes, além de assinatura geoquímica e petrográfica similares.

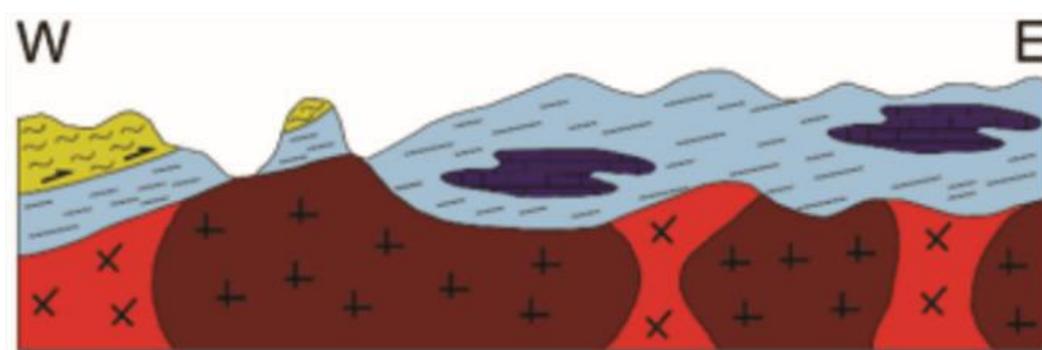


Figura 7.2 - Figura esquemática mostrando a forma de ocorrência do embasamento cristalino na região do município de Unai-MG. As rochas do embasamento estão expostas devido a erosão que evidenciou pequenas janelas estruturais. Fonte: Moura (2018).

II: O Grupo Araí está sobreposto ao embasamento (Figura 7.3) e é constituído de rochas metassedimentares e metavulcânicas, que originalmente foram subdivididas nas formações Arraias e Traíras (Barbosa *et al.*, 1969). Esta unidade foi posteriormente dividida em quatro formações: Água Morna, Arraias, Caldas e Traíras (Tanizaki *et al.*, 2015), baseado em características litológicas, deposicionais e tipos de subsidência associada.

A atual subdivisão foi proposta por Martins-Ferreira *et al.* (2017) e consiste nas Formações Água Morna e Arraias caracterizando os estágios pré-rift e rift respectivamente. A Formação Água Morna é composta por rochas sedimentares de ambientes fluviais, mais especificamente ambientes de rios entrelaçados que foram sujeitos à uma subsidência termoflexural. Por outro lado, a Formação Arraias é constituída por sedimentos eólicos, lacustres e fluviais e tem um vulcanismo bimodal característico de uma bacia do tipo rift (Martins-Ferreira *et al.*, 2017).

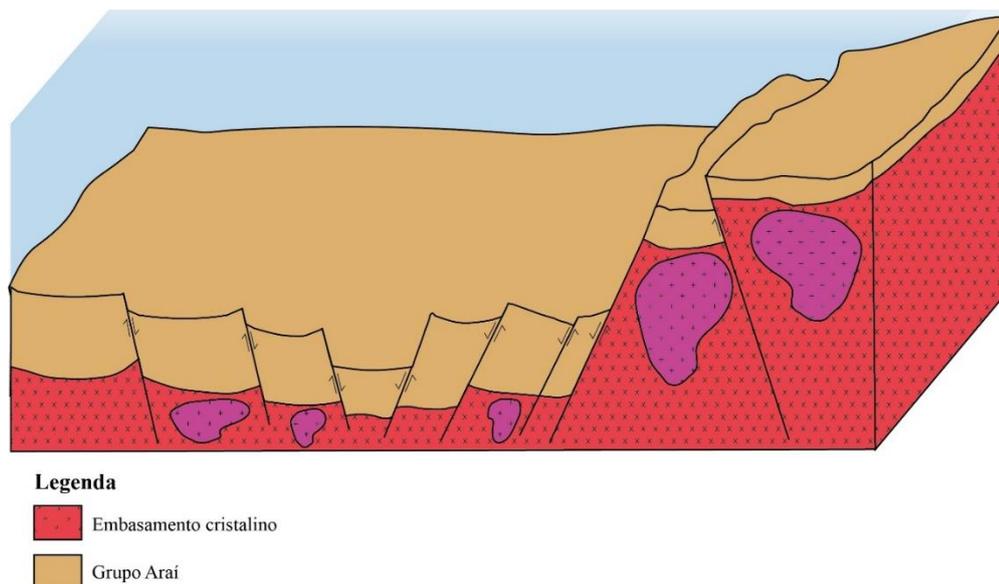


Figura 7.3 - Bloco diagrama representando as etapas iniciais do estágio rift e deposição das rochas do Grupo Araí.

III: Como citado anteriormente, a Formação Traíras deixou de ser parte integrante do Grupo Araí e Martins-Ferreira *et al.*, (2017) propõem essa separação a partir da determinação de um lapso temporal na deposição dessas unidades de aproximadamente 228 Ma. Dessa forma, foi proposto que a formação seja elevada ao *status* de Grupo Traíras. Essas rochas estão relacionadas com a bacia do tipo SAG, de deposição Calimiana (Figura 7.4).

Os sedimentos são depositados no espaço gerado pela subsidência termal da fase final do rifteamento abortado, esses sedimentos têm composição siliciclástica de plataforma mista e compõe as rochas do Grupo Traíras.

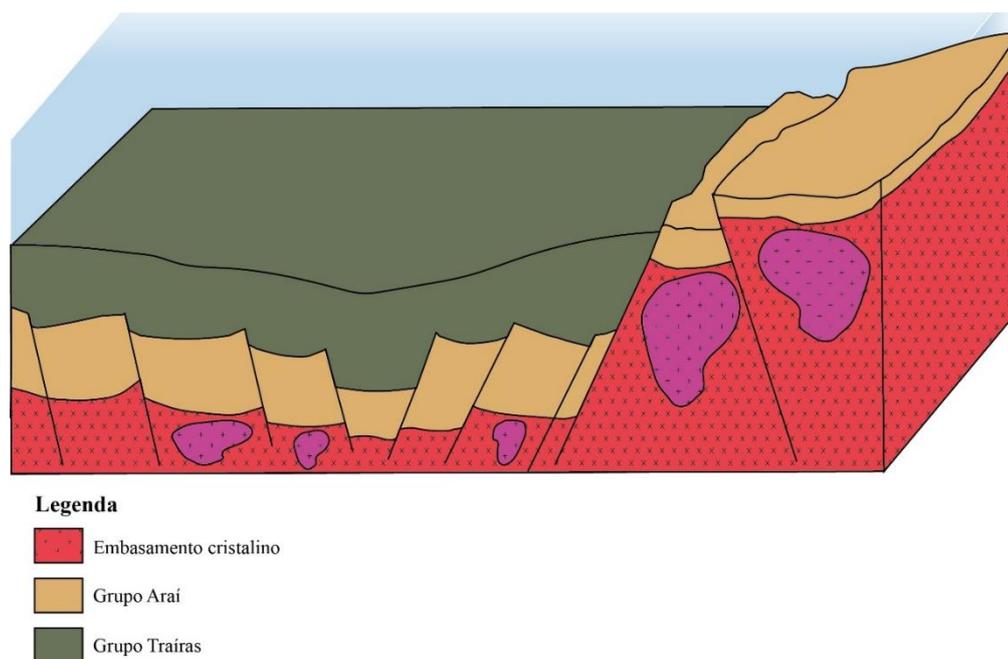


Figura 7.4 - Bloco diagrama destacando a deposição do Grupo Traíras em um contexto de bacia do tipo SAG.

7.3 Contexto Geológico Aflorante

7.3.1 Sistema Turbidítico - Formação Quilombo

A Formação Quilombo está inserida no Contexto Geológico Aflorante, ocorre sobreposta ao Grupo Traíras segundo a interpretação da linha sísmica. Essa formação é composta por uma sequência de turbiditos, intercalados com rochas vulcânicas. Antes da execução do Projeto Unaí, sabia-se da ocorrência dessas rochas vulcânicas apenas no Membro Ribeirão do Franco que foi descrito por Moura (2018) e Campos *et al.*, (2021), entretanto durante o mapeamento geológico realizado pelo projeto observou-se a existência dessas rochas também associadas ao Membro Ribeirão da Porteira.

Estas ocorrências apesar de restritas não deixam dúvidas de se tratar de rochas supracrustais associadas a derrames e eventos piroclásticos subaquosos, por estarem intercalados aos sedimentos. Como são concordantes com o acamamento, são dobradas em conjunto com os sedimentos e, portanto, não podem ser interpretadas como diques ou outra forma de ocorrência.

As datações realizadas por Rodrigues (2008) em grãos de zircão detrítico dos turbiditos que afloram ao longo da BR-251 mostram pico de idade em 2.080 Ma. Essa idade pode ser relacionada com a fonte local do embasamento cristalino que ocorre na região, que segundo Moura (2018) resultou em idades U-Pb de 2.14 Ga.

Estes sistemas clásticos marinhos profundos têm sua gênese relacionada à processos geotectônicos que acontecem num contexto de bacia do tipo SAG, na qual a subsidência flexural que está associada à evolução do rifte pode gerar um ambiente com zona mais profunda, proporcionando a formação de ambiente com ampla lâmina d'água que permita a deposição de turbiditos (Figura 7.5).

Uma evidência que fortalece a hipótese de uma sedimentação turbidítica é o vulcanismo de caráter subaquoso associado à essas rochas. Os eventos extrusivos podem ocasionar sismos que impulsionam a movimentação de sedimentos, gerando correntes de turbidez (Alves, 1999a e 1999b). É possível observar de forma consistente essa característica episódica do vulcanismo na Subárea II, as rochas vulcânicas sempre se mostravam concordantes ao acamamento sedimentar e sempre estavam sotopostas por uma espessa camada de siltitos.

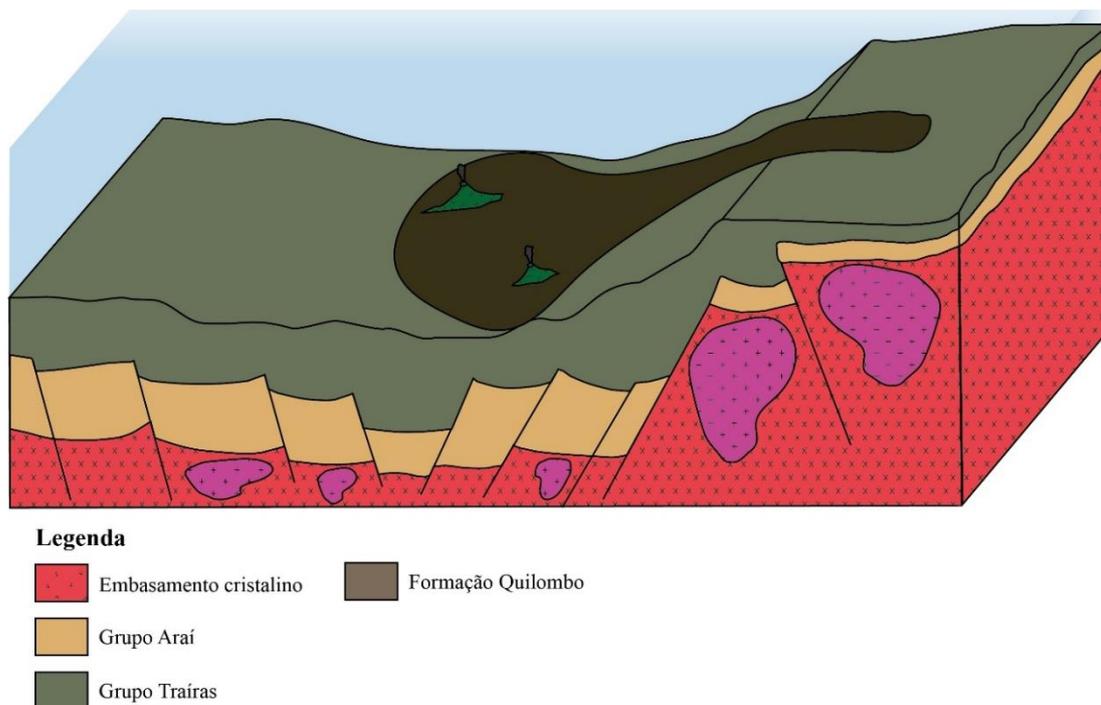


Figura 7.5 - Bloco diagrama representando a deposição das rochas turbidíticas da Formação Quilombo, com o vulcanismo associado.

7.3.2 Bacias Mesoproterozoicas

Sobreposto à Formação Quilombo ocorre o Grupo Paranoá (Figura 7.6), que foi interpretado previamente em um contexto de margem passiva com sedimentos provenientes do Cráton São Francisco (Dardenne 1981, Faria 1995, Guimarães 1997, Freitas-Silva & Campos 1998). O estudo realizado por Bradley (2008) em diversas bacias sedimentares de margem passiva do mundo indicou restrita ocorrência dessas bacias relacionadas a margem passiva durante o mesoproterozoico. Outro indício de que não seria de margem passiva é o fato de não ocorrer evidências de assoalho oceânico e ofiolitos, sendo que o rifte de fato evoluiu para uma margem passiva (Bradley, 2008).

Campos *et al.*, (2013) descrevem em seu estudo uma série de características do Grupo Paranoá, bem como, estruturas sedimentares, litotipos, variações e interdigitações, continuidade lateral das litofácies. Esses aspectos permitem posicionar a sedimentação em ambientes marinhos relativamente rasos, com lâmina d'água variável, que caracteriza ciclos transgressivos/regressivos, em que é possível observar a ausência das fácies marinhas de ambiente profundo. Os dados levantados pelo Projeto Unaí mostram que a Formação Córrego do Barreiro apresenta rochas que foram depositadas em circunstâncias similares as descritas anteriormente. É possível classificar o Grupo Paranoá como uma bacia intracratônica, que pode ter se conectado ou evoluído para uma bacia de margem passiva posteriormente (Martins-Ferreira, 2017).

O Grupo Canastra foi depositado durante o mesoproterozoico e é, pelo menos em parte,

cronocorrelato ao Grupo Paranoá, com idade de máxima de deposição de 1,04 Ga (Esteniano) com pronunciada proveniência Riacciana (Pimentel *et al.*, 2011). Mesmo que a deposição do Grupo canastra tenha sido síncrona ao Grupo Paranoá, a bacia Canastra deveria se localizar em porção mais interior da Faixa Brasília, uma vez que exibe maior grau metamórfico em comparação às demais unidades presentes na região estudada.

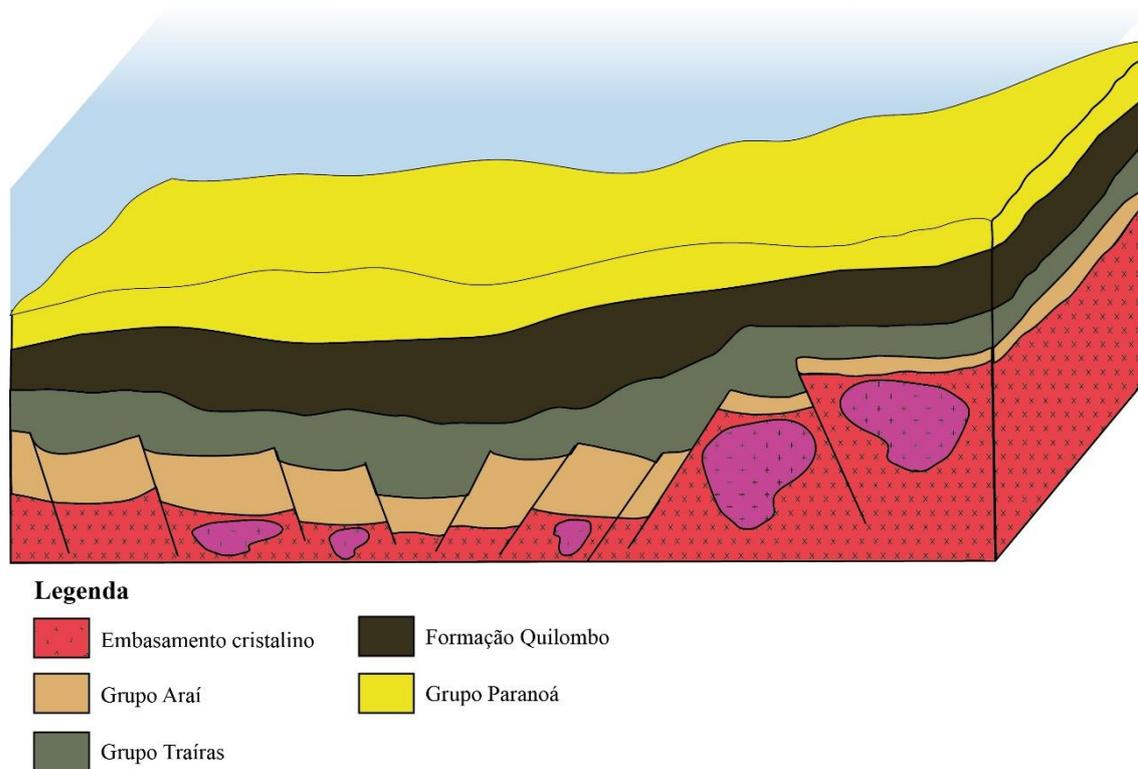


Figura 7.6 - Bloco diagrama que ilustra a deposição da bacia Paranoá, indicando como ocorreu a deposição do Grupo Paranoá.

7.3.4 Bacias do tipo Foreland e Orogênese Brasileira

A deposição do Grupo Bambuí está relacionada a um ambiente de plataforma marinha mista, no qual a sedimentação foi controlada pelas variações do nível do mar, durante a orogênese brasileira. Neste momento da história geológica a sedimentação foi associada à instalação de uma bacia do tipo *foreland* (Chang *et al.*, 1988; Castro 1997; Martins-Neto *et al.*, 1997; Martins-Neto & Alkmim 2001; Baptista 2004).

O mapeamento e as interpretações das associações litológicas do Grupo Bambuí mostram que o grupo foi depositado em três megaciclos que se iniciaram com uma transgressão marinha regional associada a subsidência da bacia que possibilitou a deposição de sequências marinhas rasas, que mudam gradualmente para fácies de maré e supamaré (Dardenne, 1981; Dardenne, 2000). A idade do Grupo Bambuí é motivo de divergência entre diferentes autores, pois alguns afirmam que em decorrência de fósseis de *Cloudina* só seria possível o enquadramento no

ediacarano (Warren *et al.*, 2014), todavia o mais aceito é a idade de deposição máxima de 600 Ma a partir de zircões detríticos (Pimentel *et al.*, 2011).

Com base nas interpretações acerca da seção sísmica é possível inferir que houve um deslocamento na base da Formação Quilombo sobre o Grupo Traíras, bem como o seu cavalgamento sobre o Grupo Bambuí. O contraste entre os coeficientes de atrito das litologias na base da Formação Quilombo contribuiu para o movimento sobre o Grupo Traíras. Em resposta a esse deslocamento horizontal, a tectônica evoluiu para uma deformação classificada como do tipo pelicular ou *thin-skinned*, sem o envolvimento do embasamento. Com o movimento da Formação Quilombo, o topo do Grupo Paranoá também foi transportado, sendo colocado sobre o Grupo Quilombo por meio de uma falha reversa de baixo ângulo.

O Grupo Canastra também é transportado no mesmo contexto, isto é, a partir de uma diferença entre os coeficientes de atrito da base e do seu topo. Este arranjo possibilitou a movimentação do conjunto por grandes áreas por um contexto de *nappes*, sendo posicionado sobre o Grupo Paranoá por meio de falha reversa de baixo ângulo.

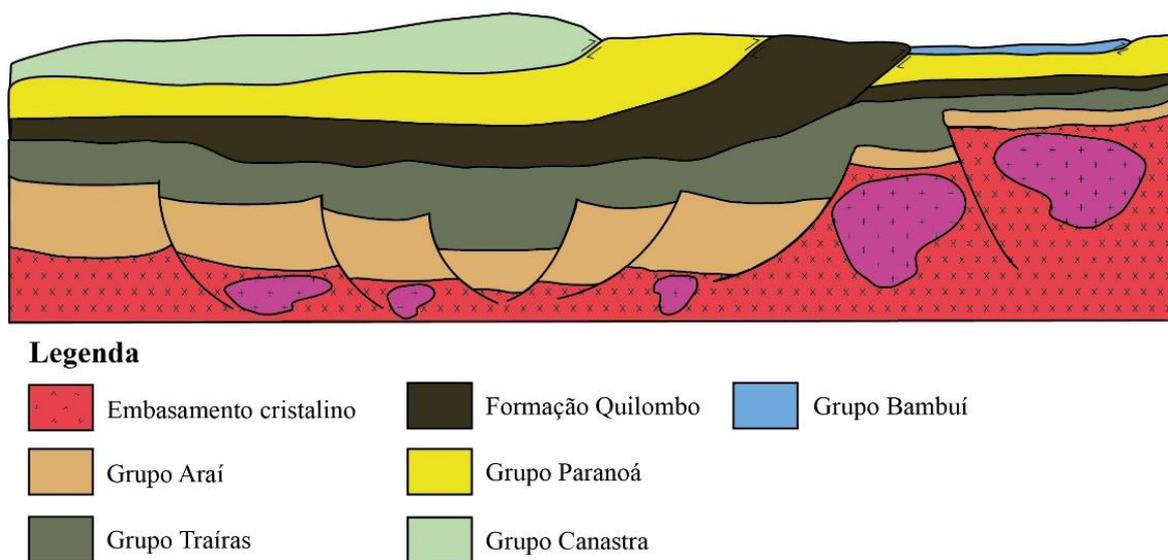


Figura 7.7 - Bloco diagrama mostrando o contexto tectônico deixado pela orogênese brasileira.

7.4 Correlações Regionais

O Supergrupo Veadeiros é dividido nas tectonosequências inferior, médio e superior, respectivamente representadas pelas fases extensionais atribuídas ao Grupo Araí (bacia do tipo rifte Estateriana), ao Grupo Traíras (bacia do tipo SAG Calimiana) e à fase que gerou a sequência Paranoá (Esteniana) é diretamente correlacionáveis com as fases inferior, média e superior do Supergrupo Espinhaço (Martins-Ferreira *et al.*, 2017). Com base nisso foi possível correlacionar a Formação Quilombo ao contexto evolutivo do Supergrupo Veadeiros.

De acordo com a cartografia regional, outra correlação possível é vinculada ao topo do

Grupo Paranoá (Formação Córrego do Barreiro) com as unidades carbonáticas do Grupo Vazante. Esta interpretação é corroborada em função das seguintes informações: i) presença abundante de estromatólitos nos dolomitos das duas sucessões; ii) presença de fácies psamíticas grossas a muito grossas, contendo feldspato, com coloração cinza escuro em ambas as unidades, iii) faciologia similar em que os dois conjuntos apresentam predomínio de pelitos, além de carbonatos psamíticos e iv) presença de grãos de zircões detríticos com idade de 1.1 Ga.

Ainda no contexto das correlações regionais, o nível arcoseano estudado em detalhe por Seraine (2018) pode ser correlacionado aos arenitos grossos mapeados na área do Projeto Unai no âmbito da Formação Córrego do Barreiro. Estas rochas apresentam ampla similaridade petrográfica, com fácies de arenitos grossos até conglomeráticos e presença de grãos de feldspato, com predominância de feldspato potássico sobre o plagioclásio nos dois conjuntos.

CAPÍTULO 8

8. POTENCIAL ECONÔMICO

8.1 Introdução

A área do projeto não apresenta magmatismo expressivo, falhas profundas ou rochas submetidas a elevado grau metamórfico, o que minimiza o potencial de desenvolvimento de jazidas minerais na região. A ausência de circulação de fluidos é o principal fator limitante para a formação de jazidas minerais.

Todavia, a área representa a porção norte da chamada Faixa Vazante que hospeda um distrito mineiro, com depósitos de Zn, Pb e Cu, fosfato, dolomito agrícola, ouro, e com menor frequência, diamantes.

As ocorrências minerais ao sul refletem nas áreas requeridas para pesquisa ou requerimento mineral, cujas poligonais são fornecidas pela ANM (2021) (Figura 8.1).

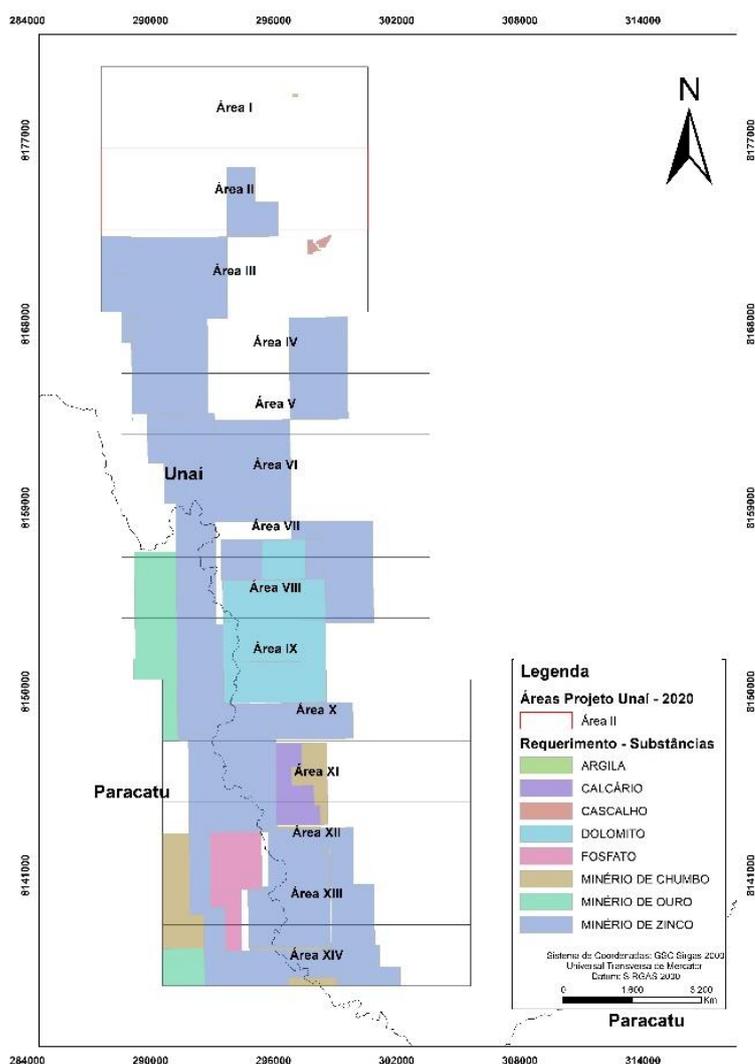


Figura 8.1 - Mapa de áreas requeridas categorizadas por substância mineral na área do Projeto Unai, segundo o ANM (2021).

8.2 Potencialidades Geoeconômicas Minerais

8.2.1 Potencial para Pb e Zn ± Cu

Na abrangência da área do Projeto Unaí, na Faixa Vazante, as ocorrências de Pb e Zn ± Cu estão associadas a dolomitos em depósitos do tipo Mississippi Valley ou SEDEX. Existem registros de atividades de exploração desses elementos desde 1954, sendo os principais depósitos do tipo Morro Agudo e Ambrósia, com mineralizações de zinco e chumbo, e também na Formação Serra do Landim, com ocorrência de cobre. Os principais minerais minérios são esfalerita (Zn), galena (Pb) e a calcopirita (Cu) (CPRM, 2018).

8.2.2 Potencial para Argila

Os solos hidromórficos resultantes da pedogênese de pelitos da Formação Sete Lagoas (Figura 8.2) e da Formação Córrego do Barreiro constituem um possível recurso econômico. As argilas desses ambientes têm utilidade na construção civil, na fabricação de telhas, tijolos, cerâmicas vermelhas, entre outros.

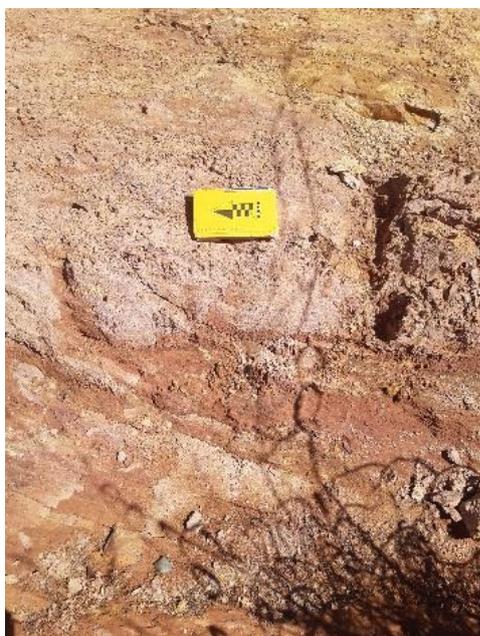


Figura 8.2 - Pelitos da Formação Sete Lagoas apresentando elevado grau de alteração.

8.2.3 Potencial para Dolomito Agrícola e Agregados

As lentes de mármore da Formação Serra do Landim (Grupo Canastra) ocorrem nas áreas ao sul no projeto. O carbonato de cálcio e magnésio extraídos de mármore apresentam diversas

utilidades, como na produção de pó para aplicação na agricultura (calagem do solo), rochagem (quando contiverem outros minerais de interesse), ou para produção de agregados para uso na agricultura.

Especificamente para os objetivos aqui descritos, os dolomitos da Formação Córrego do Barreiro não apresentam ampla aplicação, pois são intensamente silicificados (o que causa consumo exagerado de martelos de moinhos) e comumente apresentam estromatólitos (o que dificulta o licenciamento ambiental da lavra).

8.2.4 Potencial para Mineralização de Fosfato

O potencial da mineralização de fosfato pode ser vinculado ao depósito do tipo Campos Belos/ Arraias, situados estratigraficamente na base da Formação Sete Lagoas. Com os dados obtidos pelo projeto não é possível confirmar o potencial para exploração desse tipo de mineralização, necessitando da coleta de mais dados para melhor avaliação.

8.2.5 Potencial para Mineralização de Ouro

A possível ocorrência de ouro na região está ligada a depósitos do tipo Morro do Ouro, hospedados nos filitos carbonosos pertencentes a Formação Paracatu do Grupo Canastra. Apesar de aflorar filitos carbonosos do Grupo Canastra, não foram encontradas evidências de que as rochas mapeadas na região fazem parte do Membro Morro do Ouro. Contudo, as rochas relacionadas a zonas mineralizadas e não mineralizadas são visualmente semelhantes, assim são necessários mais estudos para melhor avaliação do seu potencial econômico.

8.3 Potencialidades Geoeconômicas Não Mineraias

A atividade turística ligada a ambientes naturais é importante por funcionar como agente impulsionador da economia de uma região, gerando empregos e renda para trabalhadores locais. Na região já existem poucas posadas e propriedades organizadas com o intuito de receber visitantes para aproveitar tais características da região, incluindo quedas d'água, grutas e relevos montanhosos (Figuras 8.3).

A Gruta Sapezal fica a 25 km do centro da cidade de Unaí. Esta cavidade natural apresenta feições espeleológicas como estalagmites e estalactites, além de espelho d'água de 200 metros de diâmetro (Figuras 8.3c e 8.3d). A região também é muito propícia para diversas práticas esportivas ao ar livre, devido ao seu relevo montanhoso, incluindo: *motocross*, *off-road*, rapel, *mountain-bike* e *trekking* (Figuras 8.3a e 8.3b).

Apesar de possuir atrativos naturais, as atividades turísticas ainda são incipientes. Para ampliar a exploração dessas atividades econômicas é necessário estruturar os receptivos, facilitar

o acesso aos pontos turísticos (com o melhoramento da infraestrutura), possibilitar oficialmente a visita de grutas com guias treinados, criar um centro para atendimento aos turistas, e a disseminar informações sobre o potencial turístico para atrair visitantes.

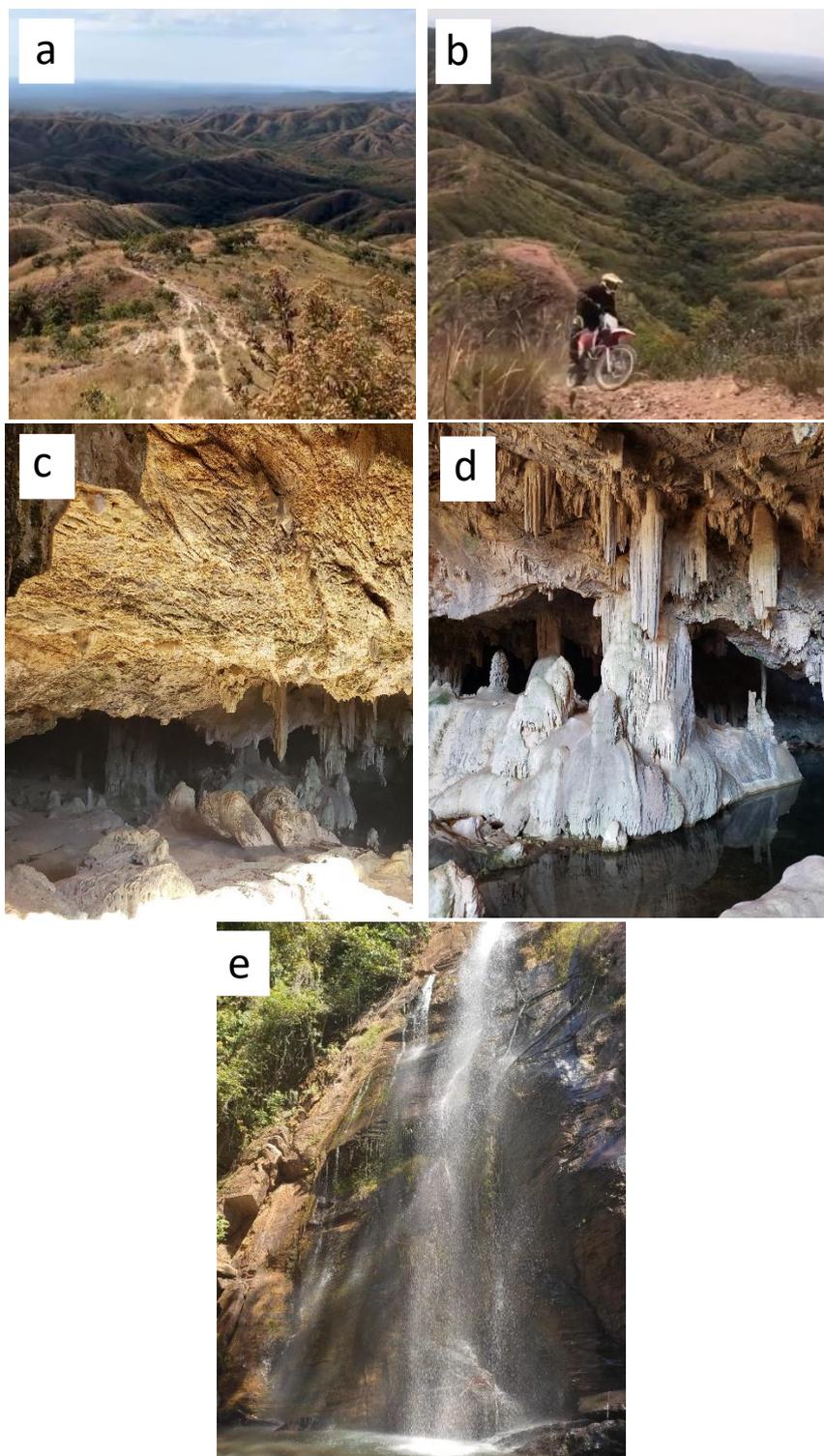


Figura 8.3 - *a.b.* Relevo montanhoso característico do Membro Ribeirão da Porteira, com trilhas para motocross e trekking. *c.d.* Gruta Sapezal com formações rochosas de estalagmites e estalactites e um espelho d'água de 200 metros de diâmetros encontrado na Subárea XII. *e.* Queda d'água localizada na Subárea XIV.

CAPÍTULO 9

9. DISCUSSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente capítulo versa um resumo dos resultados levantados em campo e sua correlação com os trabalhos prévios realizados na região, ressaltando as diferenças e evolução do conhecimento geológico após a conclusão do Projeto Unai.

O objetivo do Projeto Unai foi contribuir com o detalhamento dos limites geológicos na região do município de Unai na escala 1:50.000 e a caracterização das sequências turbidíticas da unidade geológica recém definida como Formação Quilombo. A comparação com o mapeamento anterior da CPRM (2018) na escala 1:100.000 (Figura 9.1), mostra evolução significativa do conhecimento desta área, representada por novas unidades e relações de contato no mapa geológico.

A região mapeada pelo Projeto Unai está contida nas folhas geológica Serra da Aldeia SD.22-V-A-VI e Unai SD 23-V-A-III, que foram cartografadas no ano de 2018 em escala 1:100.000 pelo Serviço Geológico do Brasil - CPRM. As subáreas do Projeto Unai individualizaram as seguintes unidades: I - Formação Sete Lagoas, pertencente ao Grupo Bambuí; II - Formação Córrego do Barreiro, que está inserida no topo do Grupo Paranoá; III - Formação Serra do Landim, contida no Grupo Canastra; IV - Formação Quilombo, composta pelos membros Ribeirão da Porteira, e Ribeirão do Franco. Por outro lado, o Serviço Geológico do Brasil descreveu as seguintes unidades para a mesma região; I - Formação Serra de Santa Helena (Grupo Bambuí); II - Formações Serra da Lapa, Serra do Poço Verde, Serra do Garrote (Grupo Vazante), além de uma unidade indefinida, interpretada como também pertencente ao Grupo Vazante.

O presente projeto a partir do mapeamento, análise petrográfica, aliada a análise faciológica, definiu como Formação Quilombo as unidades anteriormente interpretadas como Formação Serra do Garrote e unidades com posicionamento indefinido. De fato, as descrições da Formação Quilombo não permitem uma correlação direta com as rochas do Grupo vazante, e a correlação anteriormente considerada, não era embasada em análise faciológica.

Os registros da existência de uma sequência turbidítica de águas profundas com ocorrências de derrames vulcânicos ácidos a intermediários (datadas como Ectasiano) permitiram a retirada destas rochas do contexto Grupo Vazante. As rochas vulcânicas da Formação Quilombo ainda carecem de estudos mais detalhados, a fim de compreender melhor o processo de gênese deste magmatismo, contudo os dados até então disponíveis já são suficientes para alcançar as conclusões e embasar as discussões realizadas pela equipe do Projeto Unai.

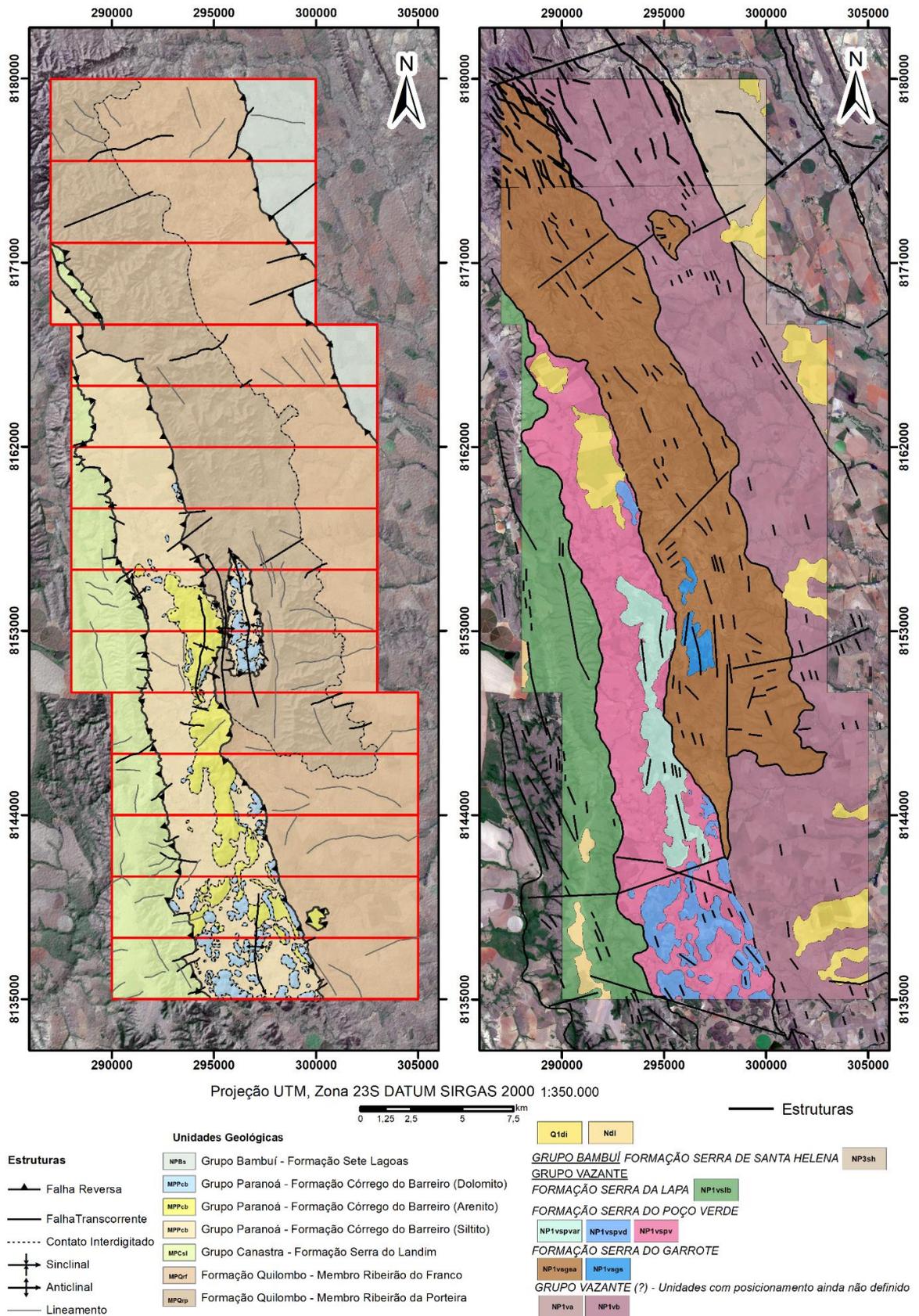


Figura 9.1 - Comparação entre o mapa gerado pelo Projeto Unai-MG (esquerda) com o mapa confeccionado pela CPRM (2015) (direita).

Para se ampliar o conhecimento sobre a Formação Quilombo sugere-se mapeamento de maior detalhe das suas unidades, buscando novas ocorrências de rochas principalmente no Membro Ribeirão da Porteira (Figura 9.2). Sugere-se ainda que sejam realizadas análises químicas de elementos maiores, traços e terras raras, nas rochas vulcânicas e nos sedimentos adjacentes buscando informações para auxiliar na melhor compreensão da relação entre elas e no ambiente geotectônico do magmatismo.

A Formação Serra da Lapa do Grupo Vazante caracterizada por ardósias carbonatadas com lentes de dolomito (Madalosso & Vale, 1978; Madalosso, 1980) foi definida nesse projeto como Formação Serra do Landim, do Grupo Canastra, uma vez que o mapeamento evidenciou a presença de filitos, calcifilitos, filitos carbonosos e mármores metamorfizados em fácies xisto verde baixo, na zona da clorita, que melhor se enquadra na descrição desta unidade.

A Formação Serra do Poço Verde do Grupo Vazante, incluída no mapa do Serviço Geológico, no Projeto Unai foi denominada como Formação Córrego do Barreiro. Essa mudança se deu pelo mapeamento de espessos pacotes de siltito, margas, dolomitos e uma quantidade expressiva de pacotes de arenito médios a grossos até conglomeráticos, que correlacionam com à Formação Córrego do Barreiro, descrita por Campos *et al.* (2013).

A unidade anteriormente mapeada como Formação Santa Helena pelo Serviço Geológico foi interpretada e denominada de Formação Sete Lagoas, que é compatível com os pacotes de folhelhos, siltitos argilosos, margas e delgadas camadas de calcários micríticas encontrados durante o mapeamento.

As relações de contatos e estruturas estão cartografadas com maior detalhe no Projeto Unai. As estruturas e contatos mais importantes incluem: i) o empurrão da Formação Quilombo sobre a Formação Sete Lagoas; ii) as falhas reversas que colocam a Formação Serra do Landim sobre a Formação Córrego do Barreiro e este sobre a Formação Quilombo; iii) a dobra de propagação de falha regional, que colocou a Formação Córrego do Barreiro sobre a Formação Quilombo, entre as subáreas VII e IX; e iv) a estrutura tipo *klippe* que coloca a Formação Serra do Landim sobre a Formação Quilombo, na Subárea III.

Com base na análise dos dados obtidos com o mapeamento de semidetalhe foi possível definir apenas um evento deformacional, com as direções de tensões compressivas na mesma orientação preferencial, no qual a deformação ocorre em nível crustal raso, estilo pelicular, inserida na zona externa da Faixa Brasília.

As imagens Sentinel - 2 e ALOs foram muito importantes no processo de fotointerpretação, e partindo das informações extraídas dessas imagens foi possível definir o contato entre os membros Ribeirão da Porteira e Ribeirão do Franco, sendo este contato marcado pelo forte contraste do relevo.

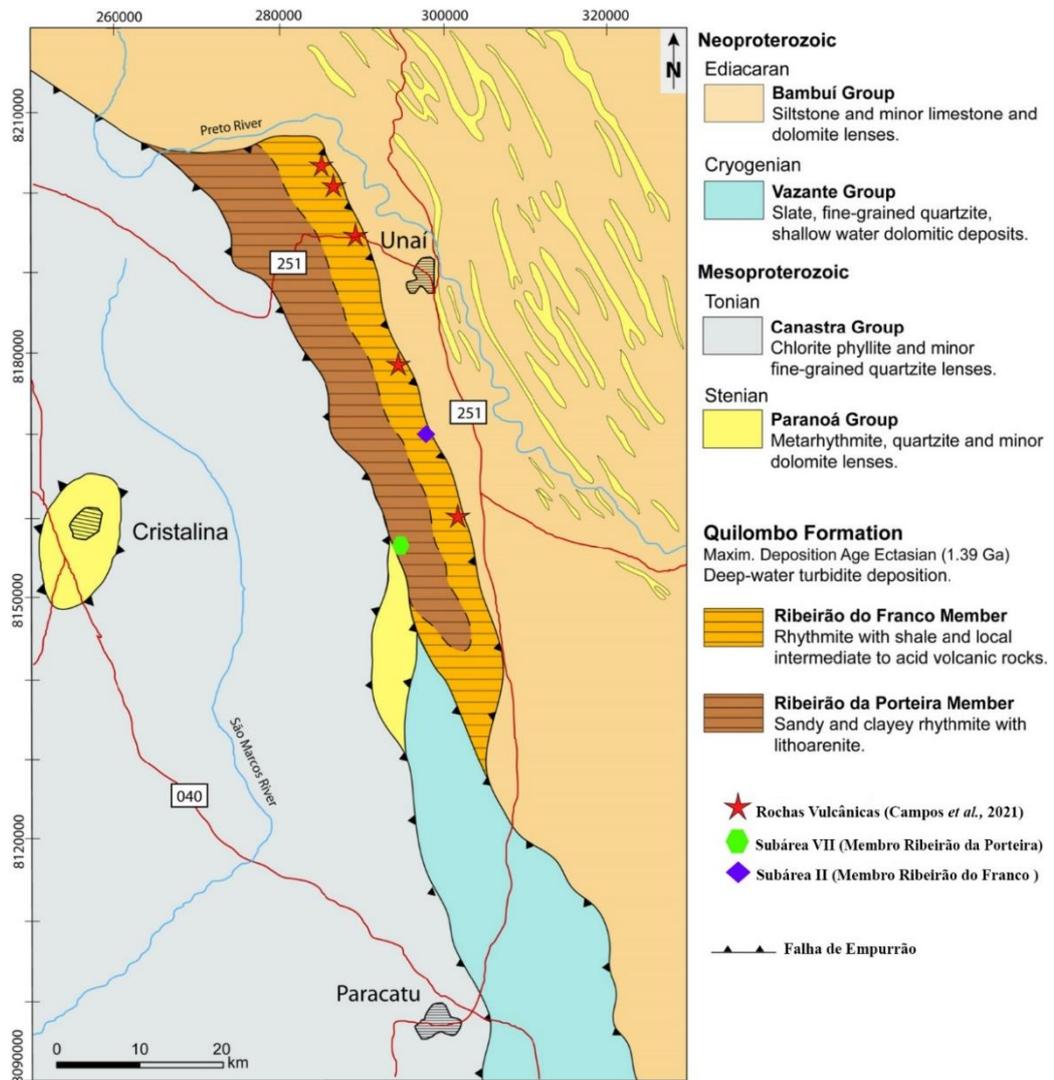


Figura 9.2 - Mapa mostrando as ocorrências de rochas vulcânicas no Membro Ribeirão da Porteira e Membro Ribeirão do Franco (modificado Campos *et al.*, 2021).

Os mapas de gamaespectrometria e magnetometria gerados através do tratamento de dados realizado no Projeto de Levantamento Aerogeofísico de Minas Gerais - Área 01 - Unai-Paracatu-Vazante-Coromandel, não foram muito importantes na definição dos contatos na área mapeada. Este comportamento se deve à grande similaridade composicional das rochas da região, sendo todas ricas em potássio, por serem ricas em argilominerais e filossilicatos potássicos. Dessa forma, a aerogeofísica marcou muito bem a pedogênese a qual as rochas foram submetidas. Regiões com solos rasos (cambissolos e neossolos litólicos) apresentam anomalias positivas de potássio e negativas de contagem magnética. Por outro lado, regiões como solos espessos apresentam anomalias positivas em tório e positivas em contagem magnética.

Este resultado se deve ao fato do tório ser relativamente mais imóvel no ambiente pedogenético que o K e o U, de forma que se acumula em solos espessos. Os solos mais espessos também acumulam minerais magnéticos no processo de laterização, resultando em anomalias positivas.

As únicas exceções relativas às respostas geofísicas são os carbonatos e os arenitos abundantes na porção sul da área do projeto, que apresentam ausência dos três radioisótopos e um padrão escuro na composição RGB.

O zoneamento hidrogeológico na área apresenta caráter qualitativo devido a quantidade de dados disponíveis. Para melhor condição de exploração da água subterrânea, os trabalhos de detalhamento do zoneamento hidrogeológico devem ser continuados, principalmente no adensamento de dados da verdadeira oferta atual água.

Dessa forma, recomendam-se estudos para caracterização das unidades hidroestratigráficas, com testes, tanto na zona não saturada, com ensaios de infiltração *in situ*, quanto na zona saturada, com instalação de poços para monitoramento quantitativo e qualitativo. Esses experimentos resultam na estimativa das propriedades hidráulicas dos sistemas de aquífero, tais como a transmissividade, condutividade hidráulica e coeficiente de armazenamento. À medida que o detalhamento hidrogeológico da região avance o zoneamento será uma ferramenta importante para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos na região.

A análise sobre a potencialidade mineral na região do Projeto Unai não foi conclusiva, sendo necessários estudos de maior detalhe para atestar o potencial econômico mineral na região. A potencialidade não mineral é um recurso de fácil acesso e que traz grandes benefícios socioeconômicos para a região. Para o melhor aproveitamento, é imprescindível investimentos na infraestrutura para alavancar os serviços e atividades potenciais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alkmim, F.F., Martins-Neto, M.A., 2012. Proterozoic first-order sedimentary sequences of the São Francisco craton, eastern Brazil. *Mar. Petrol. Geol.* 33, 127–139.
- Almeida, F. F. M.; Brito Neves, B. B. & Fuck, R.A. 1977. Províncias Estruturais Brasileiras. In: VIII Simpósio de Geologia do Nordeste, Campina Grande. Anais... p. 363-391.
- Alvarenga, C.J.S. ; Oliveira, G.D. ; Vieira, L.C. ; Santos, R. V. ; Baptista, M.C. ; Dantas, E.L. Carbonate chemostratigraphy of the Vazante Group, Brazil: a probable Tonian age. *PRECAMBRIAN RESEARCH* , v. 331, p. 105378, 2019.
- Alvarenga, C.J.S., Vieira, L.C., Martinho, C.T., Santos, R.V. 2011. Stratigraphy of the western edge of the São Francisco Basin. In: *Boletim de Geociências da Petrobras*. v. 20, n. 1/2, p. 145-164. Rio de Janeiro, Brasil.
- Alves, D.B. 1999a. A Sedimentação Vulcanoclástica Associada aos Depósitos Turbidíticos do campo de Carapeba, Bacia de Campos. Rio de Janeiro: PETROBRAS. CENPES. Relatório Interno da Petrobrás.
- Alves, D.B. 1999b. A influência das Atividades Vulcânicas Explosivas na Sedimentação Turbidítica: Discussão Geral. Rio de Janeiro: Petrobras. CENPES. Relatório Interno da Petrobrás.
- Araújo-Filho, J.O. 2000. The Pireneus 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. *Rev. Bras. Geocienc.* 30:144-148.
- Arcanjo, J. B. A. (2011). Fotogeologia: Conceitos, métodos e aplicações.
- Barbosa, O. 1955. Guia das Excursões do IX Congresso Brasileiro de Geologia, *Notic. Soc. Bras. Geol.*, São Paulo (3):3-5.
- Barbosa, O., Braun, O.P.G., Dyer, R.C., Cunha, C.A.B.R. 1970. Geologia da Região do Triângulo Mineiro. Rio de Janeiro. DNPM/DFPM. 140p (Bol. 136).
- Blakely, R. J. 1996. *Potential theory in Gravity & Magnetic Applications*. Cambridge University Press, Cambridge, 441pp.
- Blum, MLB. 1999. Processamento e interpretação de dados de geofísica aérea no Brasil central e sua aplicação à geologia regional e à prospecção mineral. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 229 pp.
- Botelho, N.F.; Fuck, R.A.; Dantas, E.L.; Laux, J.H.; Junges, S.L. (2006). The Paleoproterozoic peraluminous Aurumina granite suite, Goiás and Tocantins, Brazil: geological, whole rock geochemistry and U-Pb and Sm-Nd isotopic constraints. In: Alkmim, F.F. & Noce, C.M. The Paleoproterozoic record of the São Francisco Craton, Ouro Preto, Brasil, Field Guide and Abstracts, pp. 92.
- Bradley, D. C. (2008). Passive margins through earth history. *Earth-Science Reviews*, 91(1-4):1-26.
- cadamuro, A.L. & Campos, J.E.G. (2005). Recarga artificial de aquíferos fraturados no distrito federal: uma ferramenta para a gestão dos recursos hídricos. *Revista Brasileira de Geociências*. 35. 89-98. 10.25249/0375-7536.20053518998.
- Campos, J. E. G. et al. Discovery of Precambrian deep-water turbidites and submarine volcanism in the Brasília Belt, Central Brazil: The Quilombo Formation. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 108, n. 103226, 2021.

- Campos, J.E.G., et al. 2013. Geologia do Grupo Paranoá na porção externa da Faixa Brasília. *Brazilian Journal of Geology*, v. 43, n. 3, p. 461-476.
- Campos, José & Monteiro, Cimara. (2006). Geologia e zoneamento hidrogeológico da bacia do Rio Preto, DF/GO/MG. Embrapa Cerrados. Documentos, 172. 54 p.
- Chiavegatto, J.R.S. 1992. Análise estratigráfica das sequências tempestíticas da Formação Três Marias (Proterozóico Superior), na porção meridional da Bacia do São Francisco. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 216 p.
- Clima Tempo, Climatologia e histórico de previsão do tempo em Unaí. Disponível em <www.climatempo.com.br/climatologia/205/unai-mg> Acesso em: 20/10/2021.
- D'Ávila, R.S.F., Arienti, L.M., Aragão, M.A.N.F., Vesely, F.F., Santos, S.F., Voelcker, H.R., Viana, A.R., Howsmann R.O., Moreira, J.L.P, Coura, A.P.P, Paim, P.S.G., Matos, R.S., Machado, L.C.R. 2008. Ambientes marinhos profundos: sistemas turbidíticos. In: Pedreira da Silva, A.J.C.L., Aragão, M.A.N.F., Magalhães A.J.C. Ambientes de sedimentação siliciclástica do Brasil, Editora Beca: 244-303p.
- D'ávila, R. S. F.; Paim, P. S. G. 2003. Mecanismos de transporte e deposição de turbiditos. In: Paim, P.S.G; Faccini, U.F & R.G. Netto. Geometria, arquitetura e heterogeneidades de corpos sedimentares - Estudo de casos. Editora Unisinos. 93-121p.
- Dardenne M.A. (1978). Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 30., 1978. Recife. Anais... Recife, Sociedade Brasileira de Geologia, v. 2, p. 597-610. Dardenne.
- Dardenne M.A. 2000. The Brasília Fold Belt. In: Cordani U.G.; Milani E.J.; Thomaz Filho A.; Campos D.A. (Edit.). Tectonic Evolution of South America. p. 231-263. XXXI International Geological Congress. Rio de Janeiro, Brazil.
- Dardenne, M.A. 1981. Os grupos Paranoá e Bambuí na Faixa dobrada Brasília. In: Simpósio Sobre O Cráton do São Francisco e Suas Faixas Marginais, 1, Anais... Salvador, 1981, p. 140-157.
- Dardenne, M.A., Freitas-Silva, F.H., Souza, J.C.F., Campos, J.E.G., 1998. Evolução tectono-sedimentar do Grupo Vazante no contexto da Faixa de Dobramento Brasília. Anais, Recife, p. 26. SBG, Cong. Bras.Geol., 40.
- Della Fávera, J. C. 2001. Fundamentos de estratigrafia moderna. Editora UERJ (Universidade do Estado do Rio de Janeiro) 264 p. Rio de Janeiro.
- Dias, P. H. A.; SOTERO, M. P. ; Matos, C. A; Marques, E. D.; Marinho, M.S.. Área de Relevante Interesse Mineral - ARIM: Distrito Mineral de Paracatu-Unaí (Zn-Pb- Cu), MG. 1. ed. Belo Horizonte: Diretoria de Relações Institucionais e Desenvolvimento - GERIDE-BH, 2018. v. 1. 160p.
- EMBRAPA. SENTINEL - Missão Sentinel. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-demonitoramento/missoes/sentinel>. Acesso em: 16 set. 2021.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Brasília, 2013. 353p
- Ferreira, F. J., Weihermann, J. D., & Fedalto, G. (2016). Gamaespectrometria Aérea e sua Aplicação na Cartografia Geológica. In R. Nadalin (Ed.), Tópicos Especiais em Cartografia Geológica (2nd ed., pp. 303-334).
- Ferreira, M.V.S.; ROSALES, M.J.T. Processamento e integração de dados magnetométricos terrestres e aéreos: uma correlação com dados de susceptibilidade magnética aplicados ao mapeamento geológico na região de vila nova do sul-rs. In: SOCIETY OF EXPLORATION GEOPHYSICISTS AND BRAZILIAN GEOPHYSICAL SOCIETY. 13th International

- Congress of the Brazilian Geophysical Society & EXPOGEF, Rio de Janeiro, Brazil, 26–29 August 2013. [S.l.], 2013. p. 331–336.
- Fuck, R. A. 1994. A Faixa Brasília e a Compartimentação Tectônica na Província Tocantins. In: Simpósio de Geologia do Centro-Oeste 4, Atas... SBG, pp: 184-187.
- Fuck, R.A. Pimentel, M.M. Soares J.E., Dantas, E. L. 2005. Compartimentação da Faixa Brasília. In: Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, Goiânia. Anais. p.26-27.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Balanço Hídrico Climatológico. Estação de Paranã. Sítio: <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acessado em 5 de setembro de 2021.
- Jaques Al, Wellman P, Whitaker A & Wyborn D. (1997). High-resolution Geophysics in Modern Geological Mapping. AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics, 17(2): 159- 173.
- Kearey, Y P., Brooks M., Hill I. 2009. Geofísica de exploração. Ed. Oficina de textos, 438 pg.
- Laranjeira N.P.F. 1992. Geologia do Grupo Paranoá na região de Unaí: uma plataforma sliociclástica-carbonática no Proterozóico de Minas Gerais. Dissertação de Mestrado, IG/UnB, Brasília, 213p.
- LASA Engenharia e Prospecções S.S., 2001. Relatório Final do Levantamento e processamento dos dados Magnetométricos e Gamaespectométricos de Minas Gerais, Área 1- Unaí, Paracatu, Vazante e Coromandel; Texto técnico; SEME-COMIG.
- Lima S.A.A. 1997. Fácies, ambiente deposicional e aspectos diagenéticos das rochas carbonáticas da Formação Sete Lagoas na região norte de Minas Gerais, Bacia do São Francisco. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 121 p.
- Madalosso, A. 1980. Considerações sobre a paleogeografia do Grupo Bambuí na região de Paracatu, M.G. SBG, Cong. Bras. Geol., 31, Camboriú, Anais, 2:772-785.
- Madalosso, A.; Valle, C.R.O. 1978. Considerações sobre a estratigrafia e sedimentologia do Grupo Bambuí na região de Paracatu-Morro Agudo (MG). SBG, Cong. Bras. Geol., 30, Recife, Anais, 2:622-634.
- Marques G. C. Geologia dos grupos Araí e Serra da Mesa e seu Embasamento no Sul do Tocantins. 2009. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, 116 p.
- Martins-Ferreira, M.A.; Chemale, F.; Dias, A.N.C.; Campos, J.E.G. (2017). Proterozoic intracontinental basin succession in the São Francisco Craton western margin constrained by detrital zircon geochronology. Journal of South American Earth Sciences.
- Martins-Ferreira, M.A.C., Chemale, F., Dias, A.N.C., Campos, J.E.G., 2018a. Proterozoic intracontinental basin succession in the western margin of the São Francisco Craton: constraints from detrital zircon geochronology. J. S. Am. Earth Sci. 81, 165–176.
- Matteini, M., Dantas, E.L., Pimentel, M.M., de Alvarenga, C.J.S., Dardenne, M.A., 2012. U-Pb and Hf isotope study on detrital zircons from the Paranoá Group, Brasília Belt Brazil: constraints on depositional age at Mesoproterozoic–Neoproterozoic transition and tectono-magmatic events in the São Francisco craton. Precambrian Res. 206, 168–181.
- Meneses, P. R.; Almeida, T. (org.) Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. Brasília: CNPq, 2012. 266 p.
- MINAS GERAIS, Secretaria De Estado De Desenvolvimento Econômico. Diagnóstico Do Setor Mineral: Documento-Base Para Formulação do Plano Estadual da Mineração. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2020. Disponível em: http://www.agenciaminas.mg.gov.br/ckeditor_assets/attachments/11205/130fd1adf19cc74be83c7c6c829c53b9.pdf. Acesso em: 24 out. 2021.

- Minty, B. R. S., Luyendyk, A. P. J., & Brodie, R. C., 1997. Calibration and data processing for airborne gamma-ray spectrometry. *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics*, 17(2): 51- 62.
- Monteiro, Cimara & Campos, José. (2010). *CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOOLÓGICA DA BACIA DO RIO PRETO*.
- Moura, F.G. 2018. O Grupo Quilombo e seu embasamento cristalino na porção sul da Faixa Brasília. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília.
- Moura, F.G., Martins-Ferreira M.A.C., Campos, J.E.G. 2016. Petrografia e caracterização geoquímica preliminar de rochas vulcânicas do topo do Grupo Vazante. 48° Congresso Brasileiro de Geologia, Porto Alegre - RS, Brasil, Volume:1.
- Mutti E. 1992. Turbidite sandstones. Milão. Agip/Istituto di Geologia, Università di Parma. 275p.
- Ncmcc W. & Steel R.J. 1984. Alluvial and coastal conglomerates: their significant features and some comments on gravelly mass-flow deposits. In: Koster E. H. & Steel R. J. (eds.) *Sedimentology of gravels and conglomerates*, Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir, 10, p. 1-32.
- Nogueira, G.M.S. 1993. Enquadramento estratigráfico, sedimentologia e evolução geoquímica do depósito fosfático de Lagamar, MG- Formação Vazante- Proterozóico Médio. Dissertação de Mestrado, IG/UnB, Brasília, 134p.
- Pimentel M.M., Giustina M.E.S.D., Rodrigues J.B., Junges S.L. 2012. Idade dos grupos Araxá e Bambuí: implicações para a evolução da Faixa Brasília. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 46, v.CD.
- Pimentel, M.M., Rodrigues, J.B, Della Giustina, M.E.S, Junges, S., Matteini, M.M, Armstrong, R., et al. (2011). The tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil, based on SHRIMP and LA-ICPMS U-Pb sedimentary provenance data: a review. *Journal of South American Earth Sciences* 31, 345–357. Pimentel, M.M., 2016. The tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt, central
- Pinho, J. M. M., Féboli, W. L., Signorelli, N., Tuller, M. P., Brito, D. C., Ribeiro J. H., Baptista, M. C. Silva, R. N. 2017. Nota explicativa. *Geologia e Recursos Minerais das Folhas Cabeceira Grande, Unaí, Ribeirão Arrojado, Serra da Aldeia, Serra da Tiririca, Paracatu, Guarda-Mor, Arrenegado, Coromandel, Lagamar, Monte Carmelo, Patos De Minas. Projeto Vazante - Paracatu*. 356p., 12 Mapas Geológicos escala 1:100.000 (Série Geologia do Brasil - PGB), versão disponível em [www.cprm.gov.br/ GeoSBG](http://www.cprm.gov.br/GeoSBG) e RIGEO. CPRM-BH. Belo Horizonte - MG. Brasil.
- Rimann, E.T. 1917. A kimberlita no Brasil. *Anais da Escola de Minas, Ouro Preto*, 15:27-32.
- Rodrigues, J.B. 2008. Proveniência de sedimentos dos grupos Canastra, Ibiá, Vazante e Bambuí: um estudo de zircões detriticos e idades modelo Sm-Nd. 141 f. Tese (Doutorado em Geologia). Universidade de Brasília, Brasília.
- SABARAENSE, Lília Dias. Proveniência dos grupos Araxá e Ibiá na porção sul da Faixa Brasília. 2017. [101] f., il. Dissertação (Mestrado em Geologia)—Universidade de Brasília, Brasília, 2017.
- Seraine, M., Campos, J.E.G., Martins-Ferreira, M.A.C., Giorgioni, M., Angelo, T.V., 2020. Tectonic significance of abrupt immature sedimentation in a shallow cratonic margin basin: the Arkose Level, Mesoproterozoic Paranoá Group. *J. S. Am. Earth Sci.* 97 p.102397.
- SIAGAS – Sistema de Informações de águas Subterrâneas. Sítio: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>. Acessado em 1 de setembro de 2021.
- Simm, R., Bacon M., 2014. *Seismic Amplitude: An Interpreter's Handbook*. Cambridge University Press – p.38-57.

- Tanizaki, M.L.N.; Campos, J.E.G.; Dardenne, M.A. (2015). Stratigraphy of the Araí Group: record of Paleoproterozoic rifting in Central Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, 45(1), 95-108.
- Uhlein, A. et al. Tectônica da faixa de dobramentos Brasília–setores setentrional e meridional. Geonomos, 2012.
- Uhlein, A., Fonseca, M. A., Seer, H. J., Dardenne, M. A. Tectônica da Faixa de Dobramentos Brasília – Setores Setentrional e Meridional. 2013. *Geonomos*, v. 20(2), p. 1-14.
- Uhlein, A.; Trompette, R.; Alvarenga, C.J.S. 1999. Neoproterozoic glacial and gravitational sedimentation on a continental rifted margin: The Jequitaiá-Macaúbas sequence (Minas Gerais, Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, v.12, n.6, p.435-451.
- United States Geological Survey. Shuttle Radar Topography Mission. Disponível em: <https://www.usgs.gov/>. Acessado em 20 de setembro de 2021.
- USGS. Earth Explore. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 16 set. 2021.
- Vieira, L.C. et al. 2007. A Formação Sete Lagoas em sua área-tipo: fácies, estratigrafia e sistemas deposicionais. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 37, n. 4, p. 168-181.
- Walker RG, James NP 1992. *Facies Models: Response to Sea Level Change*. Canadá: Geological Association. 454pp.