

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
CURSO DE GEOLOGIA**

KIARA CECÍLIA FERNANDES DA SILVA

**SIG INTEGRADO A AEROGEOFÍSICA NO RECONHECIMENTO E DELIMITAÇÃO
DE LIMITES LITOLÓGICOS E ESTRUTURAS - NW DO ESCUDO SUL-RIO-
GRANDENSE, RS.**

Caçapava do Sul

2021

KIARA CECÍLIA FERNANDES DA SILVA

**SIG INTEGRADO A AEROGEOFÍSICA NO RECONHECIMENTO E DELIMITAÇÃO
DE LIMITES LITOLÓGICOS E ESTRUTURAS - NW DO ESCUDO SUL-RIO-
GRANDENSE, RS.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Geologia da
Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Maximilian Fries

**Caçapava do Sul
2021**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

S586s Silva, Kiara Cecília Fernandes da
SIG INTEGRADO A AEROGEOFÍSICA NO RECONHECIMENTO E
DELIMITAÇÃO DE LIMITES LITOLÓGICOS E ESTRUTURAS - NW DO ESCUDO
SUL-RIO-GRANDENSE, RS / Kiara Cecília Fernandes da Silva.
78 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2021.

"Orientação: Maximilian Fries".

1. Magnetometria. 2. Sensoriamento Remoto. 3. Rochas
Básicas Ultrabásicas. I. Título.

KIARA CECÍLIA FERNANDES DA SILVA

**SIG INTEGRADO A AEROGEOFÍSICA NO RECONHECIMENTO E
DELIMITAÇÃO DE LIMITES LITOLÓGICOS E ESTRUTURAS - NW DO
ESCUDO SUL-RIO-GRANDENSE, RS.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Geologia
da Universidade Federal do Pampa,
como requisito parcial para obtenção
do Título de Bacharel em Geologia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 30 de setembro de
2021.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Maximilian Fries
Orientador
(Unipampa)

Prof. Dr. Igor Magalhães Clemente
(Unipampa)

Me. Lenon Melo Ilha
(Unipampa)

Assinado eletronicamente por **MAXIMILIAN FRIES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em



07/10/2021, às 11:12, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **IGOR MAGALHAES CLEMENTE, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 07/10/2021, às 11:27, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **LENON MELO ILHA, Técnico de Laboratório Área**, em 07/10/2021, às 18:35, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0632806** e o código CRC **2B71A546**.

Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul

Dedico este trabalho a minha mãe por todo carinho e respeito a minha decisão. E por ser a mulher mais forte que já conheci, minha heroína!

AGRADECIMENTO

Agradeço a minha mãe pelo incondicional apoio antes e durante toda minha graduação, pelo carinho, e compreensão e por ser meu maior exemplo.

Sou extremamente grata ao Prof. Dr. Maximilian Fries pelo apoio, ajuda, empenho e confiança depositados e pela valiosa orientação e sugestões ao longo da confecção deste trabalho.

A minha família Caçapavana (Mona, Gi, Gabi, Marins, Jean, Dimitre, Paulo, Lucas, Will e Rael), que me aturaram, estiveram comigo e mesmo a distância ou mesmo trilhando outros caminhos, ainda estão presentes de coração e foram cruciais em me ajudar durante a graduação tanto academicamente como mentalmente.

Uma gratidão especial a minha amiga, companheira, colega de casa Elisa que sempre me estendeu a mão quando precisei durante minha estadia em solo gaúcho e que ajudou com sugestões importantes neste trabalho.

Aos integrantes da banca Igor Magalhães Clemente e Lenon Melo Ilha que aceitaram e disponibilizaram seu tempo e conhecimento para trazer contribuições para melhorar a qualidade desta pesquisa.

“O Cosmos também está dentro de nós,
nós somos feitos de poeira estelar.
Nós somos uma forma do Cosmos
se autoconhecer.”

Carl Sagan

RESUMO

Na região noroeste do Escudo Sul-Rio-Grandense, no Terreno São Gabriel, se encontram rochas peculiares de caráter básico ultrabásico que despertam interesse para investigações, seja pela sua complexa estruturação e disposição, ou pelo seu potencial prospectivo mineral. Dentre essas litologias, destaca-se o denominado Complexo Cambaí, que consiste em uma associação supracrustal polideformada composto por cumalatos komatíticos, basaltos komatíticos, serpentinitos, basaltos e gabros toleíticos. Controvérsias sobre sua formação e articulação entre os pesquisadores, sugerem investigações mais detalhadas a respeito da disposição espacial (geometria) e estrutural destes litotipos. Portanto, objetivando essas averiguações mais concisas, foram interpretados dados de imagens de satélite da missão sentinel - 2, geofísicos magnetometria aerolevados e a aplicação de técnica de realce por meio de mapas sombreados. A metodologia aplicada neste trabalho teve como principais etapas a produção do banco de dados, análise e interpretação, realização de processamento das imagens de satélite e dos dados aerogeofísicos, produção de mapas temáticos que trata da exposição de informação, e a integração através comparação entre das áreas anômalas delimitadas nos mapas geofísicos e as informações de geologia e relação entre os lineamentos traçados e as estruturas da literatura. Assim, obteve-se adição expressiva dos lineamentos da região, correlação com contatos geológicos, proposição e revisão dos limites lito geofísicos. Notou-se que a integração com técnicas de realce das anomalias magnetométricas, submetidas a técnicas de sombreamento, tanto as imagens de satélite quanto as de aero magnetometria com aplicação do exagero vertical denominados fator Z, proporcionaram significantes meios de detecção e delimitação de corpos rochosos e do arcabouço estrutural. Atina-se que dentre o filtro magnetométrico RTP-ISA sombreado, conjuntamente as imagens sentinel – 2 com resolução de 20 m sombreadas, são apropriados para delimitação e traçado de estruturas qualitativamente, e que o filtro RTP-GHT juntamente ao MDE se mostraram mais adequados para a revisão dos limites litológicos. E por fim, que a integração de diferentes conjuntos de dados é uma importante ferramenta para detecção de um *trend* estrutural de uma região se revela um ótimo subsídio a trabalhos futuros e análogos de caráter regional.

Palavras-Chave: Magnetometria, Sensoriamento Remoto, Rochas Básicas Ultrabásicas.

ABSTRACT

In the northwest region of the Sul-Rio-Grandense Shield, in the São Gabriel Terrane, there are peculiar rocks of a basic ultrabasic character that arouse interest for investigations, either because of their complex structure and arrangement or because of their mineral prospective potential. Among these lithologies, the so-called Cambaí Complex stands out, which consists of a polydeformed supracrustal association composed of komatiitic cumulates, komatiitic basalts, serpentinites, basalts, and tholeiitic gabbros. Controversies about its formation and articulation among researchers suggest more detailed investigations regarding the spatial (geometry) and structural disposition of these lithotypes. Therefore, aiming at these more concise investigations, data from satellite images of the Sentinel - 2 mission, airborne magnetometry geophysicists, and the application of the enhancement technique through shaded maps were interpreted. The methodology applied in this work had as main steps the production of the database, analysis, and interpretation, carrying out the processing of satellite images and aerogeophysical data, production of thematic maps dealing with the exposure of information, and integration through comparison between the anomalous areas delimited on geophysical maps and geological information and the relationship between the traced lineaments and structures in the literature. Thus, it was obtained an expressive addition of the region's lineaments, correlation with geological contacts, proposition, and revision of the geophysical litho limits. It was noted that the integration with magnetometric anomaly enhancement techniques, subjected to shading techniques, both satellite and aeromagnetic images with the application of vertical exaggeration called Z factor, provided significant means of detection and delineation of rocky bodies and of the structural framework. It is found that among the shaded RTP-ISA magnetometric filter, together with the sentinel images - 2 with 20 m shaded resolution, are appropriate for qualitatively delineating and tracing structures and that the RTP-GHT filter together with the DEM proved to be more suitable for the review of lithological boundaries. And finally, that the integration of different data sets is an important tool for detecting a structural trend in a region is an excellent subsidy for future and similar works of a regional nature.

Keywords: Magnetometry, Remote Sensing, Basic-ultrabasic rocks.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Acesso a área alvo.....	22
Figura 2 – A) Cinturão Dom Feliciano e o Craton Rio de La Plata. B) Principais unidades geotectônicas do Sul do Brasil e Uruguai Arcabouço petroTECTÔNICO estrutural simplificado da Província Mantiqueira, seus terrenos e zonas de cisalhamento principais.....	23
Figura 3 - Área de estudo no contexto do Escudo Sul-Rio-Grandense.....	24
Figura 4 - Estruturação geral do embasamento Sul-rio-grandense e suas principais anomalias regionais.....	25
Figura 5 - Equivalência de diferentes classificações, ao longo dos anos, para a Bacia do Camaquã.....	28
Figura 6 - Mapa geológico integrado com Modelo Digital de Elevação.....	31
Figura 7 - Espectro eletromagnético com enfoque no visível.....	38
Figura 8 - Fluxo da metodologia realizada no Trabalho de Conclusão de Curso.	42
Figura 9 - Rotina de filtros e processamento de dados de aeromagnetometria.	43
Figura 10 - Principais produtos do Sentinel – 2.....	46
Figura 11 – Mapa com as variações altimétricas (Modelo Digital de Elevação) e estruturas delineadas.....	47
Figura 12 - A) Mapa geológico-estrutural da região de estudo. B) Mapa com ênfase nas litologias básicas ultrabásicas e área alvo delimitada pelo polígono menor.....	48
Figura 13 - Mapa da variação altimétrica (Modelo Digital de Elevação) integrado a drenagens e estruturas da área.....	49
Figura 14 – Mapa da variação altimétrica (Modelo Digital de Elevação) com domínios geomorfológicos da área.....	50
Figura 15 - Mapa da variação altimétrica (Modelo Digital de Elevação) e limites lito estruturais das feições geofisiográficas integrado.....	52
Figura 16 - Mapas sombreados com informações hidro estruturais da área. Em A) modelo sombreado a 180 graus; B) modelo sombreado a 270 graus; C) modelo sombreado a 90 graus e D) modelo sombreado a 360 graus.....	53

Figura 17 - A) Mapa hidro estrutural comparativo de estruturas da literatura e estruturas interpretadas. B) Direções preferenciais das estruturas reconhecidas - diagrama de roseta.....	54
Figura 18 - Mapa das variações magnéticas de Campo Magnético Anômalo Total (Total Magnetic Induced Field –TMI). Linhas pretas delimitam os corpos básicos e ultrabásicos.....	55
Figura 19 - Mapa das variações magnéticas submetidas a Redução Total ao Polo (Total Magnetic Induced Field –TMI). Linhas pretas delimitam os corpos básicos e ultrabásicos.....	56
Figura 20 - Mapa das variação da Amplitude do Sinal Analítico (Total Magnetic Induced Field –TMI). Linhas pretas delimitam os corpos básicos e ultrabásicos.....	57
Figura 21 - Mapa das variações magnéticas submetidas à Primeira Derivada Vertical (Total Magnetic Induced Field –TMI). Linhas pretas delimitam os corpos básicos e ultrabásicos.....	58
Figura 22 - Mapa das variações magnéticas submetidas a Redução Total ao Polo e a Primeira Derivada Vertical (Total Magnetic Induced Field –TMI). Linhas pretas delimitam os corpos básicos e ultrabásicos.....	59
Figura 23 - Mapa das variações magnéticas submetidas a Redução Total ao Polo e Gradiente Horizontal Total (Total Magnetic Induced Field –TMI). Linhas pretas delimitam os corpos básicos e ultrabásicos.....	60
Figura 24 - Mapa das variações magnéticas submetidas a Redução Total ao Polo e Inclinação do Sinal Analítico (Total Magnetic Induced Field –TMI). Linhas pretas delimitam os corpos básicos e ultrabásicos.....	61
Figura 25 - Mapa das variações magnéticas submetidas a Redução Total ao Polo e Inclinação do Sinal Analítico (Total Magnetic Induced Field –TMI) em escala de cinza sombreados. Em A) azimute de visada a 45 graus e B) azimute de visada a 300 graus.....	63
Figura 26 - A) Mapa de estruturas interpretadas vs estruturas da literatura e B) são apresentadas as principais direções detectadas -diagrama de roseta.....	64
Figura 27 - Mapa do arranjo magnético- lito estrutural interpretado.....	65
Figura 28 - Mapa arranjo magnético-hidro-estrutural interpretado.....	66
Figura 29 - Mapa lito-geofísico interpretado a partir das anomalias geofísicas, geofisigrafia e geologia reconhecida para o local.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros da Imagem/sistema e do alvo que influenciam no sinal retorno do radar.....	45
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BC - Bacia Camaquã

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

E - Leste

ESRG - Escudo Sul-Rio-Grandense

Ga – Bilhões de anos

GNSS - Sistemas Globais de Navegação por Satélite

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IM - Índice Máficos

km - Quilômetros

Ma – Milhões de anos

MDE - Modelo Digital de Elevação

N - Norte

NE - Nordeste

NNE - Nor-nordeste

NNW - Nor- noroeste

NW - Noroeste

REM - Radiação Eletromagnética

RS - Rio Grande do Sul

S - Sul

SE - Sudeste

SIG - Sistemas de Informações Geográficas

SIRGAS - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

Sm/ Nd - Samário/Neodímio

SR - Sensoriamento Remoto

SSE - Sul-sudeste

SSW - Sul-sudoeste

SW - Sudoeste

TSG - Terreno São Gabriel

UTM - *Universal Transversa de Mercator*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVOS.....	19
2.1 Geral.....	19
2.2 Específicos.....	19
3 JUSTIFICATIVA.....	20
4 ÁREA DE ESTUDO	22
4.1 Localização	22
4.2 Contexto Geológico.....	23
4.2.1 Bacia do Camaquã	28
4.3 Contexto Local.....	30
4.4 Contexto Geofisiográfico (Clima, Fisiografia e Geomorfologia)	35
5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	36
5.1 Geoprocessamento	36
5.2 Sensoriamento Remoto.....	37
5.3 Aerogeofísica	39
5.3.1 Magnetometria.....	39
5.4 Trabalhos Anteriormente Aplicados	40
6 MATERIAIS E MÉTODOS	42
6.1 Pesquisa bibliográfica.....	43
6.2 Geração e integração de base de dados prévios.....	43
6.3 Análise e interpretação	43
6.4 Mapas geológicos e geofísicos	44
6.5 Interpretação lito-geofísicas	44
7 RESULTADOS.....	45
7.1 Sensoriamento Remoto.....	45
7.1.1 Imagens Sentinel -2.....	46
7.1.2 Relevo	46
7.1.3 Drenagens	49

7.2 Análise Morfoestrutural.....	52
7.3 Aerogeofísica	54
7.3.1 Produtos Magnetométricos	54
8 INTEGRAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS	61
8.1 Direções preferenciais e domínios.....	64
8.2 Mapa interpretativo - litogeofísico	66
9 CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
9.1 Análises e mapas a partir da aplicação do sensoriamento remoto	67
9.2 Análises e mapas a partir da aplicação dos dados aerogeofísicos (magnetometria).....	68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70

1 INTRODUÇÃO

As rochas ígneas de caráter básico e ultrabásico constituem importantes representantes no entendimento da evolução geológica a partir de suas características e constituição geoquímica. Possuem potencial para abrigar minerais de minérios de interesse econômico, se em quantidades consideráveis, seja por processo ígneo ou de enriquecimento posterior; além de que nessas rochas portam informações preciosas a respeito do manto superior e crosta inferior em termos de composição e estrutura (GIRARDI, 1976). Bem como a idade impressa nessas rochas, que por sua vez revelam limites geológicos e quando metamorizadas elas podem revelar ainda, a idade de seu retrabalhamento e o processo ocorrido, quando preservadas e não tendo passado por interferências substanciais do intemperismo em seu conteúdo. No Brasil, esses tipos de corpos básico ultrabásico, frequentemente são encontrados em regiões de escudo, haja vista que são área de exposição de rochas mais antigas, em geral pré-cambrianas, rochas cristalinas aflorantes, complexas estruturalmente que se comportam tectonicamente como uma massa estável segundo Winge *et al.*, (2001).

Uma dessas conhecidas porções é o Escudo Sul-Rio-Grandense (ESRG) localizada na parte sul da Plataforma Sul-Americana e meridionalmente na Província Mantiqueira (ALMEIDA, 1976) tendo como maiores contribuintes para sua geração e deformação de crosta continental os ciclos orogênicos Transamazônico (2,26 – 2,00 Ga) e o Brasileiro (900 – 535 Ma).

Na porção ocidental do ESRG, Terreno São Gabriel tem como principais municípios Caçapava do Sul, Vila do Nova Sul, São Gabriel (N) e Lavras do Sul (S). Nesses limites, foram reconhecidas as litologias como gnaisses diorítico-tonalítico granodioríticos e por metagranitos, de afinidade cálcio-alcálica pertencentes ao Complexo Cambaizinho, nos quais foram estudadas por autores desde meados do século XX (GOÑI, 1962; RIBEIRO & FANTINEL, 1978; REMUS, 1990; HARTMANN & REMUS, 2000). Quanto ao reconhecimento mineralógico e geoquímico, pode-se destacar os estudos de Remus, *et al.*, (1993); Babinski *et al.*, (1996); Leites *et al.*, (1998); Hartmann & Remus, (2000); Hartmann *et al.*, (2007).

Todavia, apesar dos relevantes estudos realizados com ênfase ao reconhecimento petrológico, estrutural e geoquímico, a complexa estruturação e disposição dessas assembleias rochosas na região carecem de investigações mais

detalhadas. Informações e inferências quanto à sua disposição espacial, limites laterais e em profundidade constituem, adicionalmente, importantes elementos no aprimoramento e entendimento quanto a articulação e continuidade desses corpos.

Em consonância com autores consagrados (ILHAS & BULLOCK, 1994; GUNN & DENTITH, 1997; BLUM, 1999; ULBRICH *et al.*, 2009), utilizados como ferramenta auxiliar com as correções necessárias e ajustes para a geologia, os dados obtidos por levantamentos geofísicos, como o gamaespectométrico, quando plotados em mapas diretos mostram a distribuição das litologias além de prováveis contornos das unidades geológicas locais e os elementos estruturais mais importantes (em especial, as falhas), como referência para facilitar as interpretações e para mapas indiretos (derivado de suas operações aritméticas) são uma ajuda na investigação de feições específicas como a profundidade.

O conjunto de técnicas de processamento de imagens em um ambiente SIG experimentou um aprimoramento tecnológico exponencial e significativo nas últimas décadas e proporcionalmente às investigações e pesquisas nessa área também (CLOUTIS, 1996; MILLIGAN e GUNN, 1997; CARRINO *et al.*, 2007; CRÓSTA *et al.*, 2003; LIMA *et al.*, 2014). Estudos realizados nas mais diversas localidades demonstram que técnicas de classificação de dados de sensoriamento remoto, quando aplicadas ao processamento de imagens aerogeofísicas, permitem a extração de informações geológicas, metalogenéticas, estruturais, geomorfológicas, de classificação, mapas de previsibilidade e favorabilidade de alvos independente de quão adversa seja a região (clima, vegetação, pouca exposição rochosa). Além de propiciar resultados satisfatórios e ser um procedimento de baixo custo.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Contribuição no reconhecimento do arcabouço estrutural em uma região de rocha básica ultrabásica a noroeste do Escudo Sul-Rio-Grandense aplicando os métodos indiretos de investigação da aerogeofísica e do sensoriamento remoto.

2.2 Específicos

A partir da metodologia e técnicas propostas foi realizado:

- Detecção e delimitação de limites geológico-geofísicos a partir da integração de dados diretos e indiretos;
- Análise e interpretação das características da região: a topografia e drenagens, elementos importantes para delimitação das estruturas em escala regional;
- Determinação da relação dos limites das litologias e geomorfologia da região a partir das estruturas magnéticas identificadas.

3 JUSTIFICATIVA

Sabendo que corpos básicos ultrabásicos, nem sempre são aflorantes, de fácil acesso, podem ainda ter suas superfícies alteradas e/ou intemperizadas, e, por vezes, apenas a subsuperfície encontra-se preservada, a investigação por métodos indiretos se viabiliza efetiva e com resultados satisfatórios. Um dos métodos indireto potencial capaz de detectar a disposição e geometria através das perturbações geradas no campo terrestre é a magnetometria, por meio dos minerais magnéticos presentes em rochas ultramáficas, especialmente os serpentinitos, cujo possuem significativa porcentagem de minerais magnéticos no arcabouço. Como consequência de sua oxidação advinda da passagem do tempo e o ambiente externo ocorre a formação de magnetita em baixa temperatura de acordo com Telford (1990). Desta forma, gera assinaturas magnéticas representativas para serem captada aplicando aeromagnetometria, por exemplo.

Além disso, a magnetometria constitui uma importante ferramenta na localização, delimitação e análises do arcabouço estrutural de uma região, haja vista o contraste de propriedade física entre a rocha/mineral e encaixantes.

Por outro lado, a magnetometria devido ao fato de ser suscetível a ruídos ambientais e antrópicos pode não corresponder com eficácia para a detecção e delimitação (contorno) dos corpos geológicos alvos. Desta maneira, métodos complementares como o sensoriamento remoto consiste em uma abordagem amplamente empregada desde os anos 90. A integração de informações e aplicação de técnicas em ambiente digital otimizam significativamente estudos e análises acerca da geologia e do arcabouço estrutural de uma localidade

Considerando que o presente estudo aplicou métodos e técnicas que sofreram uma grande evolução na última década, principalmente quanto aos softwares e aos acervos disponíveis de forma gratuita (domínio público) este estudo é justificado. Além disso, informações no âmbito do Sensoriamento Remoto na última década, tiveram um grande avanço tanto nos sensores empregados e na resolução obtida, quanto nos softwares de código aberto de acesso amplo a estudantes e pesquisadores. Constitui, portanto, uma ferramenta fundamental em estudos geológicos. Dentre estes, como exemplo, tem-se a detecção e delimitação de contatos litológicos, estruturas e, inclusive, diferenciação mineralógica associadas ou não a ocorrências e prováveis mineralizações

De acordo com Binotto (2015) os equipamentos atualmente disponibilizados, propiciam uma ótima resolução nos dados coletados e praticidade que permitem uma atuação cirúrgica em investigações diretas. Portanto, considerando-se as premissas anteriores, a proposta deste estudo justifica-se como importante contribuição no entendimento dessas litologias oferecendo subsídios a estudos futuros e análogos.

4 ÁREA DE ESTUDO

4.1 Localização

A área de estudo, pertence à metade sul do Rio Grande do Sul e está localizada nas proximidades da cidade de Vila Nova do Sul-RS (Figura 1). Pode ser acessada partindo da capital do estado, Porto Alegre, seguindo pela BR-290 sentido São Gabriel, por cerca de 280 km. A área possui aproximadamente 1500 km² de extensão (Figura 1) e os vértices do polígono limitado possuem as seguintes coordenadas de latitude/longitude geográficas:

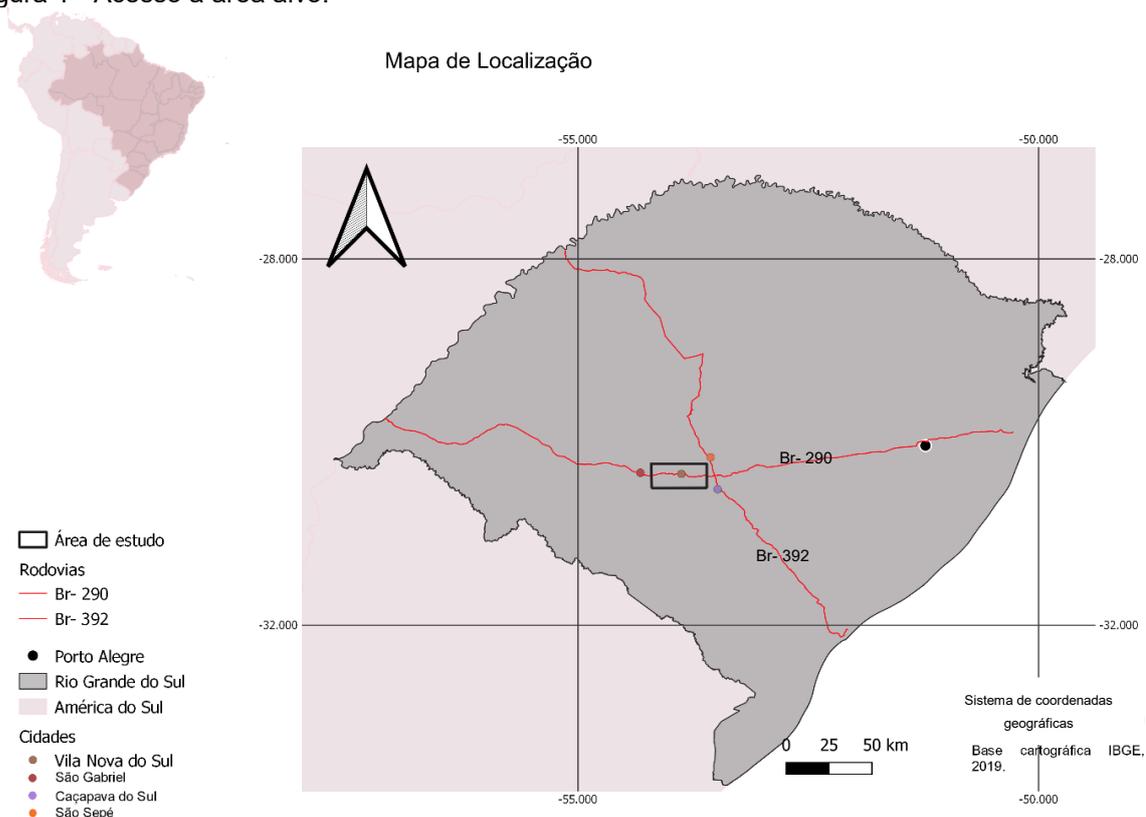
1 -54.36 ; -30.15

2 -53.36 ; -30.30

3 -53.12 ; -30.30

4 -54.12 ; -30.15

Figura 1 - Acesso a área alvo.

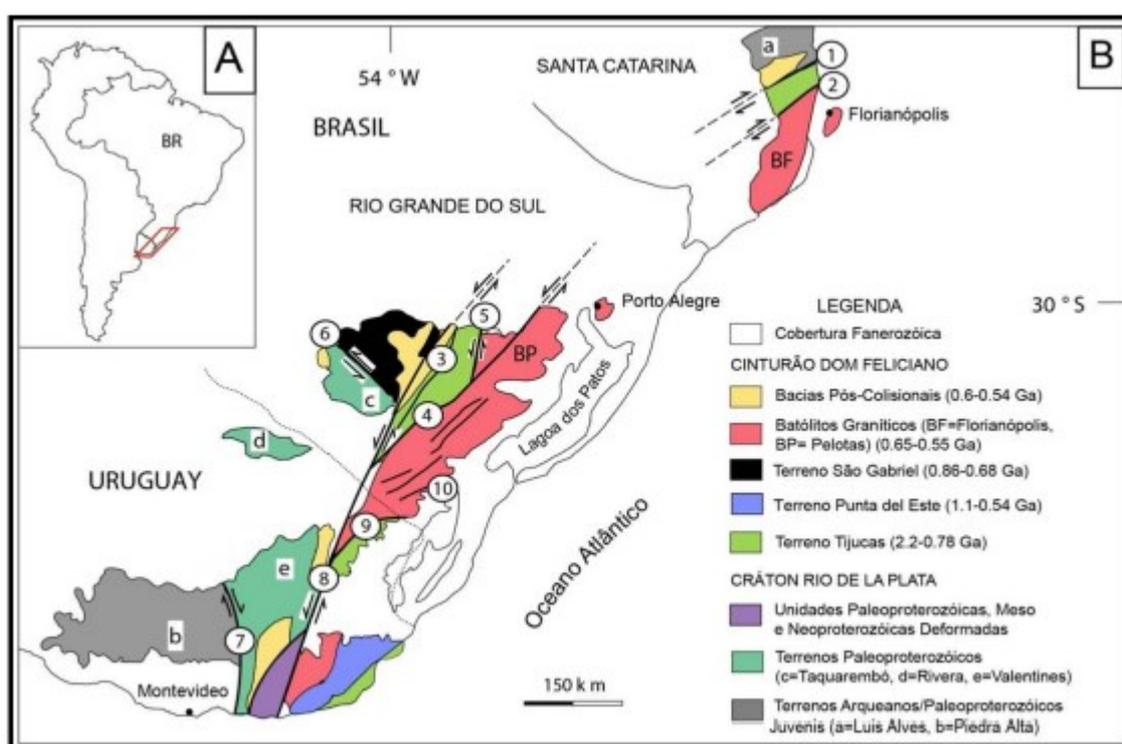


FONTE: Adaptado da base cartográfica IBGE (2019).

4.2 Contexto Geológico

Regionalmente, a área de estudo encontra-se no setor meridional da denominada Província Mantiqueira (Figura 2), um extenso cinturão de rochas que foi instalado na borda leste do Cráton do São Francisco/Rio de La Plata no final do Neoproterozóico, início do Paleozóico (DELGADO *et al.*, 2003). Apesar de sua estruturação ser predominantemente marcada pela orogênese Brasileira, esta província preserva remanescente de rochas arqueanas, paleoproterozóicas e neoproterozóicas.

Figura 2 – A) Cinturão Dom Feliciano e o Craton Rio de La Plata. B) Principais unidades geotectônicas do Sul do Brasil e Uruguai Arcabouço petrotectônico estrutural simplificado da Província Mantiqueira, seus terrenos e zonas de cisalhamento principais.



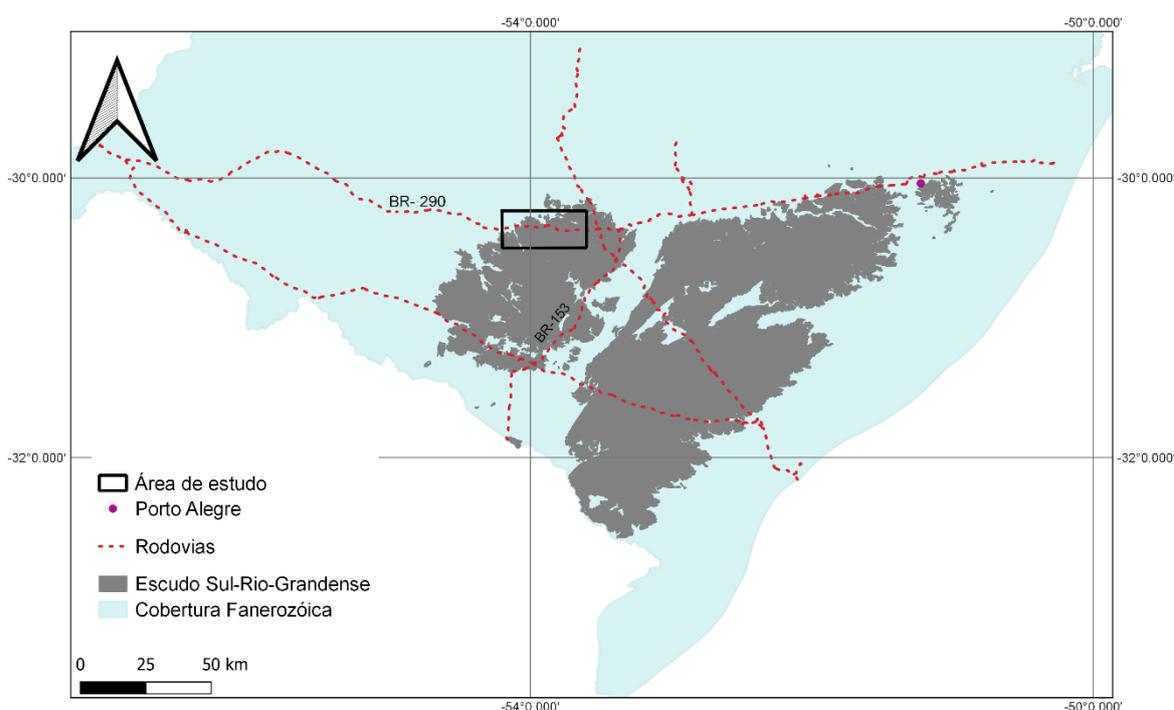
Principais zonas de cisalhamento são: 1- Itajaí-Perimbó, 2- Major-Gercino, 3- Santana da Boa Vista, 4- Dorsal do Canguru, 5- Passo do Marinheiro, 6-Ibaré, 7- Sarandi Del Y, 8- Sierra Ballena, 9- Cerro Amoro, 10- Arroio Grande.

FONTE: Extraído de Salvi, (2014).

Reconhecido como Escudo Sul-Rio-Grandense (ESRG) (Figura 3), nesta associação petrotectônica se encontra a porção meridional da província Mantiqueira (HASSUI *et al.*, 1975; ALMEIDA *et al.*, 1981) e representa um terreno antigo com gênese ligada aos ciclos Transamazônicos de idade paleoproterozóica e Brasileiro/Pan-Africano de idade neoproterozóica, no qual predominam rochas

cristalinas e sedimentares pré-paleozóicas. Congrega associações de rochas metamórficas, ígneas e sedimentares de idade, origem e evolução diversas, distribuídas num complexo arranjo tectono-estratigráfico, controlado por lineamentos regionais NE-SW e NW-SE, que segmentam este escudo. Embora os modelos apresentados sejam divergentes quanto a seus aspectos genéticos evolutivos, é consensual que a evolução do escudo é resultante de colagem orogênica de ambientes geotectônicos distintos, constituídos de associações de rochas específicas.

Figura 3 - Área de estudo no contexto do Escudo Sul-Rio-Grandense.



FONTE: Adaptado de base cartográfica CPRM (2019).

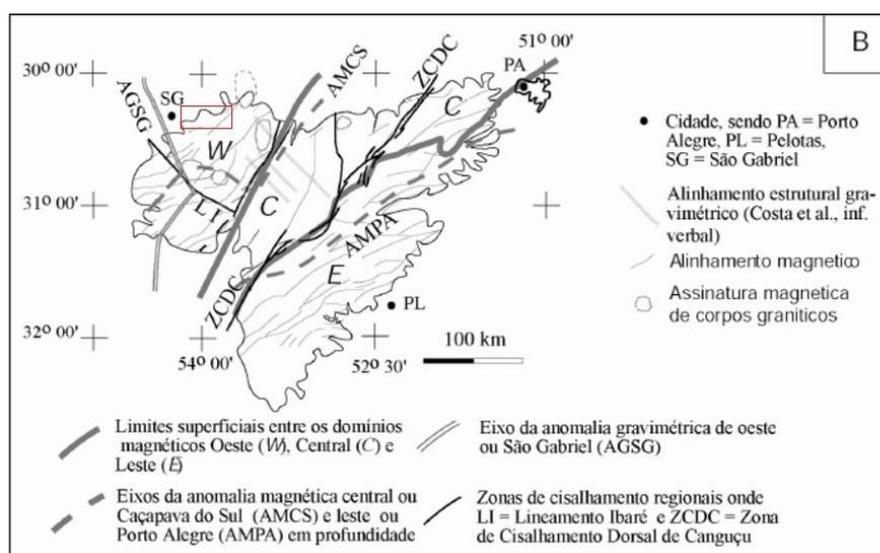
A evolução das unidades petrotectônicas do ESRG é resultado de processos de geração e deformação de crosta continental, cuja contribuição maior ocorreu em dois ciclos orogênicos: o Transamazônico (2,26 – 2,00 Ga) e o Brasileiro (900 – 535 Ma). O anteparo arqueano de colisão do primeiro ciclo orogênico não teve registros encontrados no Estado, mas todos os processos orogênicos do Neoproterozóico tiveram como referencial um continente de idade paleoproterozóica, cujos fragmentos remanescentes constituem o atual Cráton Rio de *La Plata* (HARTMANN *et al.*, 2007).

Os dois principais eventos orogênicos registrados no Cinturão Dom Feliciano são o Evento São Gabriel (850 – 700 Ma) e o Evento Dom Feliciano (650 – 535 Ma), constatado em trabalhos como os de Chemale Jr. *et al.*, (1994); Babinski *et al.*, (1996,

1997); Hartmann *et al.*, (2000, 2007); Chemale Jr., (2000), e seu desenvolvimento vem sido atribuído a um período de acreção juvenil gerado a partir do consumo de placas oceânicas (BABINSKI *et al.*, 1996, 1997; HARTMANN *et al.*, 2000, 2007, 2011; SAALMANN *et al.*, 2005; PHILIPP *et al.*, 2008,) aliado a eventos metamórficos e deformacionais policíclicos e polifásicos com intenso retrabalhamento crustal manifestado através de um significativo magmatismo plutônico de afinidade cálcio-alcalina alto-K (JOST, 1981; BITENCOURT & NARDI, 1993; BABINSKI *et al.*, 1996, 1997; SILVA *et al.*, 1999).

Para o reconhecimento e definição dos principais terrenos que compõem o ESRG (Figura 4) a aplicação da geofísica teve um importante papel na delimitação destes. Costa *et al.* (1995) definiu o Lineamento (magnético) de Caçapava do Sul com direção N-S a NNE. Este limita os terrenos São Gabriel e Taquarembó, a oeste, do Tijucas meridional, a leste; enquanto o Lineamento Ibaré, de direção NW, limita os dois primeiros terrenos.

Figura 4 - Estruturação geral do embasamento Sul-rio-grandense e suas principais anomalias regionais.



Detalhe para a área de estudo, em vermelho.

FONTE: Extraído e modificado de: Hartmann *et al.* (2007).

Fernandes *et al.* (1990) descreve a Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu como um Sistema de Falhas Dorsal de Canguçu equivalente à Zona de Cisalhamento Major Gercino em SC, separa o Terreno Tijucas meridional, pelo leste, do Batólito Pelotas.

O Terreno Taquarembó, caracterizado pelo Complexo Granulítico Santa Maria Chico (NARDI e HARTMANN, 1979), com unidades paleoproterozóicas paraderivadas (com alguma proveniência neoarqueana) e ortoderivadas com características isotópicas juvenis. São provisoriamente incluídas neste terreno as metavulcanossedimentares estaterianas de baixo e médio grau do Complexo Coxilha.

O Batólito Pelotas possui diversas suítes e complexos de granitóides neoproterozóicos e por frações retrabalhadas da crosta paleoproterozóica muito bem estudado por Philipp *et al.* (2000); Camozzato *et al.* (2014).

O Terreno São Gabriel (TSG), de idade neoproterozóica e assinatura isotópica juvenil, consiste em uma associação de rochas metavulcanossedimentares e plutônicas de arco e fragmentos de ofiolitos. É considerado um prisma acrescionário associado a ambientes de margem passiva e de retro-arco, assim como os de arcos magmáticos vulcano-sedimentares e plutônicos, oriundos da Orogênese São Gabriel. O terreno é composto por rochas plutônicas juvenis como cálcico-alcálicas baixo a médio-K de arco (Complexo Cambaí), truncadas por vários plútons, corpos tabulares e veios de composição variada e também rochas meta-vulcânicas máficas e metassedimentares associadas (Complexo Palma/Bossoroca). Com um olhar especial para as rochas máficas e ultramáficas do TSG, algumas alternativas para classificação dessas litologias ganham uma atenção especial como por exemplo a de Hartmann e Remus (2000), cujo dissertam que essas litologias, podem estar entre associações *greenstone belt* paleoproterozóicas ou ofiolitos neoproterozóicos, principalmente face à ocorrência dessas duas associações mescladas tectonicamente por processos orogênicos colisionais.

O Terreno Metamórfico de Acrensão Palma (CHEMALE JR, 2000) está bem distribuído no Cinturão Vila Nova, sendo cortado por intrusões graníticas brasileiras com cobertura de rochas sedimentares da Bacia do Camaquã e do Paraná sobrepostas. O Terreno Metamórfico de Acrensão Palma (TMAP) é caracterizado por apresentar rochas neoproterozóicas (1000 Ma – 700 Ma) com assinatura isotópica juvenil, formadas por acresção de arco de ilhas à margem do Microcontinente Encantadas. Em linhas gerais, representa um terreno acrescionário com a geração de unidades tectono-estratigráficas que correspondem às unidades litoestratigráficas resultantes de deformação tectônica de empurrão com vergência para E a SE e transcorrente direcional dextral (REMUS, 1990; PORCHER *et al.*, 1995), composto por

rochas neoproterozóicas com assinatura juvenil e lascas de corpos paleoproterozóicos.

O Complexo Bossoroca representa a parte vulcânica principal desse arco. Entre 760 e 680 Ma, o Terreno São Gabriel passou por duas fases deformacionais que geraram dobramentos coaxiais associados por uma expressiva lineação de estiramento. Zonas de cisalhamentos sofreram reativação em função da última fase de deformação no qual é caracterizada localmente por falhas de empurrão semi-rúpteis com vergência para SE. A parcela meridional mesoproterozóica do Terreno Tijucas, possui de maneira limitada básicas ultrabásicas, e predomínio de rochas meta-vulcano-sedimentares neoproterozóicas do Complexo Porongos além dos *basement inliers* de ortognaisses e metagranitos paleoproterozóicos.

Como importantes representantes litológicos na região tem-se o Cinturão Vila Nova (CVN) Chemale Jr. (2000), uma associação petrotectônica resultante de adição juvenil no Neoproterozóico e teria sido deformada pelo Evento São Gabriel. Cujo congrega gnaisses tonalíticos a monzograníticos com intercalações de anfibolitos, ultramafitos e mármores da fácies anfibolito, do Grupo Cambaí; rochas meta-vulcano-sedimentares, justapostas a rochas máfico-ultramáficas, metamorizadas na fácies xisto-verde a anfibolito; e corpos básico ultrabásicos estratiformes, reunidos no Supergrupo Vacacaí.

Na conjuntura da área a ser estudada, as assembleias rochosas que ganham destaque são do Complexo Cambaí e do Super Complexo Vacacaí. Estas, são compostas por faixas de para e ortognaisses, com inúmeras lentes de ultramáficas, metagabros, anfibolitos e granitos sintranscorrentes tardios; gnaisses tonalíticos a throndjemíticos cálcico-alcálicos, com várias fases de magmatismo e deformações encontradas em praticamente todas as assembleias. Formados na sua maior parte em um arco magmático; xistos magnesianos e serpentinitos, com lentes de metachert, metapelitos e mármores; metabasaltos e metandesitos toleíticos; rochas vulcano-sedimentares, com afinidade cálcico-alcálica de arco magmático (CHEMALE JR, 2000; REMUS, 1990).

O Supercomplexo Vacacaí (CHEMALE JR, 2000) é formado por vários complexos de rochas vulcano-sedimentares deformadas e metamorizadas em fácies xisto-verde a anfibolito inferior, cujas denominações são Complexo Passo Feio, Complexo Bossoroca/Palma e Complexo Ibaré. Além destes, ocorrem corpos básicos ultrabásicos estratiformes associados.

4.2.1 Bacia do Camaquã

A área de estudo comporta, ainda, algumas litologias das porções NW da Bacia Camaquã (BC), no qual abarca uma sequência vulcano-sedimentar que aflora no Escudo Sul-Rio-Grandense e depositou-se nas fases tardi a pós-colisionais do Ciclo Brasileiro do Cinturão Dom Feliciano (FRAGOSO-CÉSAR *et al.*, 1984; CHEMALE JR. *et al.*, 1995; PAIM *et al.*, 2000; HARTMANN *et al.*, 2008). Esta bacia molássica é uma das mais bem preservadas do mundo. Com orientação NE-SW, a BC é margeada pelos cinturões Tijucas e Dom Feliciano a leste, e posicionada sobre o Terreno São Gabriel e Cráton Rio de *La Plata*, a oeste.

Paim *et al.*, (2000) propõem que a sucessão completa da Bacia do Camaquã seja incluída no Alosupergrupo Camaquã, o qual pode ser subdividido em cinco unidades principais (Figura 5) limitadas entre si por discordâncias angulares regionais, individualizando os Alogrupos: Maricá, Bom Jardim, Cerro do Bugio, Santa Bárbara e Guaritas. Estas unidades, de acordo com critérios litoestratigráficos propostos por Ribeiro & Fantinel (1978), são agrupadas no Grupo Bom Jardim, abrangendo as formações Maricá, Vargas, Hilário e Acampamento Velho, e no Grupo Camaquã, constituído pelas formações Santa Bárbara e Guaritas.

Figura 5 - Equivalência de diferentes classificações, ao longo dos anos, para a Bacia do Camaquã.

Carvalho (1932)	Leinz <i>et al.</i> (1941)	Robertson (1966)	Ribeiro <i>et al.</i> (1966)	Leites <i>et al.</i> (1990)	Paim <i>et al.</i> (2000)
	Efusivas Andesíticas				
Série Camaquan	Série Camaquã	Grupo Camaquã Conglomerado Coxilha Fm. Guaritas Fm. Santa Bárbara	Grupo Camaquã Conglomerado Coxilha Fm. Guaritas Fm. Santa Bárbara	Seqüência Vulcano-sedimentar IV	Alogrupo Guaritas Alogrupo Santa Bárbara Alogrupo Cerro do Bugio
Erupções de Andesitos e Tufos Vulcânicos	Efusivas ácidas	Riolito Ramada Andesito Hilário	Grupo Bom Jardim Fm. Arroio dos Nobres Crespos Acampamento Velho Mb. Hilário Mb. Vargas Mb. Mangueirão	Seq. Vulcanogênica III Seqüência Vulcano-sedimentar II	Alogrupo Bom Jardim
	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Seqüência Vulcano-sedimentar I	Alogrupo Maricá
					Alosupergrupo Camaquã

FONTE: Paim *et al.*, (2000) e Caravaca (1998) modificada *apud* Borba (2006).

No contexto destes Alosupergrupos, a localidade de estudo contém os Alogrupo Maricá, Bom Jardim e Cerro do Bugio. O emprego da denominação individual de cada uma das áreas que guardam, de forma mais ou menos completa,

parte do registro geológico das sucessões vulcano-sedimentares representativas do Estágio de Transição da Plataforma Sul-Americana (ALMEIDA, 1969) foi utilizado o termo sub-bacia para cada deposição sedimentar ocorrida em diferentes estágios evolutivos dos Alogrupos da BC em Paim *et al.* (2000). A área de estudo seria abraçada pelas sub-bacias Ramada e Santa Bárbara que jazem sobre as rochas do Grupo Cambaí e as do Cinturão Vila Nova.

Em uma primeira aproximação pode-se dizer que a sucessão completa preservada na BC foi incluída no Alosupergrupo Camaquã. Essa unidade de maior hierarquia foi então subdividida em cinco unidades principais, limitadas entre si por discordâncias angulares (alogramos Maricá, Bom Jardim, Cerro do Bugio, Santa Bárbara e Guaritas).

Considerando o número de informações disponíveis, os três alogrupos mais jovens (Cerro do Bugio, Santa Bárbara e Guaritas) foram então subdivididos em unidades hierarquicamente inferiores (aloformações), limitadas entre si por discordâncias erosivas e, um caso isolado, por uma superfície de afogamento.

O Alogrupo Maricá encontra-se bem preservado na sub-bacia Ramada. Possui alguns finos níveis vulcânicos de composição ácida, localizados próximo à base da unidade, foram citados tanto para a sub-bacia Ramada (SANTOS *et al.*, 1978; LEITES *et al.*, 1990, 1992; ALMEIDA *et al.*, 1992). Informações litoquímicas (ALMEIDA *et al.*, 1992) sugerem uma afinidade cálcio-alcálica para este vulcanismo. Vidro vulcânico, ocorre associado às frações mais finas do Alogrupo Maricá e servem de evidência de vulcanismo explosivo em concomitância à deposição desta unidade (LEITES *et al.*, 1990). O Alogrupo Maricá inclui um sistema deposicional aluvial na sua base, sendo este conglomerático e arenoso na sub-bacia Ramada, nas fácies aluviais. Sugere-se então, que o sistema deposicional representa depósitos de canais entrelaçados vinculados a sistemas transversais (leques deltáicos arenosos), transportando sedimentos para SSE.

O alogrupo Bom Jardim é um depósito de natureza vulcânica tanto subáreas como subaquáticas. Litologias subvulcânicas e vulcanoclásticas (piroclástica e epiclásticas). Relacionando-se a um magmatismo cálcio-alcálico, de composição intermediária a básica e afinidade shoshonítica (NARDI & LIMA, 1985). Gradacionalmente, substituídas por conglomerados aluviais e mais distalmente, depósitos arenosos e/ou lamosos relacionados a fluxo de fundo.

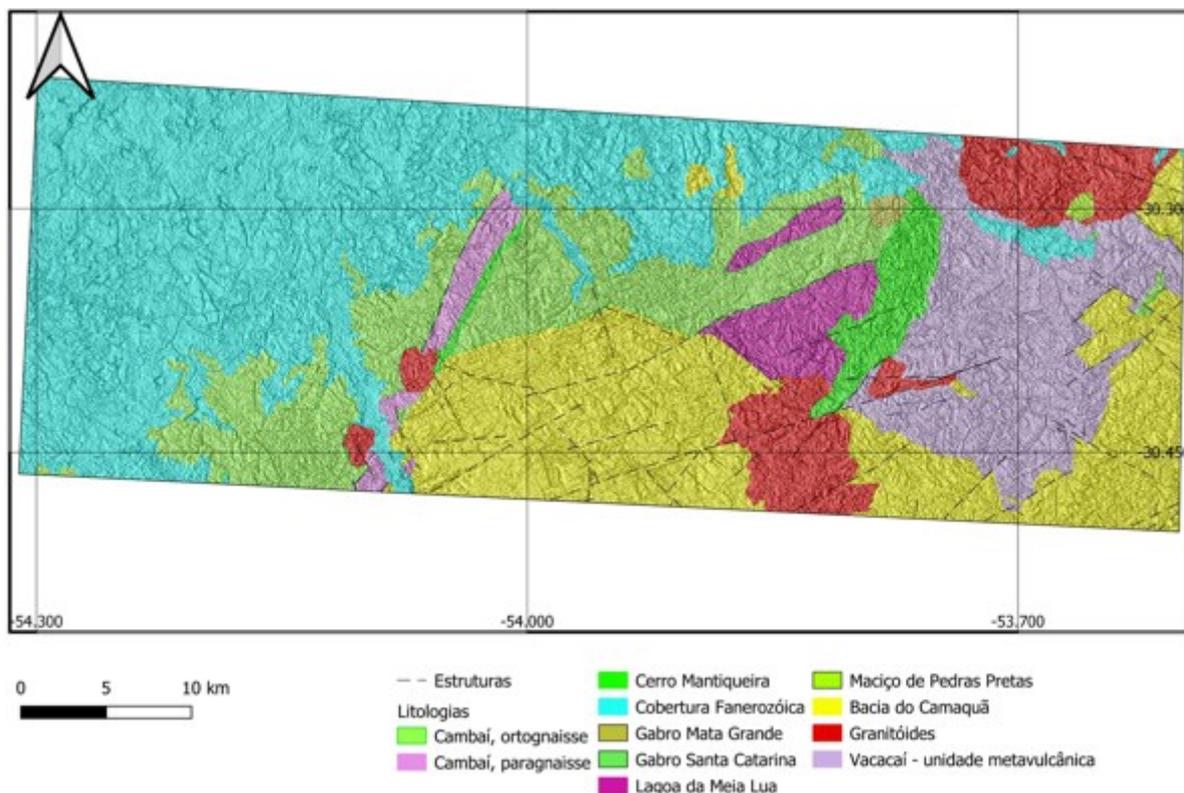
O Alogrupo Cerro do Bugio é composto, da base para o topo, pelas aloformações Acampamento Velho (origem vulcânica) e Santa Fé (conglomerados aluviais e, secundariamente, ritmitos areno-pelíticos e pelitos), separadas entre si por uma discordância erosiva.

O Alogrupo Santa Bárbara é composto pelas aloformações Serra dos Lanceiros (está relacionada a progradação de um sistema deltaico entrelaçado arenoso de caráter Longitudinal), e Segredo (pode ser vinculada à progradação de um sistema deltaico entrelaçado areno-conglomerático de natureza transversal). Ambos os conjuntos adentraram sobre uma bacia lacustre rasa, frequentemente exposta à dissecação.

4.3 Contexto Local

A região para o estudo proposto, compreende principalmente os municípios de Vila Nova do Sul, Santa Margarida do Sul e São Sepé (Figura 1). É representada pelos litotipos metabasanito do Supercomplexo Cambaí (Formação Cambaizinho inserida nele), Suíte Intrusiva Lagoa da Meia Lua, Cerro das Mantiqueiras (associação ofiolítica) em contraste com os Granitóides Ramada e São Sepé, Granito São Manuel e Santa Rita (Figura 6). Esses e outros corpos ígneos e metassedimentares elencados abaixo estão, por vezes, sobrejacentes às coberturas sedimentares da BC, a SE, como Grupo Maricá, Formação Hilário, Formação Acampamento Velho e, por fim a Formação Rio Bonito, Formação Palermo pertencentes a cobertura Fanerozóica, a NW da área.

Figura 6 - Mapa geológico integrado com Modelo Digital de Elevação.



FONTE: Adaptado de: Base cartográfica CPRM, 2019 e Sentinel - 2

Os metabasitos estudados neste trabalho estão relacionados a região que afloram o Complexo Cambaí, Formações Cerro do Ouro, Campestre e Cambaizinho, Granitos São Manoel, Santa Zélia, Santa Rita e Jaguari, rochas sedimentares e vulcânicas da Bacia do Paraná e sedimentos quaternários. O Complexo Cambaí é composto, na região da Palma, por gnaisses tonalíticos e granodioríticos, com septos de anfibolitos e ultramáficos. A sequência máfico-ultramáfica é constituída por serpentinitos e xistos magnesianos (enriquecidos em elementos incompatíveis), metabasaltos, metagabros e anfibolitos. Este último, vem a possuir afinidade de suítes toleíticas magnesianas, correspondentes a derrames básicos/ultrabásicos e intrusões ígneas rasas. Esta sequência foi provavelmente extraída de manto enriquecido, extravasando em crosta continental pré-existente (REMUS *et al.*, 1993).

As paragêneses observadas nas unidades que compõem o complexo sugerem condições metamórficas de fácies anfibolito, seguido de fácies xisto verde. A deformação resultante do cavalgamento (primeiro evento) gerou lineações segundo N20-40E, que internamente apresentam planos sub-horizontais mais antigos e um evento de transcorrência posterior teria rotacionado aqueles (REMUS, 1990). Fragoso

César (1991) e Fernandes *et al.* (1992), sugerem dois domínios estruturais distintos para a área, o primeiro refere-se a regime tangencial com vergência para NE, de grau metamórfico mais alto, e o segundo representado por grandes zonas de cisalhamento transcorrente e grau metamórfico mais baixo. Para Tommasi *et al.*, (1994), o evento tangencial de deformação foi profundo com origem em zona de cisalhamento de escala litosférica, conseqüentemente resultando em intercalação tectônica de porções do manto oceânico de bacia marginal e crosta continental juvenil.

O Cerro da Mantiqueira é uma unidade do Terreno São Gabriel, no qual é constituído por associações petrotectônicas geradas durante o período de subducção ativa que consumiu parte do Oceano Charrua durante a orogênese São Gabriel, ocorrida entre 860 e 700 Ma atrás. As rochas encaixantes do ofiolito Cerro da Mantiqueira apresentam idade neoproterozóica, 733 ± 10 Ma (LEITE *et al.*, 1998). O corpo principal dos Metaultramafitos Cerro da Mantiqueira tem alongamento E-W. Apresenta zonação, composto por metaultramafitos e serpentinitos na porção interna, envolvidos por faixas de xistos magnesianos. *Boudins*, envoltos por lentes contínuas de talcotremolita xistos, de cor verde, com textura nematoblástica média a grossa, envolvem os metaultramafitos que ocorrem na forma de corpos alongados. Ocorrem ainda, corpos de serpentinitos foliados associados a zonas de alta deformação, (UFRGS, 2004).

A Suíte Lagoa da Meia Lua, é composta por granitos, tonalitos, granodioritos e dioritos, representa uma série de granitoides relativas a regime de arco (700-640 Ma) Santo (2018).

A região de Vila Nova do Sul comporta os gnaisses Cambaí com aspectos petrológicos constituído principalmente de gnaisses quartzo-feldspáticos com bandas ou lentes de anfibolitos intercalados, associados a uma suíte ígnea na qual se reconhece termos gabróicos, dioríticos, tonalíticos, trondhjemíticos e granitoides ricos em potássio. Interpreta-se o conjunto como representado por uma unidade supracrustal, composta por uma sequência pelito-carbonática e derrames básicos associados, e uma suíte intrusiva cálcio-alcálica. Os termos dioríticos desses gnaisses, que aparentemente são as rochas dominantes a oeste de Vila Nova do Sul, apresentam de coloração cinza-escura, de granulação média e apresentam frequentemente um bandamento marcado por finos níveis quartzo-feldspáticos. Mineralogicamente há predominância de plagioclásio, biotita e/ou hornblenda e quartzo. Além da associação com lentes de mármore calcítico e interpretação em

dados químicos, provavelmente, pelo menos parte desses gnaisses, podem ser derivados de protólitos sedimentares. Os ortognaisses, geralmente de coloração cinza mais clara, mostram um bandamento definido pela alternância de finas bandas mais ricas em biotita e bandas leucocráticas (REMUS, 1998).

A mineralogia principal está representada por plagioclásio, quartzo, feldspato potássico e biotita em quantidades variáveis, resultando em uma composição de tonalítica a granodiorítica; como minerais acessórios ocorrem almandina, zircão, apatita e opacos. Termos gabróicos a trondhjémíticos representam a suíte intrusiva, além de granitóides granodioríticos e adamelíticos, que ocorrem como corpos tabulares concordantes e discordantes com o bandamento gnáissico, ou como corpos de formas e dimensões indefinidas (REMUS, 1998). Variam desde rochas com uma foliação bem desenvolvida até granitóides aparentemente não deformados.

Septos da Formação Cambaizinho são, geotectonicamente classificados como provável sequência *Greenstone belt* geradas em ambiente de *rift* e deformadas em margem continental ativa, sendo olivina-talco-cromita xisto, fácies anfíbolito inferior a xisto verde inferior, segundo a classificação de Hartmann & Remus (2000). Na Formação Cambaizinho, as rochas ultramáficas estão contidas na sequência supracrustal. São principalmente xistos magnesianos a talcotremolita (Mg hornblenda) -antofilita-olivina-clorita-cromita, que são os equivalentes metamórficos de fácies anfíbolito inferior de protólitos variados. Possui ainda, xistos magnesianos, serpentinitos e anfíbolitos entremeados em Orto e Paragnaisses quartzos-feldspáticos. Muitos desses corpos constituem camadas métricas e estendem-se no campo por centenas de metros e ocorrem interestratificados em metassedimentos da Formação Cambaizinho. Como a idade modelo Sm/Nd TDM é de cerca de 1,7 Ga (REMUS, 1998), trata-se de rochas antigas, provavelmente paleoproterozóicas.

A área de estudo possui ainda algumas ocorrências de granitóides que intrudem o Terreno Palma e a Bacia do Camaquã. Esses corpos graníticos podem ter forte contribuição crustal. Têm assinatura geoquímica subalcalina a alcalina e valores de ENd -11,69 a -15,34 e TDM de 1,8 a 2,9 Ga, cujas idades de cristalização variam entre 564 e 537 Ma (dados de Rb-Sr de NAIME & NARDI, 1991; GASTAL & LAFON, 1998; e de U-Pb de REMUS *et al.*, 1999). Metamorfismo de contato nas rochas encaixantes são feições frequentes. A exemplo do primeiro grupo, estas rochas estão na sua maior parte deformadas rúptilmente. Localmente apresentam feições dúctil-rúpteis associadas a reativações de falhas na região. Os Granitos Pós transcorrentes

caracterizam-se pela baixa taxa de deformação (UFRGS, 1996) observada nos granitos São Manuel e Santa Rita de composição monzogranítica e textura variando de fanerítica fina a grossa.

A Suíte Intrusiva Ramada é constituída principalmente por rochas sienograníticas e, subordinadamente, por termos monzograníticos, monzodioríticos e dioríticos, abrangendo o Granito Ramada, Granito Cerro da Cria e o Granito São Sepé (UFRGS, 1997).

Como supracitado no item 4.2, a área é parcialmente recoberta por sedimentos da Bacia do Camaquã. O Grupo Maricá está representado por arenitos feldspáticos-quartzosos, arenitos conglomeráticos com matriz quartzo-feldspática, siltitos e ritmitos areno-pelíticos. Dados geocronológicos compilados de diversos autores e discutidos por Paim *et al.* (2000), sugerem uma idade em torno de 620 Ma e 592 Ma para este grupo. Os termos areníticos e termos mais finos (ritmitos e siltitos) afloram como lajeados em encostas e ao longo das drenagens ou em ravinas.

O Grupo Bom Jardim é representado por depósitos vulcânicos da Formação Hilário (590 Ma). Esta formação representa o primeiro ciclo vulcânico da Bacia do Camaquã onde termos efusivos são caracterizados por traquiandesitos basálticos a traquiandesitos. A Formação Hilário possui fração vulcanoclástica sobreposta à fácies efusiva, sendo constituída por conglomerados vulcanogênicos, com clastos andesíticos, envoltos por uma matriz arenosa. A unidade vulcânica mais jovem é referida como Formação Acampamento Velho (~550 Ma). Este caracteriza-se predominantemente por depósitos de fluxo piroclástico, lavas e corpos hipabissais de composição ácida, seguidos de derrames e diques de composição básica (SOMMER *et al.*, 2003).

O Grupo Guatá é um dos grupos sedimentares que recobrem a área. Composto por duas formações: Formação Palermo nesta ocorrem siltitos, siltitos arenosos, arenito fino a muito fino e folhelho, lentes de arenito grosso e conglomerado com seixos discóides, ambiente marinho de costa-afora com influência de tempestades; e a Formação Rio Bonito composta por arcóseo, siltito, siltito carbonoso e quartzarenito, folhelho carbonoso e carvão, diamictito com matriz carbonosa e marga, ambiente flúvio-deltaico, litorâneo e marinho plataformal.

4.4 Contexto Geofisiográfico (Clima, Fisiografia e Geomorfologia)

A área de estudo está localizada na porção noroeste da Folha Cachoeira do Sul (FCS) relatada por Porcher e Lopes (2000), o clima da região em que se situa é caracterizado como chuvoso, tipo Cfa de inverno frio e verão quente e com precipitações pluviométricas bem distribuídas ao longo de todo ano. Os valores da média anual de precipitações variam entre 1.300 e 1.600 mm, com índices um pouco maiores no período de junho a agosto. A temperatura média anual varia entre 16° e 19° C, com médias mínimas entre 12° e 13° C no mês de julho e médias máximas de 29° a 31° C no mês de dezembro. Os limites de temperatura expressivas da amplitude térmica anual são registradas entre o inverno, com mínimas de até -4° C, e o verão, em que as máximas alcançam até 40° C.

Segundo o Levantamento pedológico efetuado pelo projeto RADAMBRASIL (KER *et al.*, 1986) a FCS comporta solos predominantemente Litólicos distróficos, eutróficos e podizólicos (representado em áreas que ocorrem sequências da Bacia do Paraná, e subordinadamente distribuído, planossolos eutróficos associados ao Rio Jacuí e seus tributários (desenvolvidos sobre depósitos aluvionares).

Baseado no sistema de classificação fitogeográfica do Projeto RADAMBRASIL (TEIXEIRA & COURA NETO, 1986), a área da Folha domina a região fitoecológica da Savana, subdividida em Savana Arbórea Aberta (a leste de Santana Da Boa Vista), Savana Parque (ocorre em áreas de relevo forte do Planalto Sul-Rio-Grandense), Savana Gramínea Lenhosa (ocorre em relevo suave ondula sobre formações gondwânicas).

Seguindo critérios do Projeto RADAMBRASIL (JUSTUS *et al.*, 1986) a FCS abrange as regiões geomorfológicas do Planalto Sul-Rio-Grandense representada pelas unidades Planaltos Residuais Canguçu-Caçapava do Sul (relevos mais elevados de cerca de 400 m).

O Planalto Marginal Rebaixado (relevos intermediários de 100 a 200 m) e a Depressão Central Gaúcha representada pela unidade geomorfológica Depressão do Rio Jacuí abrange terrenos da Bacia do Paraná a sul dos Rios Jacuí e Vacacaí (relevos sem grandes variações altimétricas, entre 130 a 80 m).

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para realização dos objetivos propostos neste estudo os materiais, métodos e técnicas adotadas assim como as respectivas bibliografias encontram-se elencadas conforme a seguir.

5.1 Geoprocessamento

De maneira geral, até o final da década de 80, a integração de dados era feita com o uso de dados analógicos através da superposição de mapas em papel ou películas transparentes, de maneira empírica. A superposição de dados multitemáticos era, assim, bastante limitada. Com a recente introdução de técnicas de ponta de processamento, integração e análise espacial e estatística de dados, o processo de manipulação e extração de informações a partir dos mesmos tornou-se mais simples, possibilitando o manuseio de uma grande quantidade de dados em tempo real, além de permitir a atuação de maneira mais precisa e eficaz de acordo com Nunes (2002).

No sentido amplo o geoprocessamento constitui, segundo Teixeira *et al.* (1992), um conjunto de tecnologias para a coleta, tratamento, análise e visualização de dados e informações espaciais, assim como o desenvolvimento de novos sistemas e aplicações. As tecnologias aplicadas às funções citadas são comumente denominadas de geotecnologias e de acordo com Araújo (2017), o geoprocessamento incorpora e amplia as funções dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), incluindo os Sistemas Globais de Navegação por Satélite (GNSS) e as tecnologias de Sensoriamento Remoto (SR).

O autor defende ainda que nas últimas décadas, o conjunto de tecnologias que integram o geoprocessamento, a cartografia e o sensoriamento remoto têm sido aquelas de maior aplicação a estudos na área das geociências como agricultura, hidrologia, monitoramento de atividades ambientais e geológicos. Atualmente, há um amplo acesso a *softwares*, acervos de dados gratuitos e técnicas que oferecem significantes resultados na detecção, análise e interpretação de feições estruturais e litologias correlacionáveis a áreas alvo, a prospecção mineral e exploração, muito usado também em áreas como agricultura, hidrologia, monitoramento de atividades ambientais e dentre outros.

5.2 Sensoriamento Remoto

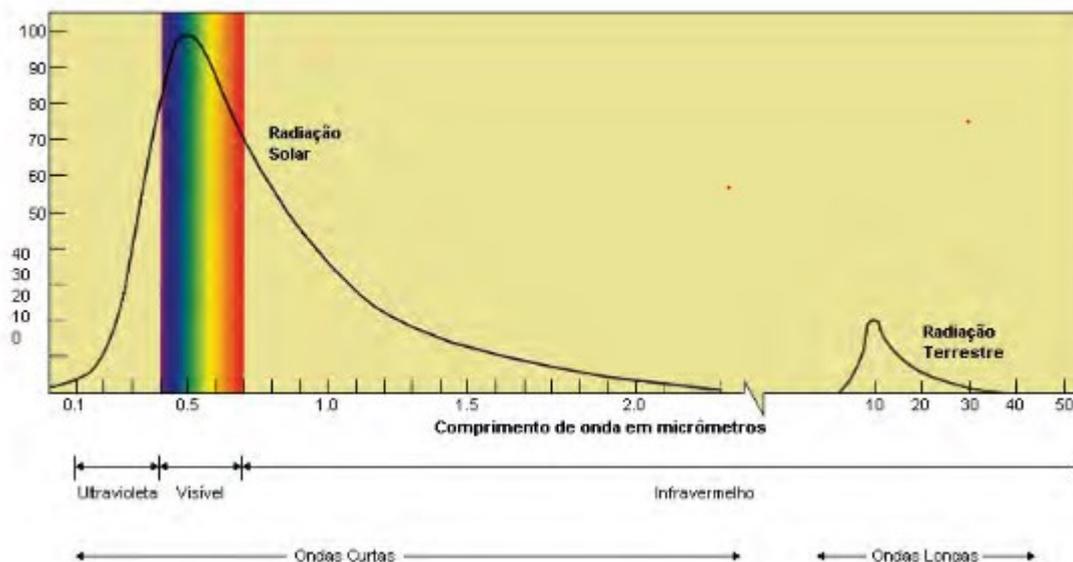
O estudo de objetos a distância configura o sensoriamento remoto. A observação, propriamente dita, de alvos (próprio planeta Terra ou coisas menores) de maneira afastada com o auxílio de sensores, câmeras, satélites e telescópios desde o ar até o espaço é a mais pura essência do sensoriamento remoto. Uma ciência respeitada e que, por ter ganhado tantas melhorias tecnológicas, tornou-se imprescindível para estudos em área do conhecimento que parecia improvável até o século passado, afinal aplica-se estatística e matemática, propagação de ondas e ferramentas de informática. A fotogrametria, caindo cada dia mais em desuso, também se configura uma forma de SR, todavia a forma de sua aquisição e seu processamento destoam uma da outra.

Algumas das aplicações mais comuns do SR, são: mapeamento em grandes escalas e mapeamentos sistêmicos, cadastro e planejamento urbano, mapas topográficos, cartografia temática (mapas de vegetação, solos, hidrografia, provedor de dados para SIG), informações agroambientais e dentre outros.

O sensoriamento remoto baseia-se na aquisição de informações armazenadas pelos sensores, que captam a energia eletromagnética irradiada por um objeto. A energia emitida ou refletida por objetos da superfície física da Terra é transmitida aos sensores em forma de ondas eletromagnéticas, essa informação é recebida pelo sensor e pode ser codificada em termos de frequência, intensidade e polarização da onda. A interação da energia luminosa (solar) com os objetos da superfície terrestre gera os seguintes fenômenos: absorção, emissão, difusão e reflexão. Os objetos da superfície terrestre refletem e absorvem seletivamente energia eletromagnética, devido a sua diferente composição molecular. Esta característica, denominada resposta espectral dos objetos, permite identificá-los numa fotografia aérea ou imagem de sensoriamento remoto (ANTUNES, 2018).

O espectro eletromagnético se estende da região dos raios gama (γ) às micro-ondas e é dividido em regiões de acordo com os comprimentos de onda. O espectro de energia é muito amplo, porém o olho humano só capta uma estreita faixa (Figura 7), já os sensores captam outros espectros não visíveis a nós.

Figura 7 - Espectro eletromagnético com enfoque no visível.



FONTE: Extraído e modificado de Meneses & Almeida (2012).

As ondas eletromagnéticas se propagam no vácuo na velocidade da luz ($c = 299.292,46$ km/s ou aproximadamente 300.000 km/s). Se for medida a distância entre dois picos sucessivos de ondas, determina-se o comprimento ou tamanho da onda, que é simbolizado pela letra grega λ (lambda) e expresso no sistema de unidades métricas.

A radiação eletromagnética (REM) tem explicação a partir do entendimento da dualidade do comportamento da sua natureza: onda e energia. Isso quer dizer que a REM que se propaga pelo espaço vazio, como a luz solar, é uma forma de onda e uma forma de energia ao mesmo tempo. A dualidade do comportamento da radiação eletromagnética, onda e energia, é formulada pelos modelos denominados de ondulatório (onda) e corpuscular (energia), (MENESES e ALMEIDA, 2012).

Por outro lado, analisando as aplicações do sensoriamento remoto na área de mineração, Meneses e Ferreira Jr. (2001) alertam tanto para as possibilidades, como para as dificuldades envolvidas na utilização destas geotecnologias na identificação de minerais e rochas dependente de fatores como a condição de exposição superficial das rochas, a presença e tipologia da cobertura vegetal, assim como das características do solo, uma vez que os sensores de satélite utilizam radiação eletromagnética que sofre espalhamento ou mesmo absorção pelos demais alvos da superfície, impedindo a identificação direta do material geológico.

5.3 Aerogeofísica

Outros métodos investigativos da geologia tornam-se necessários para uma análise com melhores possibilidades de resposta e que ofereçam um custo-benefício válido numa abordagem inicial de estudo. Sabendo disso, o uso de métodos aerogeofísicos para estudos regionais ou ainda, geofísicos terrestre para estudos mais locais, constituem uma reconhecida ferramenta, amplamente empregada para o estudo de corpos geológicos de interesse em função de seu custo benefício, rápida aquisição, abrangência de área, bem como o fato de ser uma forma de análise não destrutiva e indireta da geologia de uma área.

Entre os métodos geofísicos mais utilizados encontra-se o magnetométrico que permite a detecção de feições e estruturas em escala regional. Consiste, portanto, em uma abordagem adicional satisfatória em estudos geológicos de escala regional (aeromagnetometria).

5.3.1 Magnetometria

A magnetometria é um método geofísico no qual mede a magnitude e a orientação do campo magnético da Terra no qual depende principalmente do campo magnético primário gerado no núcleo e das magnetizações induzidas e remanescente das rochas que compõe a crosta terrestre. Associada diretamente com a grandeza física susceptibilidade magnética representada pela letra K.

A baixa proporção de minerais magnéticos na maioria das rochas faz com que a susceptibilidade magnética exibida por elas seja baixa. Ainda assim, certos tipos de rochas contêm minerais magnéticos suficientes para produzir anomalias magnéticas significativas. As anomalias magnéticas locais não podem ser abaixo de 40 km de profundidade pois perdem sua propriedade magnética devido ao ponto de Curie, segundo Telford (1990).

Os grupos geoquímicos que fornecem esses minerais são o grupo ferro-titânio-oxigênio, que possui uma série de solução sólida de minerais magnéticos de magnetita (Fe_3O_4) para ulvospinélio (Fe_2TiO_4). O outro óxido de ferro comum, hematita (Fe_2O_3), é antiferromagnética e, portanto, não dá origem a anomalias magnéticas, a menos que um antiferromagnetismo parasita seja desenvolvido. O grupo ferro-enxofre fornece o mineral magnético pirrotita (FeS_{1+x} , $0 < x < 0,15$) cuja susceptibilidade magnética depende de sua composição real (KEAREY *et al.*, 2002).

A magnetita é o principal mineral magnético que produz anomalias identificáveis, esse mineral é acessório, logo raramente ultrapassa 1% do volume total de uma rocha.

Rochas ígneas básicas possuem maior quantidade de magnetita em sua composição do que rochas ácidas, em função do conteúdo da magnetita decrescer à medida que a acidez de uma rocha cresce. Já as rochas metamórficas podem ou não manter ou reincorporar o ferro presente no protólito dependendo do grau de metamorfismo sofrido pela rocha, portanto podem apresentar anomalias moderadas. Outros importantes fatores que fazem os corpos geológicos portadores de minerais magnéticos produzirem anomalias no campo magnético são a orientação do corpo em relação ao campo magnético indutor, forma e mergulho do corpo e magnetização.

Ressalta-se ainda que o conhecimento a respeito do comportamento do campo geomagnético é necessário tanto na redução dos dados magnéticos a um *datum* adequado quanto na interpretação das anomalias resultantes e torna-se de suma importância para magnetometria, haja vista que uma anomalia é um valor anormal aos valores do campo de geomagnético usuais e dos componentes ao seu redor, (KEAREY *et al.*, 2002). Um campo secundário induzido nas rochas que contêm minerais magnéticos é provocado pelo campo geomagnético da Terra. A intensidade desse campo secundário é proporcional a intensidade do campo geomagnético. A constante de proporcionalidade como dita anteriormente é K.

$$T'=KT$$

5.4 Trabalhos Anteriormente Aplicados

A fim de se cumprir a abordagem definida para a execução deste trabalho, bibliografias contendo o estado da arte nas metodologias a serem empregadas são abaixo citadas. Estas, representam importante fonte de informação e suporte teórico/metodológico no estudo.

Em Nunes (2002), foi realizada a integração de dados geológicos e geofísicos processados em ambiente SIG e imagens de sensores remotos para propor um modelo prospectivo que sugere áreas de favorabilidade para prospecção na região de Serra do Leste, cidade de Carajás - PA.

Magalhães *et al.* (2007) faz o processamento e a interpretação de dados aerogeofísicos de alta resolução para geração de mapas de lineamentos magnéticos e domínio gamaespectrométrico na porção centro-sul do estado do Amapá.

Na região do quadrilátero ferrífero em Minas Gerais, Silva (2008) demonstra a importância do uso de dados na otimização de um estudo de geoprocessamento de dados geológicos e geofísicos aliados a uma análise de sensoriamento remoto.

No trabalho de Carrino (2010) são apresentadas dissertações sobre regiões prospectivas da porção oeste da Província Mineral Tapajós, pertencente aos estados do Amazonas e do Pará. Estas, foram determinadas por meio do processamento, interpretação, integralização e análise de dados aerogeofísicos regionais e de detalhes, radar de abertura sintética, geologia e geoquímica na tentativa de identificação de feições geomorfológicas e geológicas importantes para mineralização de ouro.

Curto (2011) expõe que o emprego de métodos indiretos também pode ser utilizado no mapeamento de hidrocarbonetos usando dados de aerogama e magnetometria em conjunto ao SR, tornando a campanha exploratória mais eficaz e em seu estudo foi caracterizado prováveis estruturas intra-sedimentares e sua relação com os hidrocarbonetos na região do Remanso do Fogo-MG.

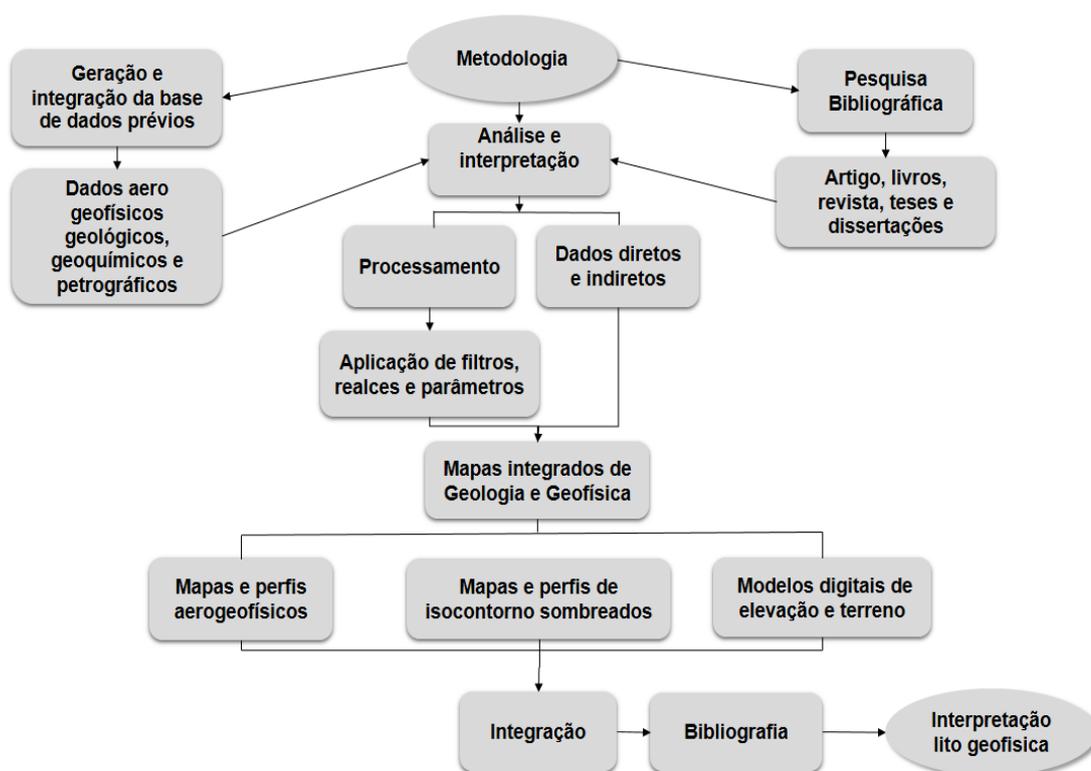
Barbosa (2012) realiza uma correlação de dados aerogeofísicos, geológicos, relevo e solo para caracterizar e individualizar o Complexo Máfico-Ultramáfico de Niquelândia-GO e suas unidades adjacentes além da utilização de índice máficos (IM) para delimitar os corpos sem a influência do solo.

6 MATERIAIS E MÉTODOS

A fim de atender os objetivos propostos e atingir os resultados, este estudo consiste em cinco etapas principais conforme abaixo e apresentadas no fluxograma da Figura 8:

- Pesquisa bibliográfica;
- Geração e integração de base de dados prévios;
- Análise e interpretação;
- Mapas Geológicos e Geofísicos
- Interpretação lito-geofísicas.

Figura 8 - Fluxo da metodologia realizada no Trabalho de Conclusão de Curso.



FONTE: Autora.

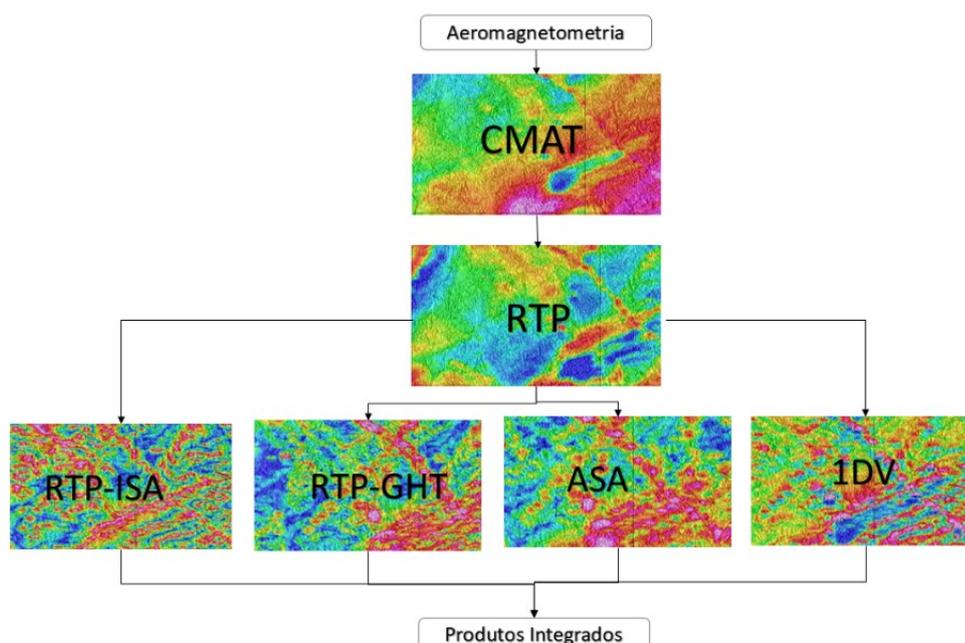
6.1 Pesquisa bibliográfica

Pesquisa e compilação de artigos, livros, revistas, teses e dissertações de caráter regional da área de estudo. Estas informações são essenciais a fim de se compor uma base de dados robusta e completa (estado da arte) e, adicionalmente, subsidiar as definições das ferramentas, processamentos e análises realizadas.

6.2 Geração e integração de base de dados prévios

As informações, dados aerogeofísicos (Figura 9), magnetométricos, mapeamentos geológicos, estudo geoquímicos e petrográficos são gratuitos e de domínios públicos. Estes, são disponibilizados a partir de instituições de pesquisa, ensino e agências espaciais. Estas bases de dados consistiram no alicerce para a geração de mapas, georreferenciamento, perfis e outros produtos finais.

Figura 9 - Rotina de filtros e processamento de dados de aeromagnetometria.



FONTE: modificado de CPRM (2010).

6.3 Análise e interpretação

Os dados integrados em uma base de dados única foram submetidas a processamentos e análises e possibilitaram as integrações geofísicas e geológicas.

Permitiram formular hipóteses e interpretações a partir da integração dos dados diretos (geológicos), superfície (topografia) e aerogeofísicos. Estes últimos, foram submetidos a técnicas de realce e filtragem amplamente empregadas a fim de se separar, por meio da análise de sinais, as frequências causativas e oriundas das litologias de interesse (rochas básicas e ultrabásicas) além das outras litologias contrastantes a essa (granitóides).

6.4 Mapas geológicos e geofísicos

Os dados após processamentos, aplicação de filtragens e técnicas de realce foram apresentados por meio de mapas de isocontorno sombreados, perfis de dados e análise da variação das anomalias detectadas.

Os mapas contêm as respostas dos processamentos geofísicos em função de modelos digitais fruto de imagens orbitais, como por exemplo: amplitude do sinal analítico e a primeira derivada vertical, redução ao pólo (magnetometria) *versus* MDE. Ainda, os mapas geológicos foram integrados e comparados com os produtos geofísicos.

6.5 Interpretação lito-geofísicas

As anomalias, após realces e respectivas filtragens, permitiram a partir da integração com informações de sensoriamento remoto (indiretas) e geológicas (diretas), a definição de descontinuidade, lineamentos e estruturas menores, considerando-se a escala de resolução dos dados. Essas informações integradas serviram como importantes elementos no refinamento e entendimento dos limites em superfície e em profundidade destes corpos anômalos.

7 RESULTADOS

7.1 Sensoriamento Remoto

Seja na pesquisa geológica para fins de mapeamento e exploração ou pesquisa científica algumas características tanto do sensor, como do alvo, devem ser levadas em consideração como evidenciadas na Tabela 1. As suas variações devem ser ajustadas objetivando realce das feições de interesse respeitando as limitações do olho humano, pois o padrão tonal e textural das imagens é ajustável de acordo com alguns parâmetros (HENDERSON e LEWIS, 1998).

Tabela 1 - Parâmetros da Imagem/sistema e do alvo que influenciam no sinal retorno do radar.

Parâmetros da Imagem/Sistema	Parâmetros do Alvo
Comprimento de onda/frequência, Ângulo de incidência, Azimute de visada, Resolução Espacial	Rugosidade da Superfície, Feições Antrópicas, Inclinação e Orientação.

FONTE: Modificado de Henderson e Lewis (1998).

As variações nas rugosidades, devido aos efeitos das diferenças dos comprimentos de ondas; as variações relativas aos azimutes de visadas que realcem características naturais e antrópicas do terreno e suas orientações preferenciais e as geometrias dessas linhas na imagem são algumas das relações que influencia na resposta adquirida a partir das imagens de sensores orbitais e radares. Bem como processamento e seleção de aspectos que filtrem e realcem as feições de interesse com finalidade de permitir boas análises a respeito da fisiografia e geomorfologia do local.

No que tange a análise geológica-estrutural, feições como a rugosidade da superfície, inclinação e orientação do alvo são importantes características a serem salientadas e evidenciadas para entendimento das pesquisas direcionadas a estruturas de primeira e segunda ordem. Portanto, foliações, fraturas, falhas, contatos e topografia cujo correspondem a orientação estrutural referencial da área imageada devem, preferencialmente, ter a direção de visada para o realce das mesmas com finalidade de evidenciar o ângulo ortogonal.

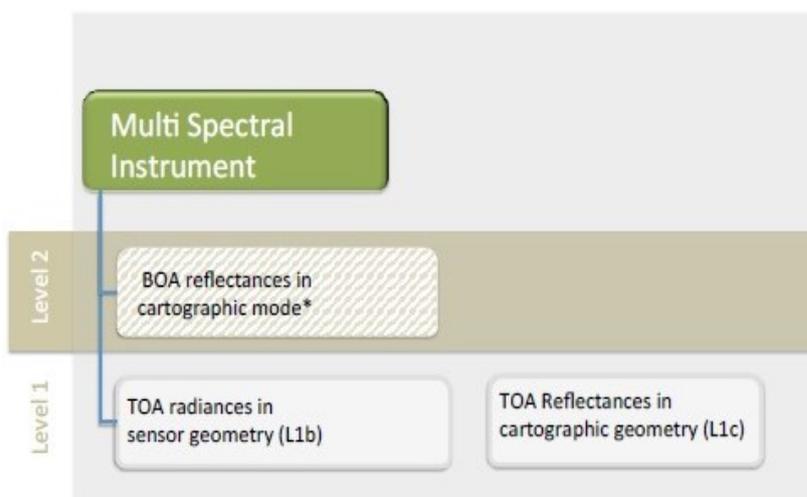
Assim, por exemplo, uma crista de relevo orientada na direção N-S terá a sua forma de relevo mais bem caracterizada quando a iluminação dos feixes de radar tiver uma orientação E-W (Almeida *et al.*, 2009).

7.1.1 Imagens Sentinel -2

Imagens com alta resolução de sensores orbitais podem ser adquiridas em sites de livre acesso e com resolução de qualidade e diferentes níveis de processamento como a agência o *United States Geological Survey (Earth Explorer-USGS)*, serviço geológico dos Estados Unidos, bem como o *Alaska Satellite Facility (ASF)*, DAAC e dentre outros que contêm excelentes bancos de dados para estudos que demandem imagens de sensores remotos.

Para este estudo foram selecionadas imagens de satélites da missão Sentinel 2, nível de processamento L1C com resolução de 20 m acessadas e adquiridas através do *Sentinel Scientifics Data Hubs* no dia 05 de junho (Figura 10) e foi confeccionado MDE da área de estudo para expressar e extrair informações a respeito dos domínios geomorfológicos da área e investigar a relação relevo, topografia, geologia fisiografia com as respostas geofísicas de sensores aerotransportados.

Figura 10 - Principais produtos do Sentinel – 2.



FONTE: site Copernicus (*SENTINEL MISSIONS*).

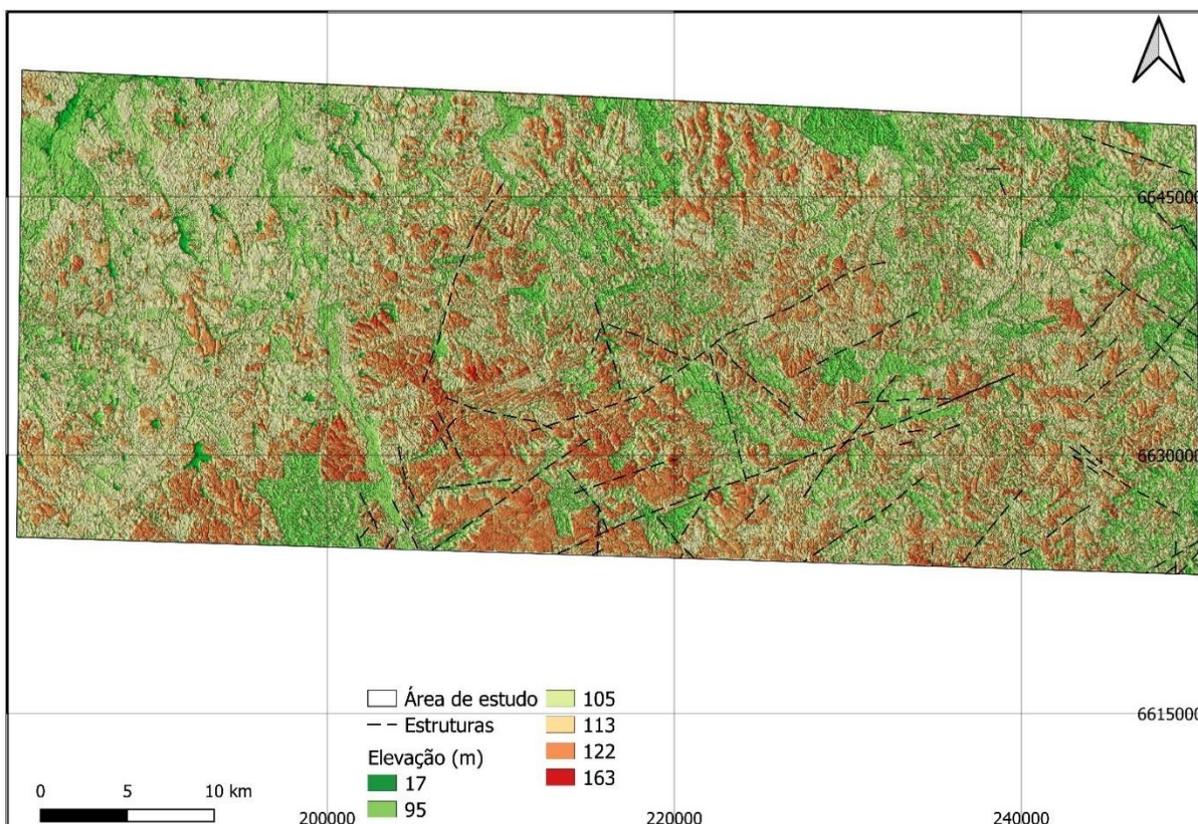
7.1.2 Relevo

Na interpretação geomorfológica, utilizando dados das imagens do sentinel – 2, é fundamental a identificação das feições das paisagens naturais ou não. Os elementos naturais de paisagem, como a morfologia do terreno, isto é, o relevo e suas

variações, as transições de altimetria, drenagem e feições estruturais respeitando a escala apropriada, são características de suma importância para a interpretação da geomorfologia.

O estudo da disposição e ordenamento dos elementos identificados nas imagens, sendo os menores elementos de imagem, identificável e passível de repetição, é denominado de elemento textural. As estruturas de uma imagem estabelecem a lei organizacional que exprime a disposição espacial ordenada ou não dos elementos texturais. Por fim, o espaço onde estão agrupados os elementos texturais é definido como forma. Assim, conjuntos específicos de propriedades definem as formas de relevo e drenagem. Todas essas características de texturas e estruturas são exibidas em Modelos Digitais de Elevação (MDE) permitindo extração análise (Figura 11) e sobreposição de outras feições como limites geológicos ou dados geofísicos que geram possibilidades de junção, integração e correlação dessas informações.

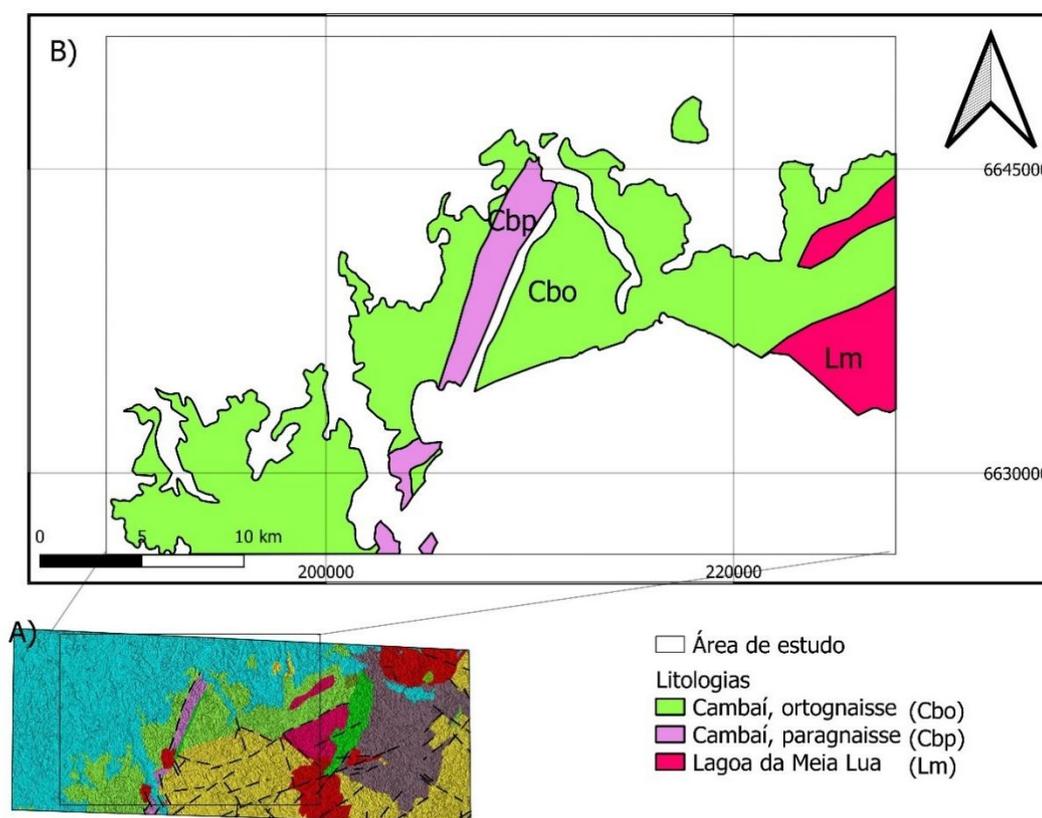
Figura 11 – Mapa com as variações altimétricas (Modelo Digital de Elevação) e estruturas delineadas.



FONTE: modificado de Sentinel – 2 e CPRM (2019).

A partir do MDE gerado para a área sotoposta e análise da geologia a partir do mapa geológico (Figura 12) optou-se por condensar a área de estudo na parte em que há ocorrência de corpos básicos ultrabásicos no qual poderão ter maior expressividade em respostas de aeromagnetometria como as rochas pertencentes ao Complexo Cambaí. Seguindo essa linha, as análises e produtos gerados foram concentrados nessa localidade e as unidades litológicas receberam abreviaturas de Complexo Cambaí, ortognaisse (Cbo), Complexo Cambaí, paragnaisse (Cbp), Suíte Intrusiva Lagoa da Meio Lua (Lm), Bacia do Camaquã (BC) e Cobertura Fanerozoica correspondente a Bacia do Paraná (BP).

Figura 12 - A) Mapa geológico-estrutural da região de estudo. B) Mapa com ênfase nas litologias básicas ultrabásicas e área alvo delimitada pelo polígono menor.



FONTE: modificado de Sentinel – 2 e CPRM (2019).

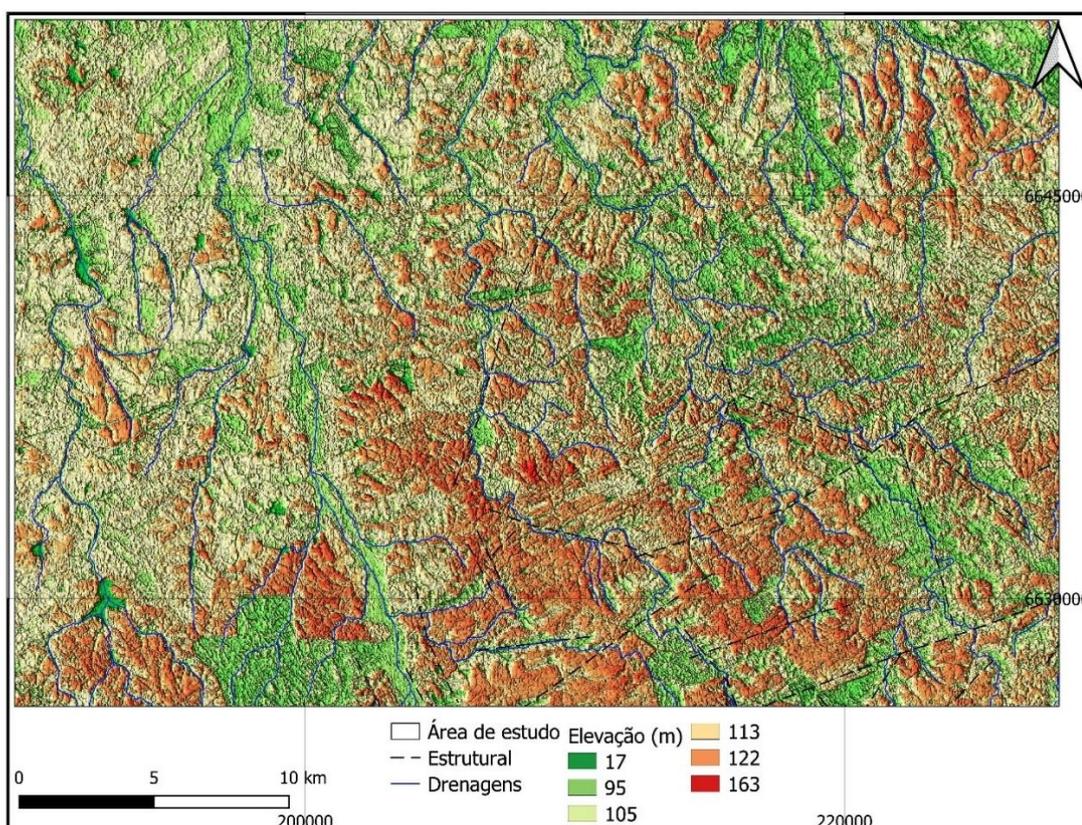
Feito isso, parte-se para o processo de sobreposição de dados como os limites geológicos já pré-conhecidos superficialmente por estudos anteriores de autores consagrados e lineamentos estruturais sotopostos a área analisa-se as características geomorfológicas e lito estruturais.

7.1.3 Drenagens

A área alvo está inserida dentro da Região Hidrográfica do Guaíba dentro da bacia hidrográfica Vacacaí-Vacacaí-Mirin. A hidrografia de uma localidade é um dos importantes elementos que compõem a fisiografia juntamente com a vegetação, solo e dentre outras. Para a geologia estrutural e geomorfologia as drenagens são cruciais na tomada de decisões, como a delimitação do controle estrutural, estruturas de primeira, segunda e terceira ordem, separação de regiões com características sistemáticas que exibem frequência e que diferem em algum ponto de outra região. Portanto, a inclusão da hidrografia no MDE (Figura 13) auxilia a elucidar os fenômenos lito estruturais e domínios geomorfológicos da área.

Os principais rios da região possuem sentido de norte a sul, com bastante meandros moderados e tributários com alta frequência de meandros. Um dos principais rios entrecorta a área de NNW a SSE e apresenta curso perene com ocorrências de meandro suaves em seu percurso. A rede de drenagens secundária é mais intensamente adensada na porção leste da área, com sinuosidade mista e angulosidade média em comparação ao oeste.

Figura 13 - Mapa da variação altimétrica (Modelo Digital de Elevação) integrado a drenagens e estruturas da área.

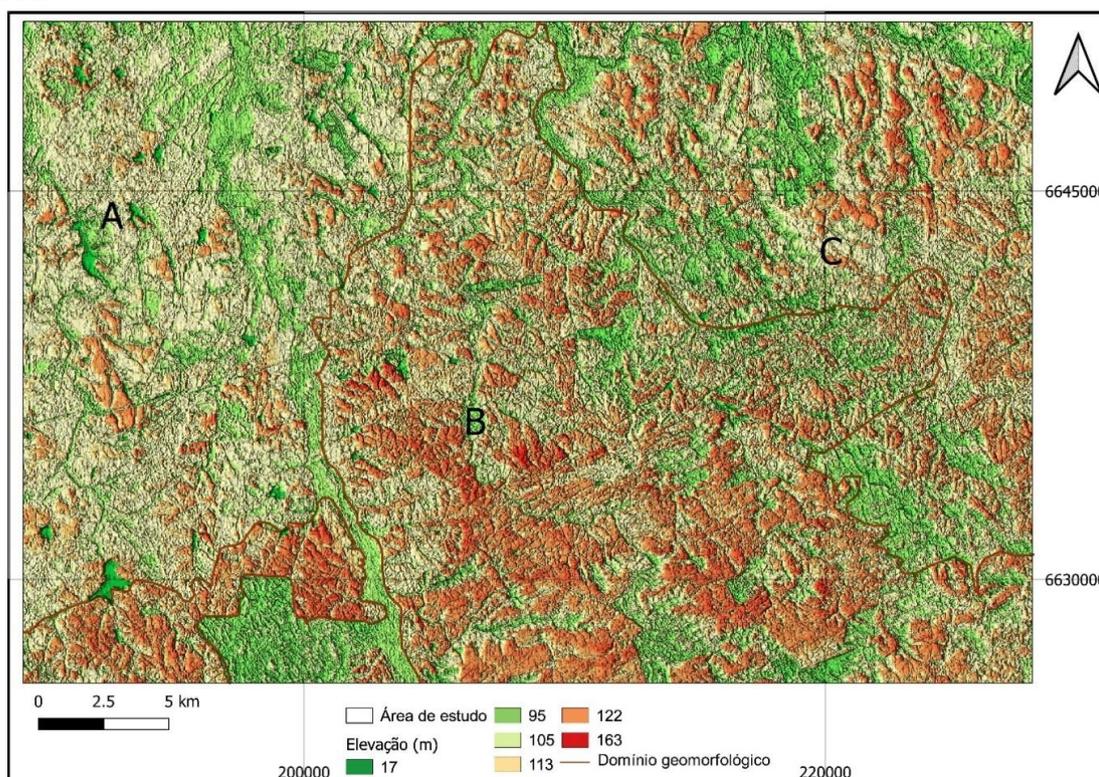


FONTE: modificado de Sentinel – 2 e CPRM (2019).

Em linhas gerais, qualquer feição positiva ou negativa, contínua e homogênea, delimitada por rupturas de declive e identificável na imagem pode ser definida como elemento textural de relevo (atentando-se aos elementos antrópicos). Para este estudo elementos como: direção e geometria de lineações e sua frequência, alinhamentos, quebras positivas e negativas e forma das vertentes, são analisados concomitantemente as drenagens principais e seus cursos.

A partir do MDE confeccionado da base de imagens da missão Sentinel -2 foi possível verificar que o relevo local varia de 18 m até 163 m em relação ao nível do mar, ou seja, com amplitude topográfica de 145 m. Atentando-se ao fato de possível correlação geológica e geomorfológica além das informações hidrográficas expostas, a geomorfologia pode ser subdividida em diferentes domínios. Seguindo os ditames acima, no que tange a frequência de lineamentos, acumulação de altos e baixos topográficos padrões de forma e distribuição de drenagens, partimentou-se a área em três domínios geomorfológicos distintos (Figura 14) chamados de A, B e C.

Figura 14 – Mapa da variação altimétrica (Modelo Digital de Elevação) com domínios geomorfológicos da área.



FONTE: modificado de Sentinel – 2 e CPRM (2019).

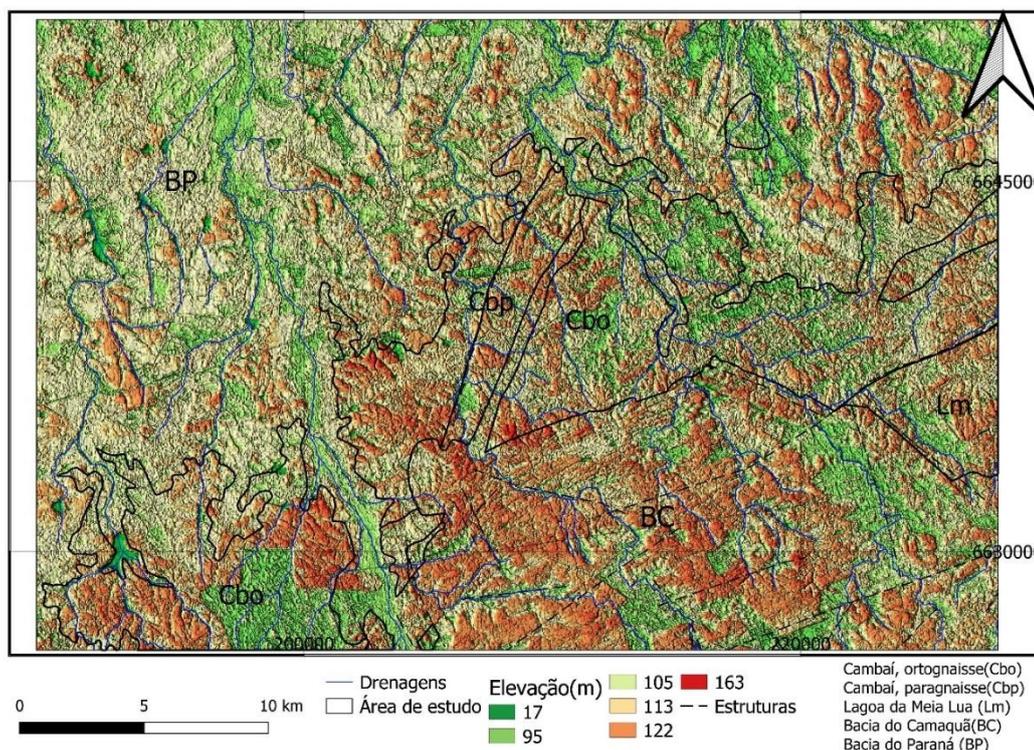
O domínio A correspondente a região NW apresenta menores altitudes em relação ao domínio B. Esse, é mais aplainado e contém poucos picos expressivos e

tem seu limite com o domínio B balizado através de um canal de rio, caracterizando um declive no relevo de notável expressão. Está localizado sobre as rochas da Bacia do Paraná mais recentes entre as litologias da área.

O domínio B corresponde à região central da área de estudo, contendo as maiores cotas no contexto da área. Em sua porção superior apresenta picos esparsos entre si com baixos topográficos marcados por reentrâncias que marcam erosão com padrões meandranes portadores de drenagens. Na porção inferior do domínio B se nota a presença de altos topográficos frequentes com queda abruptas de relevo percebidas pelos declives negativos e positivos evidentes além da presença de linha de direção NE-SW com frequência de repetição com lateralidade entre si localizadas em cima das litologias vulcânicas da Bacia do Camaquã. A transição do domínio B para o C é caracterizada por diferenças altimétricas graduais. Este último possui alguns altos entrecortados por baixos topográficos curvos de direção N-S com padrão meandrante e com frequência de repetição expressiva.

Os limites das litologias básicas ultrabásicas do Complexo Cambaí ortognaisse e Complexo Cambaí paragnaisse, Cbo e Cbp, respectivamente, são a fronteira das altimetrias mais elevadas para as menores (Figura 15). Apesar de o domínio sul da área ter a média geral de elevação maior do que o norte, as principais elevações podem ser encontradas na parte central da área, passando dos 120 m. Ainda, no domínio sul da área a SE as quedas de relevo intra-área é acentuada sugerindo lineamentos entre as feições com orientação NE-SW e NW-SE.

Figura 15 - Mapa da variação altimétrica (Modelo Digital de Elevação) e limites lito estruturais das feições geofisiográficas integrado.



FONTE: modificado de Sentinel – 2 e CPRM (2019).

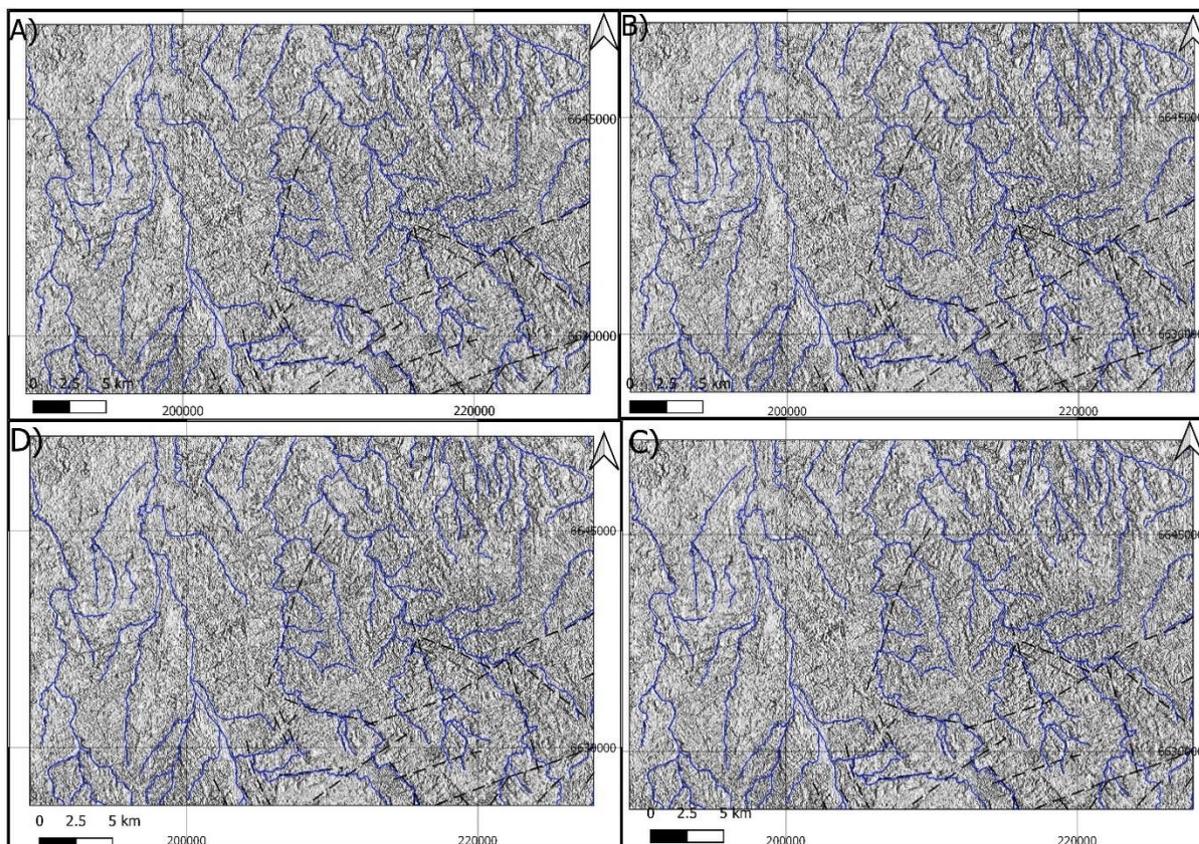
7.2 Análise Morfoestrutural

Baseado no mapa morfoestrutural de relevo sombreado, elaborado a partir da imagem Sentinel-2, foram traçados mais de 45 lineamentos morfoestruturais que compreendem cristas e vales alinhados, além de drenagens, compondo a estrutura atual do relevo da área de estudo. O resultado da roseta gerada indica a direção preferencial dos lineamentos NE-SW, e secundários de direção NWW-SEE.

A propriedade de sombreamento de uma imagem permite ao observador reconhecer, delimitar, ajustar e comparar estruturas presentes em uma área alvo de acordo com a escala permitida. Para identificação dos lineamentos da área estudada, seguiu-se, com algumas modificações como filtros de redução ao polo em conjunto a inclinação do sinal analítico em escala de cinza, amplitude do sinal analítico e gradiente horizontal total, os procedimentos propostos por Riccomini e Crosta (1988) e Liu (1984). Com o intuito de agraciar uma gama de feições estruturais, foram produzidos mapas sombreados (Figura 16) com exagero vertical em Z de 5 vezes e rotação de visada para diferentes ângulos a fim de se obter uma percepção de texturas

horizontais, verticais e diagonais e compará-las com as estruturas já mapeadas por bases de dados consagrados.

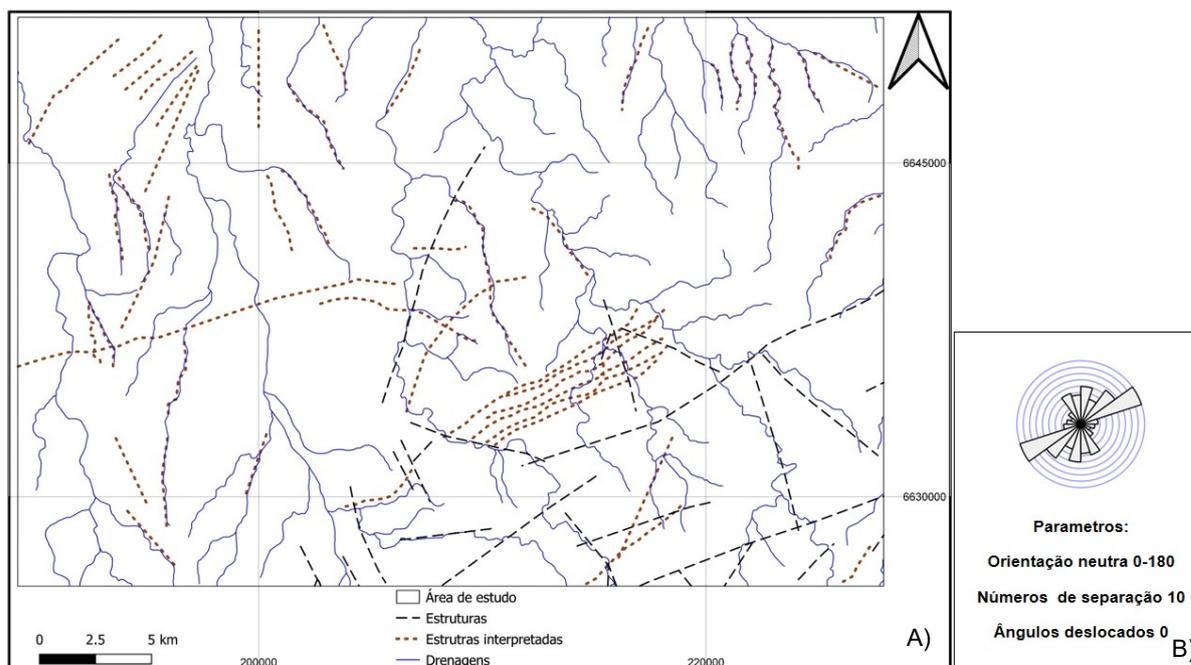
Figura 16 - Mapas sombreados com informações hidro estruturais da área. Em A) modelo sombreado a 180 graus; B) modelo sombreado a 270 graus; C) modelo sombreado a 90 graus e D) modelo sombreado a 360 graus.



FONTE: modificado de Sentinel – 2 e CPRM (2019).

Com o intuito de se delimitar e reanalisar as estruturas identificadas na área partindo da fisiografia e elevação, fez-se a extração qualitativa de feições lineares, impostas a morfologia superficial e exposição da relação com as drenagens, onde se tem um arranjo estatístico destas feições separadas em dois grupos distintos. No primeiro se verifica uma grande quantidade de feições que possuem tendências direcionais a NE-SW agrupadas paralelamente e com frequência de ocorrência consistente. O segundo possui uma quantidade minoritária com direção NW-SE distribuídas espaçadamente, como mostrado no mapa com diagrama de estruturas interpretadas (Figura 17A e B), distinguidos nestes dois conjuntos principais de direções.

Figura 17 - A) Mapa hidro estrutural comparativo de estruturas da literatura e estruturas interpretadas. B) Direções preferenciais das estruturas reconhecidas - diagrama de roseta.



FONTE: modificado de Sentinel – 2 e CPRM (2019).

7.3 Aerogeofísica

Os levantamentos aéreos de magnetometria, método potencial, satisfazem bem a função de análises feitas a caráter regional, mesmo que possuam espaçamentos entre as linhas de voo e altitudes altas que resultem em baixa resolução (GUNN e DENTITH, 1997). Logo realiza-se o tratamento dos dados magnetométricos adequados no qual possibilitem a geração de mapas para que permitam a visualização e a interpretação de estruturas da área de estudo, com a aplicação de filtros com o propósito de realçar, atenuar ou eliminar feições. Afinal, os mapas de aeromagnetometrias podem ressaltar aos olhos as anomalias magnéticas geradas a partir dos componentes mineralógicos dos corpos rochosos e material superficial disseminados ao longo da área de interesse.

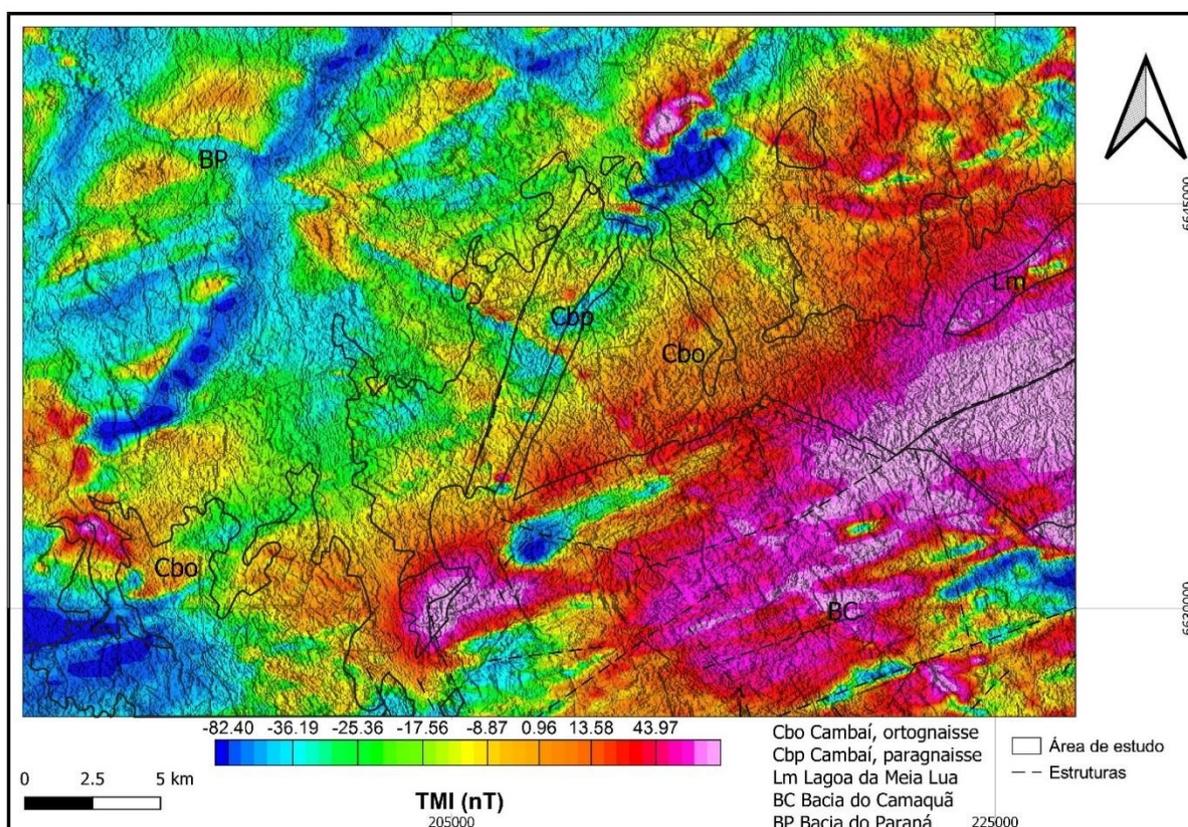
7.3.1 Produtos Magnetométricos

O campo magnético anômalo é o produto inicial tomado como referência em quase todos os processos e transformações posteriores (Figura 18). Refere-se ao campo magnético total reduzido do Campo Geomagnético de Referência Internacional (IGRF). Representa as anomalias geradas pela indução do campo magnético nas

porções da crosta terrestre acima da temperatura de Curie. A partir deste produto, é possível obter valores referentes às derivadas horizontais e verticais utilizadas para processamentos posteriores como as imagens da amplitude do sinal analítico (NABIGHIAN, 1972), da amplitude do gradiente horizontal total (SALEM *et al.*, 2008) e da inclinação do sinal analítico (MILLER & SINGH, 1994; SALEM *et al.* 2008). A rotina de processamento e interpretação dos dados magnéticos seguiu, modificadamente, a linha apresentada de Blumm (1999).

As observações iniciais obtidas a partir dos dados do Campo Magnético Anômalo Total (CMAT) são a presença de uma amplitude do sinal de grande extensão na região SE da área e ocorrências de picos arredondados de menos extensão a NE e SW próximos aos limites geológicos de Cbo e Cbp.

Figura 18 - Mapa das variações magnéticas de Campo Magnético Anômalo Total (*Total Magnetic Induced Field – TMI*). Linhas pretas delimitam os corpos básicos e ultrabásicos.

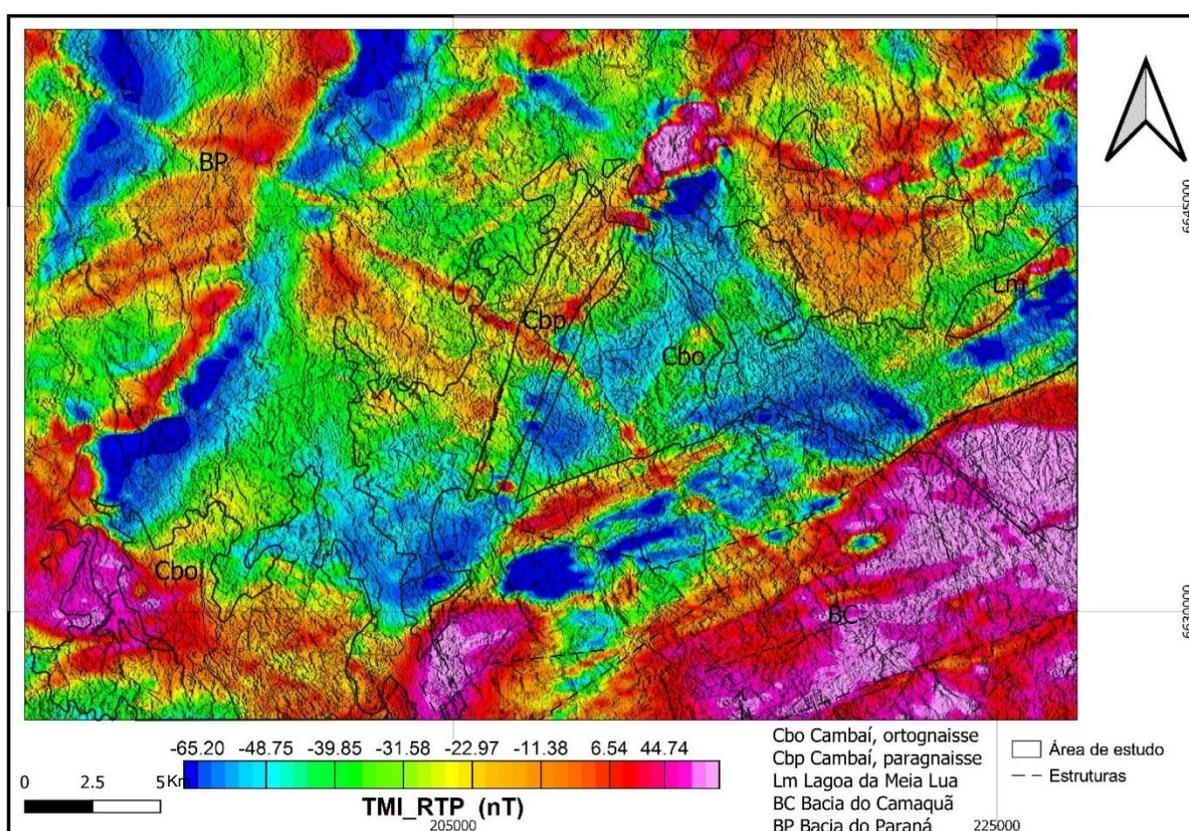


FONTE: modificado de Sentinel – 2 e CPRM (2010, 2019).

A aplicação do filtro de redução ao pólo, vem no sentido de situar as anomalias o mais próximo possível das fontes magnéticas que as causaram. O objetivo do filtro é tornar as anomalias únicas, ou seja, sem os pares positivos e negativos, comuns às anomalias magnéticas. Em regiões próximas ao equador magnético essa operação

pode não ser bem-sucedida, em função da instabilidade do filtro em latitude zero, (BLUMM, 1999). Quanto a resposta obtida da intensidade magnética a partir do mapa do campo magnético anômalo (CMA), cujos dados foram reduzidos ao pólo (Baranov, 1957) os valores submetidos a Redução Total ao Pólo (RTP) (Figura 19), para as litologias na porção SE exibem consideráveis anomalias magnéticas com extensão expressiva, além de valores altos com geometria arredondada nos limites das litologias Cbo e Cbp. Enquanto a porção norte e central exibem anomalias intermediárias a baixas com geometria alongada para NE-SW.

Figura 19 - Mapa das variações magnéticas submetidas a Redução Total ao Polo (*Total Magnetic Induced Field –TMI*). Linhas pretas delimitam os corpos básicos e ultrabásicos.

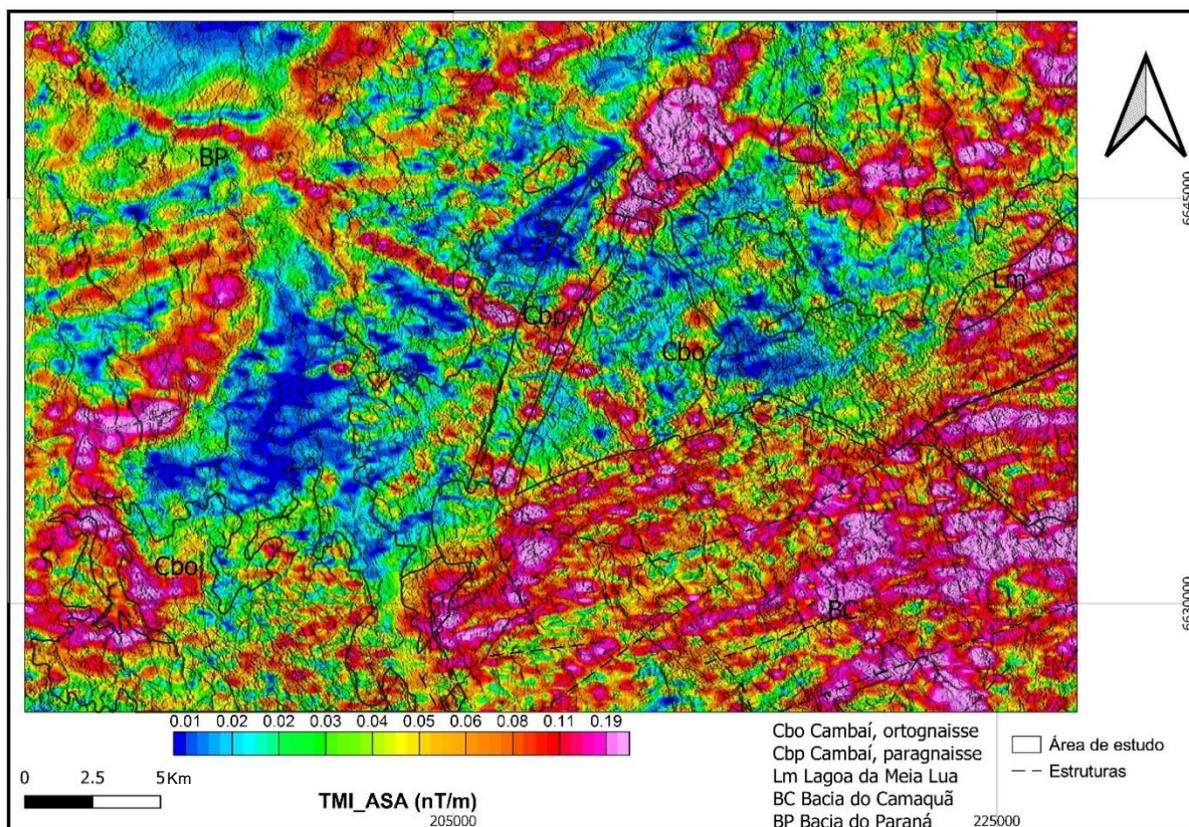


FONTE: modificado de Sentinel – 2 e CPRM (2010, 2019).

O mapa Amplitude do Sinal Analítico (ASA) apresenta o dado monopolar, isso permite determinar limites geológicos e estruturais e a profundidade e o topo de corpos geológicos (THOMPSON, 1982), e apresenta o dado geofísico independente do campo magnético da Terra e da direção de magnetização da fonte (ROEST *et al.*, 1992), portanto, é o meio eficiente para análise geométrica 2D. O mapa ASA exhibe as anomalias geofísicas projetadas em superfície, o que fornece informações das estruturas que se encontram em profundidade, permitindo o reconhecimento e a

interpretação. Quanto à amplitude do sinal magnético neste, são observadas amplitudes menores na maior parte da região norte (Figura 20) com exceção de duas faixas alongadas que se cruzam. Em contrapartida para a região sul da área, as amplitudes tendem a ser de picos altos pertencentes à BC. A porção central referente às litologias Cbo e Cbp apresentam picos anômalos negativos.

Figura 20 - Mapa das variações da Amplitude do Sinal Analítico (*Total Magnetic Induced Field – TMI*). Linhas pretas delimitam os corpos básicos e ultrabásicos.

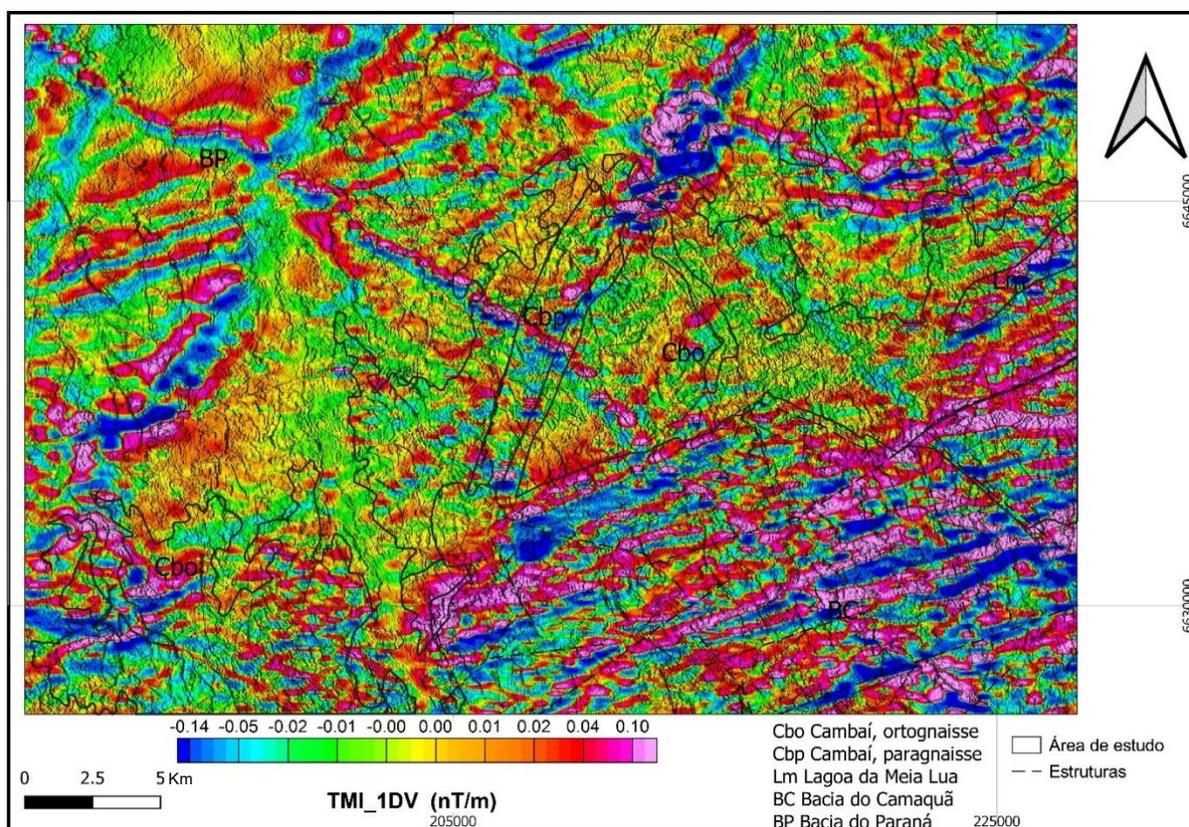


FONTE: modificado de Sentinel – 2 e CPRM (2010, 2019).

Quanto aos demais contrastes anômalos observados, a Primeira Derivada Vertical (1DV) pode ser expressa como o equivalente a medida do campo magnético simultâneo em dois pontos verticalmente um acima do outro (Figura 21), subtraindo os dados e dividindo o resultado pela separação espacial vertical dos pontos medidos (MILLIGAN & GUNN, 1997). Esta transformação realça as altas frequências, o que elimina os efeitos de grandes comprimentos de ondas regionais. Os valores apresentados para a 1DV na região da BC encontram-se orientados na direção NE-SW, concordantes com os lineamentos e falhas observados pela litologia e com alguns valores alongados transversais a aqueles com orientação NW-SE cujo estendem-se para além da BP e que se destacam e concordam com lineamentos transversais as

litologias Cbo e Cbp. O domínio central e norte da área valores medianos com alguns picos arredondados ocasionais.

Figura 21 - Mapa das variações magnéticas submetidas à Primeira Derivada Vertical (*Total Magnetic Induced Field –TMI*). Linhas pretas delimitam os corpos básicos e ultrabásicos.



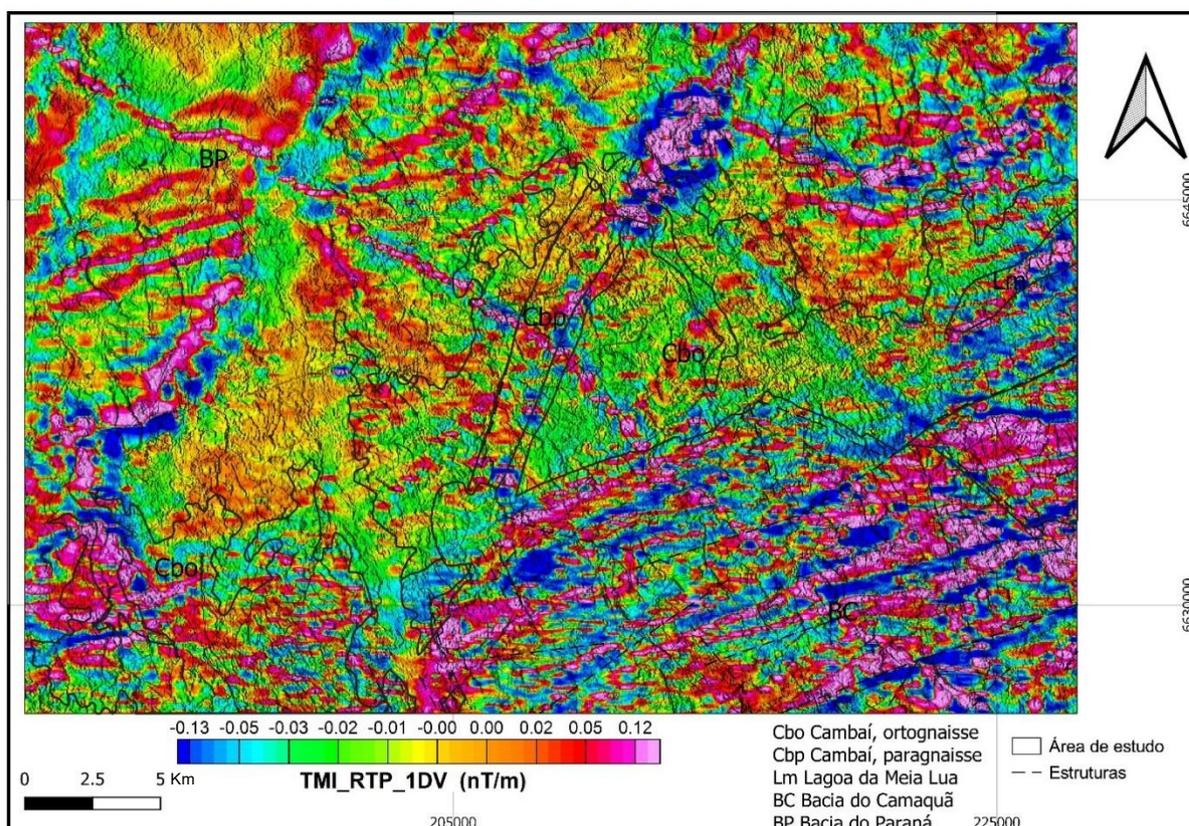
FONTE: modificado de Sentinel – 2 e CPRM (2010, 2019).

A partir dos mapas de anomalia aerogeofísicos acima, foram gerados produtos combinados entre eles mesmo e adicionado mais alguns com informações preciosas para o este estudo como novos limites e estruturas.

Gerou-se mapas de RTP combinados a 1DV para elucidações quanto as estruturas presentes (Figura 22); e combinações de outros filtros e processamentos aerogeofísicos como os de Gradiente Horizontal Total (GHT) e Inclinação do Sinal Analítico (ISA) para aguçar as observação e informações acerca da borda e centro dos corpos e otimização da distinção entre os domínios lito-geofísicos.

Os picos anômalos expressivos são registrados na porção correspondente à BC com orientação NE-SW além de que a porção SW da área de estudo contém pico expressivo alongado para N-S e nota-se ainda um pico de geometria arredondado na porção NNE no limite das litologia básicas ultrabásicas.

Figura 22 - Mapa das variações magnéticas submetidas a Redução Total ao Polo e a Primeira Derivada Vertical (*Total Magnetic Induced Field –TMI*). Linhas pretas delimitam os corpos básicos e ultrabásicos.

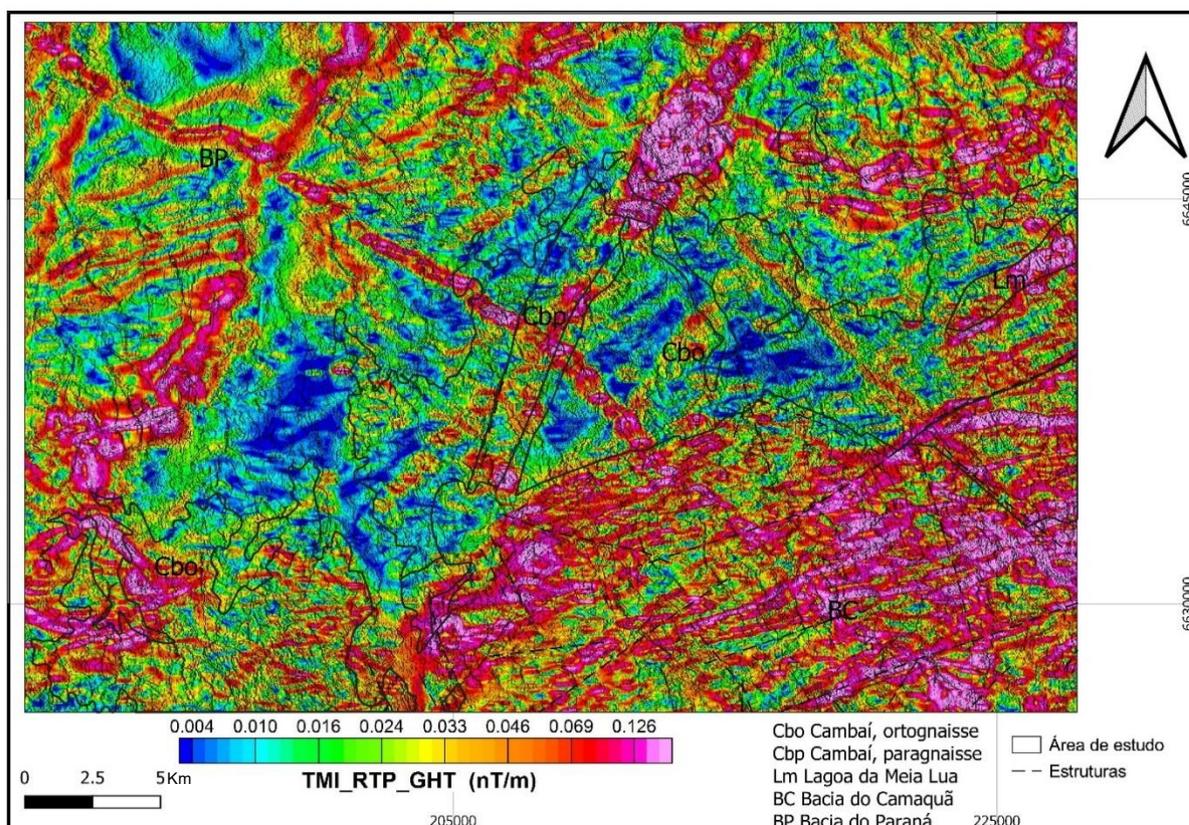


FONTE: modificado de Sentinel – 2 e CPRM (2010, 2019).

A Inclinação do Sinal Analítico (ASA), também conhecido como *tilt* de campo potencial (MILLER & SINGH, 1994), é o arcotangente da razão da primeira derivada vertical (1DV) com o módulo da derivada horizontal total – Gradiente Horizontal GHT. É usado para detectar a presença das fontes das anomalias do campo potencial e fornecer a informação de sua extensão horizontal. Produz padrões similares à primeira derivada vertical, porém tem uma característica única ao propor uma equalização quanto às respostas das fontes mais profundas e mais rasas. O mapa de RTP-GHT (Figura 23) exhibe as diferenças de domínios estruturais com clareza e mostra as famílias de lineamentos que atravessam a área de estudo com orientação NW-SE e a família de estruturas que pertence a porção SE correspondente à BC. Outros picos anômalos são identificados com localização similar aos mapas anteriores como a faixa alongada a SW da área, e a anomalia de geometria arredondada a NNE da área. Porém a localização das anomalias sobre os corpos causativa é apresentada com limites mais nítidos propiciando informações com maior precisão a respeito dos limites

dos corpos, como o sinal na porção central correspondente Cbo e Cbp em relação ao sudeste correspondente à BC, além da coloração ser um diferencial o padrão geométrico e a frequência mudam drasticamente, neste mapa, quando comparado aos outros.

Figura 23 - Mapa das variações magnéticas submetidas a Redução Total ao Polo e Gradiente Horizontal Total (*Total Magnetic Induced Field –TMI*). Linhas pretas delimitam os corpos básicos e ultrabásicos.

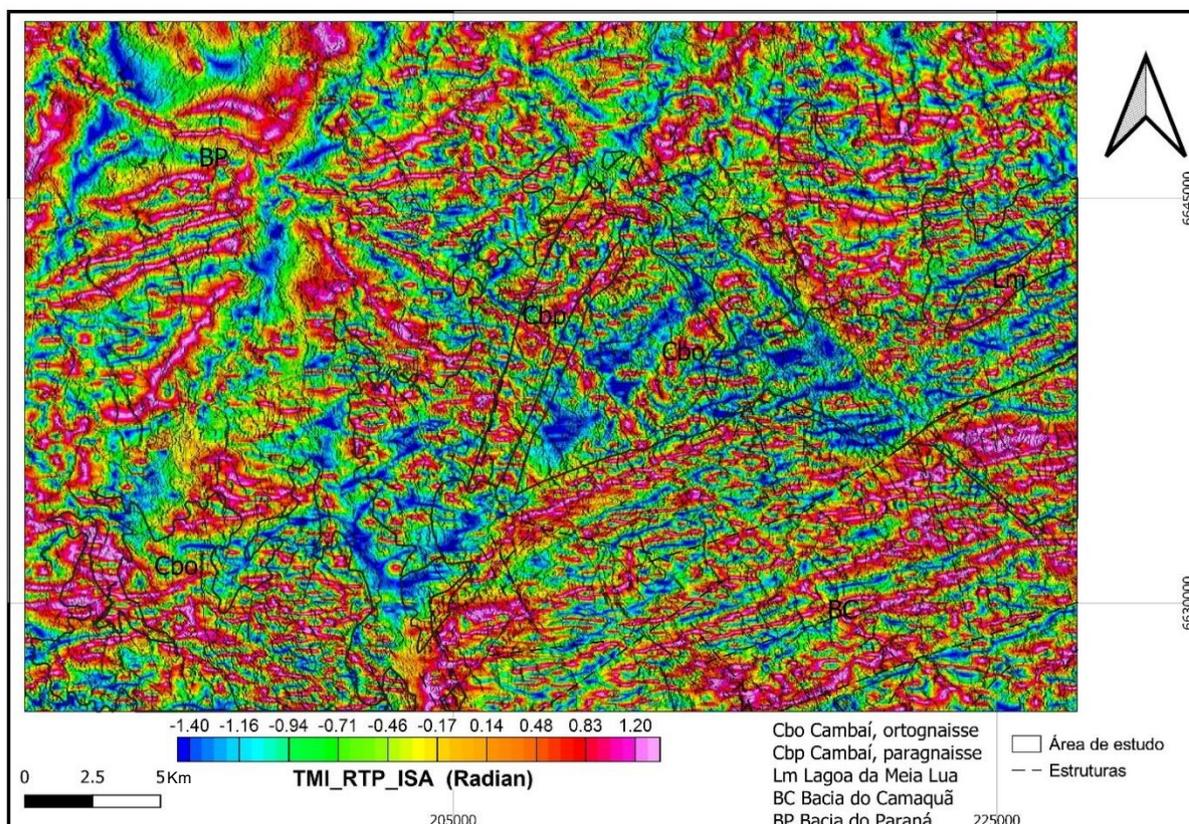


FONTE: modificado de Sentinel – 2 e CPRM (2010, 2019).

Nota-se que o mapa de RTP-ISA (Figura 24) demonstra que o domínio NW apresenta lineamento radiais, a porção central apresenta picos anômalos negativos e positivos randômicos e a porção SE da área apresenta lineamentos orientados NE-SW além de possuir um limite claro entre a BC e Cbo-Cbp verificado pela mudança entre os padrões estruturais e predominância de sinais altos nas estruturas de BC. A porção central localizada sobre a litologia Cbo, possui picos anômalos negativos significativos, além de que a geometria dos sinais possui um padrão dendrítico, diferentemente do padrão geométrico do sinal presente nas litologias da BC cujo são contínuos e alongados. Os limites das estruturas e suas geometrias ficam evidentes

e a diminuição significativa com esse processamento permite a delimitação de lineamentos presentes na área.

Figura 24 - Mapa das variações magnéticas submetidas a Redução Total ao Polo e Inclinação do Sinal Analítico (*Total Magnetic Induced Field –TMI*). Linhas pretas delimitam os corpos básicos e ultrabásicos.



FONTE: modificado de Sentinel – 2 e CPRM (2010, 2019).

8 INTEGRAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS

A análise qualitativa de dados geofísicos tem a intenção de apresentar resultados descritivos, envolvendo a caracterização e duas dimensões de padrões, texturas e cor dos mapas geofísicos, essenciais para o esboço do controle estrutural, classificando-os em distintos subconjuntos, a fim de se estabelecer uma correlação com o contexto geológico (DENTITH e MUDGE, 2014). Além disso, os lineamentos geofísicos também propõem essa relação com os dados estruturais da área de estudo. Portanto, o exposto abaixo é dedicado à análise geofísica qualitativa e morfoestrutural, com a apresentação e descrição dos mapas temáticos, resultado do tratamento dos dados geofísicos e avaliação dos lineamentos magnetométricos.

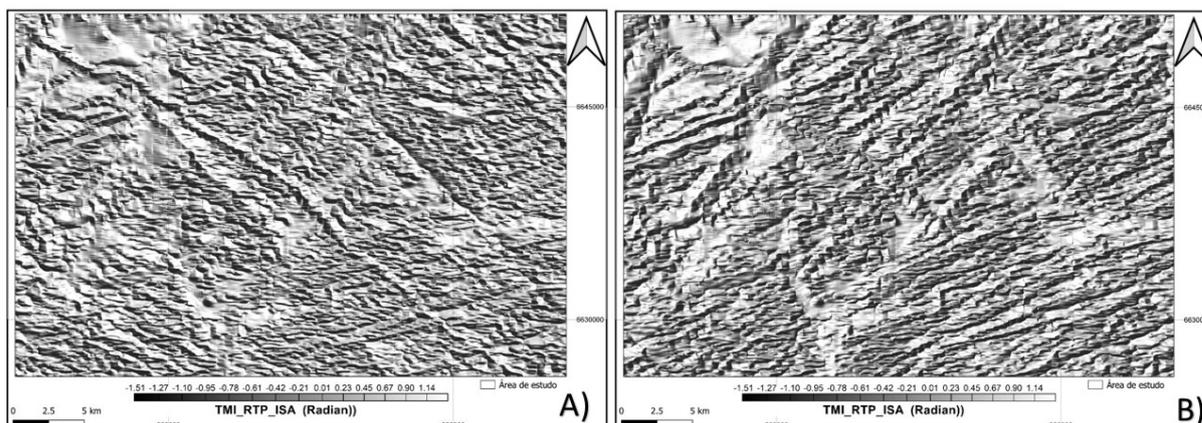
A análise magnetométrica neste trabalho decorre de uma base de dados de levantamentos magnetométricos aerotransportados e a elaboração dos mapas foi feita

a partir da metodologia descrita em Blumm (1999) e Ramos *et al.* (2015), tratados com o processamento de filtros, a fim de destacar as anomalias. Os mapas magnetométricos foram gerados para uma área menor que a área de estudo a priori, pois as litologias de interesse com resposta significativas estavam centralizadas na área. O tratamento dos dados magnetométricos possibilitou a geração de mapas para que permitisse a visualização e a interpretação de estruturas da área de estudo, com a aplicação de filtros com o propósito de realçar, atenuar ou eliminar feições.

Por esse motivo, a interpretação magnetométrica qualitativa da área fundamentou-se principalmente na análise do mapa de Redução Total ao Pólo-Inclinação do Sinal Analítico com relevo sombreado em escala de cinza cujo mostra-se melhor no traçado de lineamentos e interpretação do arranjo estrutural espacial. O estudo das anomalias foi realizado a partir da delimitação e classificação em sistemas de estruturas diferentes baseados em seus padrões, orientação, frequência de repetições e geometria. Afinal, as respostas desse filtro em dados magnetométricos reduzidos ao polo possuem seus picos exatamente sobre o centro do corpo, caindo para zero sobre as proximidades dos limites do corpo anômalo sendo um método de destaque de anomalias (COOPER & COWAN, 2008).

Os dados aerogeofísicos e respectivos mapas de isocontornos obtidos foram integrados aos limites dos corpos geológicos básicos e ultrabásicos da área. Adotou-se realce de relevo por meio de sombreado (Figura 25 A e B) com 45 e 300° com finalidade de assinalar os lineamentos geofísicos e lineamentos morfométricos, a determinação das fácies geofísicas e o traçado dos lineamentos, com a geração de roseta de direções preferenciais dos lineamentos. Otimizando a visualização, análise e interpretação das estruturas relacionadas às litologias e elevação.

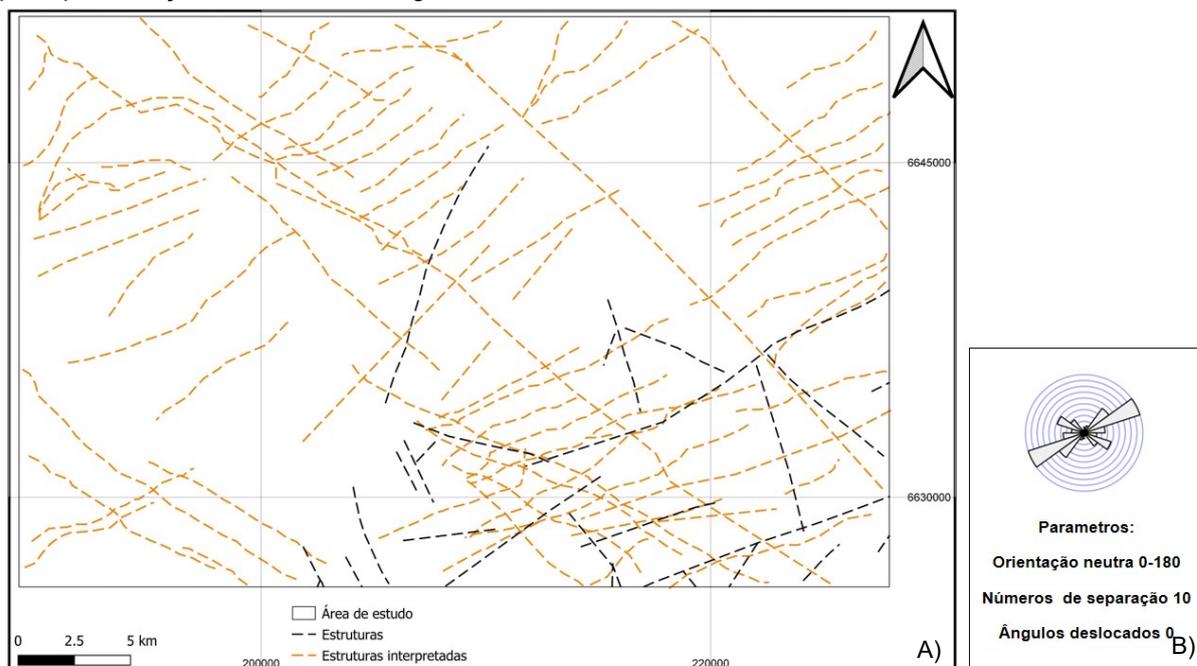
Figura 25 - Mapa das variações magnéticas submetidas a Redução Total ao Polo e Inclinação do Sinal Analítico (*Total Magnetic Induced Field –TMI*) em escala de cinza sombreados. Em A) azimute de visada a 45 graus e B) azimute de visada a 300 graus.



FONTE: modificado de CPRM (2010).

Através de uma análise qualitativa do campo magnético anômalo e suas transformações, constata-se que a área de estudo apresenta um padrão estrutural caracterizado por dois conjuntos de lineamentos principais de acordo com a extensão. Foram analisados a disposição desses traços estruturais na área. No mapa RTP-ISA sombreados foram traçados mais de 75 lineamentos relacionados às anomalias magnéticas, plotados no *software* QGIS 3.10.4, com a geração de uma roseta de direção preferencial NE-SW, aproximadamente. Assim foram comparados aos lineamentos de base dados anteriores (Figura 26 A e B) a fim de consolidar o entendimento a respeito da estrutural da região.

Figura 26 - A) Mapa de estruturas interpretadas vs estruturas da literatura e B) são apresentadas as principais direções detectadas -diagrama de roseta.



FONTE: modificado de CPRM (2010).

Compilando dados estruturais extraídos das análises morfométricas das imagens Sentinel-2 sombreadas e em formato de MDE juntamente com os mapas de relevo sombreado de aeromagnetometria filtrados para RTP-ISA produziu-se mapa do *trend* estrutural da área dividindo as estruturas e conjuntos de acordo com seu padrão e orientação principal a fim de permitir a correlação com a geologia da região.

8.1 Direções preferenciais e domínios

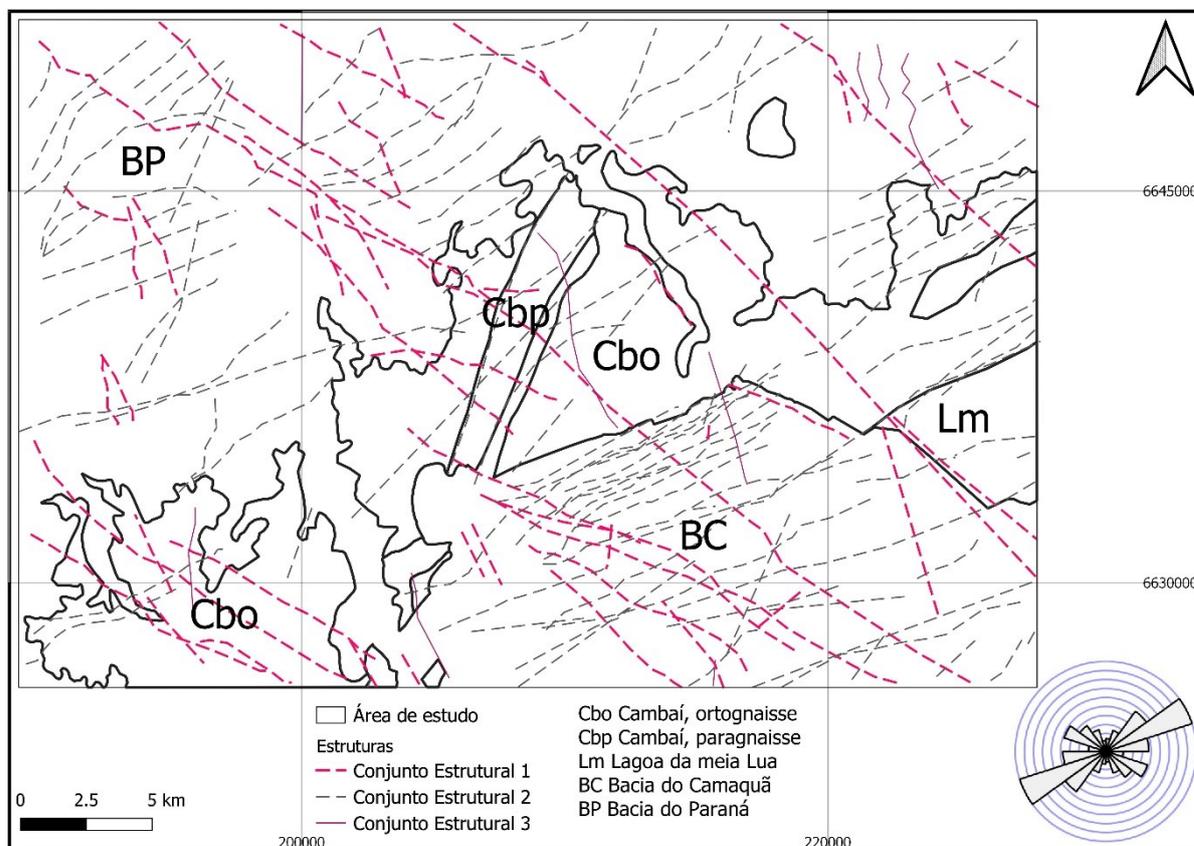
Domínio 1 direção NW-SE: é composto por três grandes descontinuidades magnéticas de direção NW-SE cujo possuem grande extensão e ocorrem em menor frequência, acompanhados de lineamentos com menor extensão localizados sobre a litologia Cbo a SW e longitudinalmente na porção central entrecortando a BC e o limite transicional da BP com as Litologias Cbo e Cbp, este Conjunto Estrutural 1 possui lineamentos paralelos entre si e transversais aos sistemas de estruturas secundário.

Domínio 2 direção NE-SW: é mais populoso e com direção preferencial NE-SW suas descontinuidades magnéticas possuem menor comprimento, porém maior frequência de ocorrência. Ocupa com expressividade, a unidade da BC a SE e se apresenta também, com significativa ocorrência a NW na unidade BP e de maneira sutil nas litologias mais antigas como Cbo, Cbp e Lm podendo, ainda, servir como

parâmetro estrutural divisório de dois domínios geológicos distintos devido ao seu padrão de ocorrência geometria e relação com o relevo.

Domínio 3 são estruturas extraídas da geomorfologia cujo seguem um padrão aproximadamente N-S correspondente as drenagens de ordem inferior meandranes, espalhadas espaçadamente na área (Figura 27).

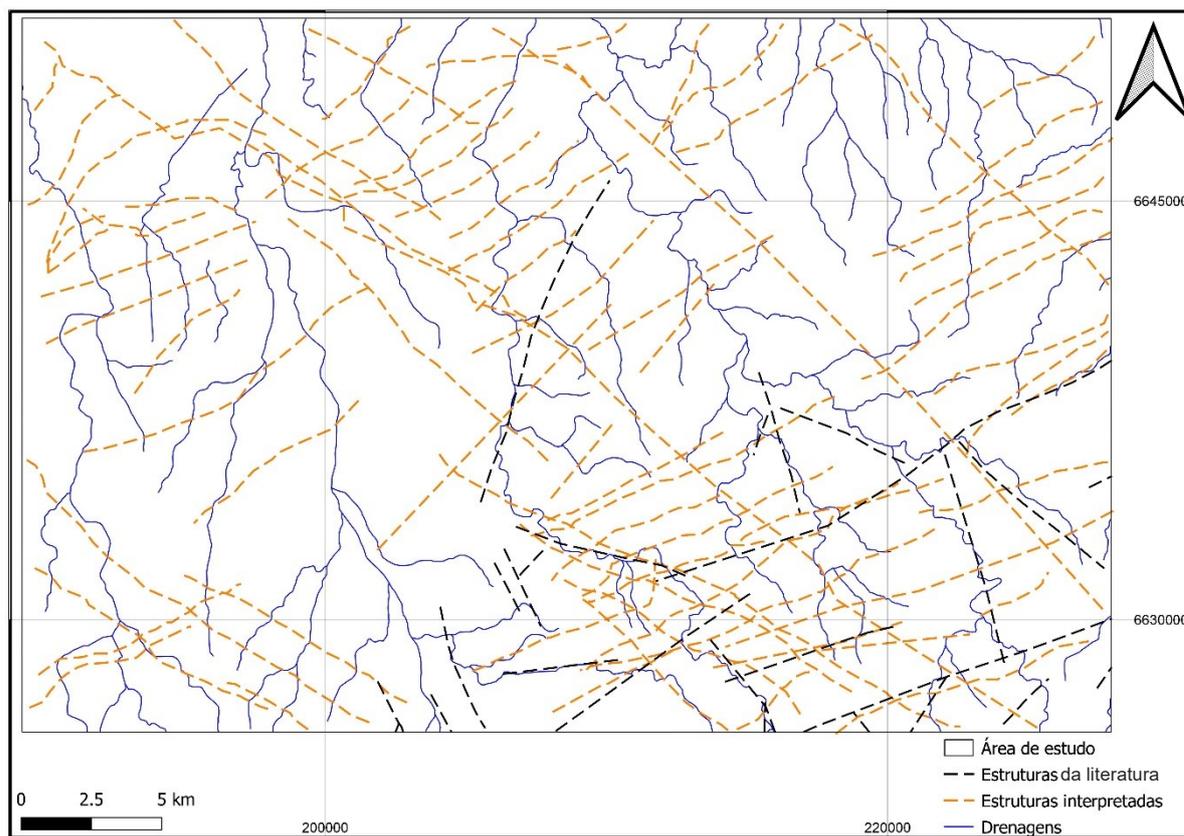
Figura 27 - Mapa do arranjo magnético- lito estrutural interpretado.



Fonte: Modificado CPRM 2019.

Para fins comparativos foi gerada uma sobreposição entre as estruturas interpretadas e as já mapeadas em projetos anteriores como da CPRM além das drenagens presentes (Figura 28). O primeiro conjunto de estruturas concorda com a direção dos corpos de drenagens principais de primeira ordem de maior extensão. O Conjunto estrutural 2 concorda com algumas das estruturas já mapeadas da área especialmente na porção SE correspondentes a BP da região e com as drenagens de ordem inferior e nas localidades onde a rede de drenagem apresenta-se mais densa como na porção central, entrecortando a área longitudinalmente.

Figura 28 - Mapa arranjo magnético-hidro-estrutural interpretado.

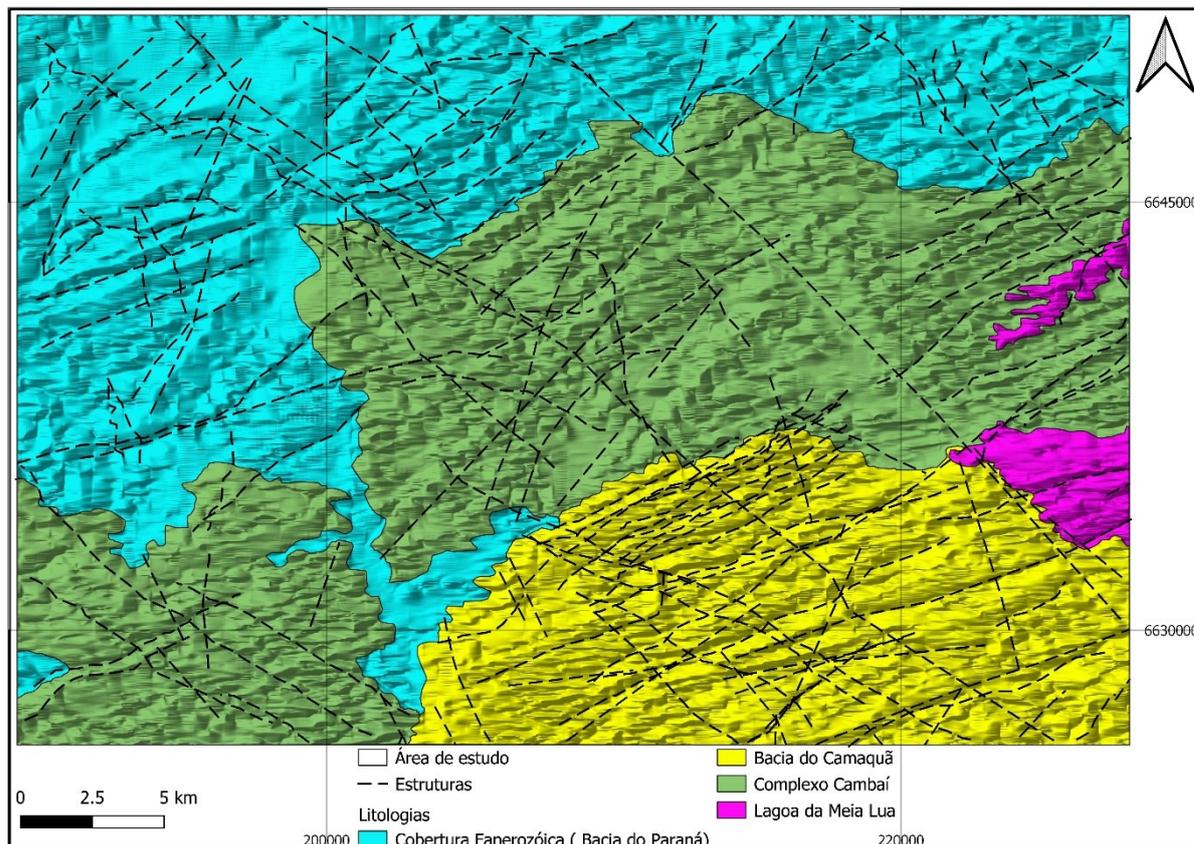


Fonte: Modificado CPRM 2019.

8.2 Mapa interpretativo - litogeofísico

Utilizando-se do modelo digital de elevação com análises morfométricas e geofisigráficas associadas, mapas geofísicos transformados e de relevo sombreado, mapas de interpretação magnética estrutural e balizando-se por limites geológicos de projetos anteriores integrados, foram delimitados os limites lito geofísicos interpretados para os respectivos domínios neste estudo. Os valores anômalos do campo magnético anômalo reduzidos ao polo com gradiente horizontal, proporcionaram os melhores contrastes na determinação destes limites balizando-se pela geomorfologia e drenagens onde havia nebulosidade a respeito no limiar. Assim, estas feições identificadas oferecem uma proposição e revisão dos limites geológicos e acresção de estruturas para essa região a partir de um mapa lito-geofísico interpretado conforme apresentado na (Figura 29).

Figura 29 - Mapa lito-geofísico interpretado a partir das anomalias geofísicas, geofisigrafia e geologia reconhecida para o local.



Fonte: modificado de CPRM (2010, 2019).

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produção de mapas aerogeofísicos integrados com informações geológicas e morfológicas é, em primeiro lugar, o somatório de recursos, tempo e disposição. Dentre os diversos motivos que levam a essa investigação, a evolução do conhecimento científico é uma das motivações para averiguação de recursos e análises com maior precisão de uma região alvo. Nessa linha, ao empregar variadas fontes e bases de dados a processamentos, filtragens, apreciações e modificações, partindo-se de técnicas que envolvam um ambiente digital, passa a ser uma metodologia que soluciona a utilização eficaz de recurso, tempo e informações para utilização em pesquisas posteriores de forma precisa e estratégica.

9.1 Análises e mapas a partir da aplicação do sensoriamento remoto

O presente estudo contribuiu para o reconhecimento estrutural e a proposição de limites com maior acuracidade e detalhe através de um mapa litogeofísico

estrutural interpretado cujo apresenta uma nova configuração para os limites litológicos e acrescenta maior riqueza ao arranjo estrutural com a delimitação de lineamentos de direções preferencias NE-SW e NW-SE subdivididos em domínios.

A aplicação da correção de altitude, denominada “fator Z”, nas imagens sentinel- 2 e geofísicas sombreadas em escala de cinza resultou na confecção de mapas de sombreamentos que ressaltam com maior precisão a geomorfologia regional e qualificou assim, as análises estruturais efetuadas com base nestas imagens. Um mapa de sombreamento como produto de um *raster* em coordenadas geográficas pode parecer normal, porém não condiz com a realidade caso não aplicada a correção. Ainda assim, as imagens de satélite em comparação com os mapas de geofísica RTP-ISA em escala de cinza sombreados, deixam a desejar no quesito de identificação e esboço de *trend* estrutural com maior riqueza de detalhes e abrangência. Todavia, o MDE foi de crucial importância para delimitação de bordas dos limites geológicos proposto, pois ele revela os limites das bordas dos corpos em função da variação fisiográfica do terreno do padrão e geometria das feições de elevação, aspecto esse que a aeromagnetometria requisitou auxílio.

9.2 Análises e mapas a partir da aplicação dos dados aerogeofísicos (magnetometria)

O *trend* estrutural NE-SW e NW-SE fortemente detalhado no mapa magnético interpretado, quando comparado ao mapa geológico da CPRM (2019), reflete uma adição expressiva das feições estruturais que incluem padrões diferenciados para as rochas pertencente à Bacia do Camaquã em comparação as do embasamento pertencentes ao Complexo Cambaí, e mais peculiares ainda para as rochas mais recentes pertencentes à Bacia do Paraná. Observou-se, de acordo com os mapas Redução Total ao Pólo e Inclinação do Sinal Analítico sombreados em escala de cinza que os lineamentos traçados que pertencem ao Domínio 1 têm direções preferenciais NW-SE com menor frequência de ocorrência, com maior continuidade e extensão e é paralelo com os padrões de drenagens principais perenes que cortam a área. Os lineamentos pertencentes ao Domínio 2 tem direção preferencial NE-SW, tem frequência e adensamento maior em regiões específicas e apresenta-se paralelo aos canais tributários secundários das drenagens com maior frequência de ocorrência, porém geometria menor.

Os mapas do Gradiente Horizontal Total e Redução Total ao Pólo (Figura 23) mostram uma boa correlação com as estruturas de superfície, mas apresenta-se melhor na delimitação dos limites geológicos propostos por exibir uma diferença de cores amigável aos olhos. Combinado ao MDE e sua análise geomorfológica como padrões topográficos, texturas e adensamento, demonstram eficácia e atendem bem a demanda de delimitação para uma escala como essa.

Os mapas aeromagnéticos da Inclinação do Sinal Analítico (ISA) Reduzidos ao Polo (RTP) (Figura 24) possibilitaram a delimitação do arcabouço magnético-estrutural da área de estudo, corroborando falhas e contatos indicados no mapa geológico e, principalmente, contribuindo para a definição de novas estruturas, que denotam uma malha estrutural relativamente densa na unidade da BC e BP na porção norte correlacionada as drenagens secundárias.

Essa abordagem de estudo adotada nesta pesquisa tem relevante importância no conhecimento geológico de um local, pois a integração de dados de sensoriamento remoto e aerogeofísica tem natureza de fácil acesso e sem custos ou muito baixos, apesar de demandar tempo, e que são reaproveitadas em grande parte dos projetos posteriores. Desta forma, esta pesquisa também buscou despertar o interesse a investigações futuras análogas empregando os dados disponíveis, reconhecendo o trabalho realizados pelos órgãos responsáveis em gerar e compartilhar o acesso à informação.

Sugere-se um levantamento magnetométrico terrestre a fim de se gerar um melhor detalhamento da geofísica além, da realização de campos geológico-estrutural para confirmação das estruturas traçadas. E a realização de uma pesquisa com adição de mais um método geofísico como a gamaespectometria para melhor acuracidade quanto aos limites geológicos propostos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, D. P. M., PAIM, P. S. G., VIEIRA Jr, N. **Petrologia do vulcanismo Eopaleozóico das bacias do Camaquã e Santa Bárbara, RS.** WORKSHOP sobre as bacias molássicas brasileiras, 1, São Leopoldo. *Boletim de Resumos Expandidos*. UNISINOS, São Leopoldo, p. 16-22.1992.
- ALMEIDA, F. F. M. **Diferenciação tectônica da Plataforma Brasileira.** Congresso Brasileiro de Geologia, 23. *Anais*, v.1, p. 24-46.1969.
- ALMEIDA, F. F. M., HASSUI, Y., BRITO NEVES, B. B., FUNK R. A. **Brazilian structural provinces: an introduction.** *Earth Science Reviews*, v.17, p.1-29.1981.
- ALMEIDA, F.F.M. de. 1976. **The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil.** *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 48 (supl.), p. 15-26. (*Proceedings of the International Symposium on Continental Margins of Atlantic Type, October 1975*).
- Almeida, T.; Silva, E.D. da; Silva Júnior, J.P. da; Meneses, P.R. **Confecção de Carta Especial Aeronáutica de Pilotagem utilizando dados de sensoriamento: estudo de caso Carta Vila Sumuru, NB-20-Z-D.** *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 1715-1722, 2009.
- ANTUNES, R. R. **Integração, controle e acompanhamento da análise de imagens baseada em objeto e mineração de dados por meio da plataforma distribuída InterCloud.** 2018. 113 f., il. Tese (Doutorado em Geociências Aplicadas)—Universidade de Brasília, Brasília, 2018.
- ARAÚJO, M. H. S. **Fundamentos de geoprocessamento aplicados à mineração.** Cruz das Almas, BA- UFRB, p.58. 2017.
- BABINSKI, M., CHEMALE, F., HARTMANN, L. A., VAN SCHMUS, W. R., & SILVA, L. C. da, **Juvenile accretion at 750-700 Ma in Southem Brazil.** *Geology*, -24(5):, p. 439-442. 1996.
- BABINSKI, M., CHEMALE, F., VAN SCHMUS, W. R., HARTMANN, L. A & SILVA, L. C. da. **U-Pb and Sm-Nd Geochronology of the Neoproterozoic Granitic-Gneissic Dom Feliciano Belt, Southem Brazil.** *Journal of South American Earth Sciences*, p. 263-274.1997.
- BARANOV, V. **A new method for interpretation of aeromagnetic maps: Pseudo gravimetric anomalies.** *Geophysics*, 22, p. 359-383, 1957.
- BARBOSA, I. N. **Modelo de deposito do complex máfico ultra máficos de niquelandia, GO, com base em dados multitematicos.** Tese de doutorado nº06.Unb-Intituto de geociências. Brasilia. 2012.

- BINOTTO, R. B. **Identificação de padrões espectrais em depósitos minerais: uma aplicação nas Minas do Camaquã/RS, Brasil.** UFRGS. Porto Alegre- RS, p. 09. 2015.
- BITENCOURT, M. F. A. S., NARDI, L. V. S. **Late- to post-collisional Brasiliano magmatism in southernmost Brazil.** Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 65 (1), pp. 3-16. 1993.
- BLUM, M. L. B. **Processamento e interpretação de dados de geofísica aérea no Brasil central e sua aplicação à geologia regional e à prospecção mineral.** Tese de Doutorado. Brasília: Universidade de Brasília, p. 70-150. 1999.
- BORBA, A. W. **Evolução geológica da “Bacia do Camaquã” (Neoproterozoico e Paleozoico inferior do Escudo Sul-rio-grandense, RS, Brasil): uma visão com base na integração de ferramentas de estratigrafia, petrografia e geologia isotópica.** Tese de doutorado-Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós Graduação em Geociências, Porto Alegre, RS-BR, p.4-50.2006.
- CAMOZZATO, E., TONIOLO, J. A., LAUX, J. H. **Metalogênese do Cinturão Dom Feliciano e Fragmentos Paleocontinentais associados (RS/SC).** Metalogênese das províncias tectônicas brasileiras, p. 517-556, 2014.
- CARRINO T.A. **Geotecnologias aplicadas ao reconhecimento de áreas chaves à exploração aurífera na província mineral do Tapajós.** Dissertação de mestrado n265. UnB-instituto de geociências. Brasília. Fevereiro, 2010.
- CARRINO T. A DE SOUZA FILHO C. R. LEITE E. P. ***Evaluation Of The Use Of Airborne Geophysical Data For Geological Mapping And Mineral Prospecting In Weathering Lands: The Example Of Serra Leste, Carajas Mineral Province.*** Revista Brasileira De Geofísica. , v. 25, n. 3, p. 307 - 320, 2007.
- CHEMALE JR., F. **Evolução geológica do Escudo Sul-rio-grandense.** In: Holz, M., De Ros, L.F. (Eds.) Geologia do Rio Grande do Sul. CIGO-UFRGS, pp. 13-52.2000.
- CHEMALE JR. F., HARTMANN L.A., SILVA L.C. ***Stratigraphy and Tectonism of Precambrian to Early Paleozoic Units In Southern Brazil And Uruguay.*** Acta Geol. Leopoldensia (Excurs. Guide Book), 18, p.5–117.1995.
- CHEMALE Jr., E, WALRAVEN, F., HARTMANN, L. A. & SILVA, L. C. ***Pb-Pb zircon dating of Dom Feliciano Belt, Southern Brazil.*** Conference on Proterozoic Crustal and Metallogenic Evolution, Windhoek, abstract: 8.1994.
- CLOUTIS, E.A. ***Review Article Hyperspectral geological remote sensing: evaluation of analytical techniques.*** International Journal of Remote Sensing.1996.
- COOPER, G. R. J., COWAN, D. R. **Edge enhancement of potential field data using normalized statistics.** Geophysics. vol. 73, no. 3, 1–4.2008

COSTA, A. F. U., FERNANDES, L. A. D., SHUKOWSKI, W., NARDI, L. V. S. & BITENCOURT, M. F. **Teste dos Modelos Tectônicos e de Posicionamento do Complexo Granítico de Caçapava do Sul através de Estudos de Modelagem 3-D.** Revista Brasileira de Geofísica, 13(2):, p. 91-101.1995.

CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA EM RECURSOS MINERAIS – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Projeto aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul: Relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectométricos.** Vol.I, texto técnico. Lasa prospecções S/A. Disponível em: <<https://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html>>. 2010.

CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA EM RECURSOS MINERAIS – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. GeoSGB – sistema de geociências. Disponível em: <<https://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html>>. 2019.

CRÓSTA A. P., DE SOUZA FILHO, C.R., AZEVEDO, F., BRODIE, C. **Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis.** *International Journal of Remote Sensing*, 24:21, p. 4233-4240. 2003.

CURTO, J. B. **Aerogeofísica Aplicada no mapeamento de microexudações de hidrocarboneto, integrada a dados de sensoriamento remoto orbital-região do Remanso do Fogo(MG)-.** Dissertação de mestrado. Programa de pós graduação em geociência aplicadas. UnB/IG. Brasília. 2011.

DELGADO I.M., SOUZA, J.D., SILVA L.C., SILVEIRA FILHO N.C., SANTOS R.A., PEDREIRA A. J., GUIMARÃES, J.T., ANGELIM L.A.A., VASCONCELOS A.M., GOMES I.P., LACERDA FILHO J.V.L., VALENTE C.R., PERROTTA M.M., HEINECK C.A. **Geotectônica do Escudo Atlântico.** In: L.A. Bizzi, C. Schobbenhaus, R.M. VIDOTTI, J.H. Gonçalves. *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil.* CPRM, Brasília, p. 227-334. 2003.

DENTITH, M., MUDGE, S. T. **Geofísica para o Geocientista de Exploração Mineral.** Cambridge Core - Solid Earth Geophysics. v. 1. 2014.

FERNANDES, L.A.D.; TOMMASI, A.; PORCHER, C.C. **Esboço estrutural de parte do Batólito Pelotas-região de Quitéria-Capivarita.** *Acta Geológica Leopoldênsia*, 30:117-138.1990.

FERNANDES, L.A.D.; TOMMASI, A.; PORCHER, C.C. **Deformation Patterns in the Southern Brazilian Branch of the Pan-African Dom Feliciano Belt.** *Journal of South American Earth Sciences*, 5:77-96.1992.

FRAGOSO-CESAR, A. R. S., LAVIAN, E.L.C., PAIM, P. S. G. & FACCINI, U. E. **A antefossa molássica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo do Rio Grande do Sul.** Congresso Brasileiro de Geologia, p. 3372-3283. 1984.

FRAGOSO-CESAR, A. R. S. **Tectônica de Placas no Ciclo Brasileiro: As Orogenias dos Cinturões Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul.** Tese de Doutorado, USP, São Paulo. 367 p.1991.

GASTAL, M C. P. & LAFON, J. M. **Gênese e evolução dos granitóides metaluminosos de afinidade alcalina da porção oeste do Escudo Sul riograndense: geoquímica e isótopos de Rb-Sr e Pb-Pb.** Revista Brasileira de Geociências, p. 28(1):, p. 29-44.1998.

GIRARDI, V.A.V. **Geologia e Petrologia do Complexo Basico Ultra Basico de Pien, PR.** Revista brasileira de geociências.v.6. n.2, p. 109. 1976.

GOÑI, J.C. **Origine des roches ultrabasiques et serpentineuses du Pré-Cambrien de Rio Grande do Sul (Brasil). Mode de gisement et mineralization.** Boletim da Escola de Geologia da UFRGS, Porto Alegre, n. 12, p. 1-89. 1962.

GUNN, P.J. & DENTITH, M.C. **Magnetic responses associated with mineral deposits.** AGSO Journal of Australian & Geophysics, 17(2), p. 145-158. 1997.

HARTMANN L.A., LIU D., WANG Y., MASSONNE H-J., SANTOS J. **Protolith age of Santa Maria Chico granulites dated on zircons from an associated amphibolite-facies granodiorite in southernmost Brazil.** Anais da Academia Brasileira de Ciências , 80:, p. 543-551. 2008.

HARTMANN L.A., PHILIPP R.P., SANTOS J.O.S., MCNAUGHTON N.J. **Time frame of 753-680 Ma juvenile accretion during the São Gabriel orogeny, southern Brazil.** Gondwana Research 19, p.84-99. 2011.

HARTMANN, L. A., CHEMALE JUNIOR, F., PHILIPP, R. P. **Evolução geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré- Cambriano.** In: IANNUZZI, R.; FRANTZ, J. C. 50 Anos de Geologia. Porto Alegre: Comunicação e Identidade, p. 97-123. 2007.

HARTMANN, L.A. & REMUS, M.V.D. **Origem e Evolução das Rochas Ultramáficas do Rio Grande do Sul desde o Arqueano até o Cambriano.** Geologia Do Rio Grande Do Sul, p. 53-78. 2000.

HASSUI, Y., CARNEIRO, C. D. R., COIMBRA, A. M. **The Ribeira Folded Belt.** Revista Brasileira de Geociências, v.5, p.257-266.1975.

HENDERSON, F. M., LEWIS, A. J. Radar In: WILEY, J., SONS, K. **Manual of remote sensing: principles and application of imaging radar.** V. 2, Cáp 1, p 1-6. New York. 1998.

ILHAS D. J. & BULLOCK S. J. VISÕES GERAIS: **Geofísica aerotransportada na Austrália Ocidental.** ASEG. Resumo Expandido. p.85-104. 1994.

JUSTUS, J. O., MACHADO, M.L. A., FRANCO, M. do S.M. **Geomorfologia. In: Folha SH.22 Porto Alegre e parte das folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim.** Rio de Janeiro: IBGE, (Levantamentos de Recursos Naturais, 33), p. 313-404.1986.

JOST, H. **Geology and metallogeny of the Santana da Boa Vista Region, Southern Brazil**. Georgia. 208p. (Doctor of Philosophy Thesis, University of Georgia).1981.

KEARY, P., BROOKS, M., HILL, I. **An Introduction to Geophysical Exploration**. Department of Earth Sciences University of Bristol Ty Newydd. City Near Cowbridge Vale of Glamorgan. Department of Geology University of Leicester. 3^aed.2002.

KER, J.C., ALMEIDA, J.A., FASOLO, P.J., HOCHMÜLLER, D. P. **Pedologia: levantamento exploratório de solos**. In: Folha SH.22 Porto Alegre e parte das folhas SH.21 *Uruguiana* e Sl.22 *Lagoa Mirim*. Rio de Janeiro: IBGE. p.405-540.1986.

LEITES, S. R., LOPES, R. C., WILDNER, W., PORCHER, C. A., SANDER, A. **Divisão litofaciológica da Bacia do Camaquã na Folha Passo do Salsinho, Caçapava do Sul - RS, e sua interpretação paleoambiental**. Congresso Brasileiro de Geologia, 36(1), 300-312.1990.

LEITES, S.R., LOPES, R C., WILDNER, W., PORCHER, C. A., SANDER, A. **Divisão litofaciológica da Bacia do Camaquã na Folha Passo do Salsinho, Caçapava do Sul - RS**. I Workshop sobre as bacias molássicas brasileiras, Boletim de Resumos Expandidos, p. 68-72.1992.

LEITE, J. A. D., HARTMANN, L. A., MCNAUGHTON, N. J., CHEMALE JR., F. **SHRIMP U/Pb zircon geochronology of Neoproterozoic juvenile and crustal-reworked terranes in southernmost Brazil**. *International Geology Reviews*, v. 40 (8), pp. 688-705.1998.

LIMA, A., TEODORO, A., CASIMIRO, J.P. **Avaliação do potencial de dados de sensoriamento remoto na exploração geológica da área de Freixeda (Mirandela, Portugal): um estudo preliminar**. Sensoriamento Remoto. 2014.

LIU, C. C. **Análise estrutural de lineamentos em imagens de sensoriamento remoto: aplicação ao estado do Rio de Janeiro**. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 43-90. 1984.

MAGALHÃES, L.A., SOUZA FILHO, R.C., SILVA, M.A. **Caracterização geológica-geofísica da poção central do Amapá com base em processamento e interpretação de dados aerogeofísicos**. *Revista Brasileira de geociências*. v.37. 2007.

MENESES, P.R & ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. UnB. Brasília, p.02-15. 2012.

MENESES, P. R.; FERREIRA Jr., L. G. **Comportamento espectral de minerais e rochas**. In: MENESES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais. Brasília: UnB. 262 p. Cap. 3, p. 63- 123.2001.

MILLIGAN, P.R. & GUNN, P.J. **Enhancement and presentation of airborne geophysical data.** *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, 17(2), p. 63-75. 1997.

MILLER, H.G. & SINGH, V. **Potential field tilt \pm a new concept for location of potential field sources.** *Journal of Applied Geophysics*, 32, p. 213-217. 1994.

NABIGHIAN, M.N. **The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: Its properties and use for automated anomaly interpretation.** *Geophysics*, 37, p. 507-517. 1972.

NAIME, R & NARDI, L. V. S. **O Granito Ramada, porção oeste do Escudo Sul-riograndense: geologia, petrologia e geoquímica.** *Revista Brasileira de Geociências*. 21.; p. 266-274.1991.

NARDI L. S. V. & LIMA, E. F. **A associação shoshonítica de Lavras do Sul, RS.** *Revista Brasileira de Geociências*, 15 (2): 139-146.1985.

NARDI L.V.S. & HARTMANN L.A. **O Complexo Santa Maria Chico do Escudo Sul-riograndense.** *Acta Geol. Leopoldensia*, 6:45-75,1979.

NUNES, A.R. **Análise de dados geológicos, geofísicos e de sensoriamento remoto para geração de modelos prospectivos para a região de Serra Leste, Carajás (PA).** Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, p. 132 .2002.

PAIM, P.S.G CHEMALE Jr, F., LOPES, R.C. **A Bacia do Camaquã.** UFRGS-CIGO-Centro de investigação do Gondwana - Geologia do Rio Grande do Sul. 2000.

PHILIPP, R. P., MACHADO, R., NARDI, L. V. S., LAFON, J. M. **O magmatismo granítico Neoproterozóico do Batólito Pelotas no sul do Brasil: novos dados e revisão da geocronologia regional.** *Jornal Brasileiro de Geologia* 32 (2), 277-290. 2008.

PHILIPP, R. P.; NARDI, L. V. S. ; BITENCOURT, M. F. **O Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul.** Em: Michael Holz; Luis Fernando De Ros. (Org.). *Geologia do Rio Grande do Sul*. 1ed.Porto Alegre. : Centro de Investigações do Gondwana - CIGO. 2000.v. 1, p. 133-160.

PORCHER, C. C; FERNANDES, L. A. D. & MONTEIRO, A. **Zoneamento metamórfico das granadas e dados de geotermometria dos metamorfitos Cerro do Facão - Suíte Metamórfica Porongos (RS).** IN: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 5. Gramado, 1995. Boletim de resumos Expandidos... Gramado, SBG. p.69-70.1995.

PORCHER, C. A., LOPES, R., C., **Cachoeira do Sul: folha SH.22-Y-A: estado do Rio Grande do Sul.** Brasília: CPRM. Escala 1:250.000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB. 2000.

RAMOS, G.V, G. V., VASCONCELOS D. L., BEZERRA F. H. R., CASTRO D. L., MEDEIROS W. E., LIMA J C. F. **Reativação tectônica de zonas de cisalhamento na Sub-Bacia Olinda (Bacia Paraíba): integração de dados aeromagnéticos e geológicos.** 14^o International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Rio de Janeiro, Brasil. 2015.

REMUS, M.V.D. **Geologia e geoquímica do Complexo Cambaizinho, São Gabriel (RS).** Porto Alegre. 267p. (Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul).1990.

REMUS, M. V. D., MCNAUGHTON, N. J., HARTMANN, L. A., FLETCHER, I. R. **Gold in the eoproterozoic juvenile Bossoroca Volcanic Arc of southernmost Brazil: isotopic constraints on timing and sources.** Journal of South America Earth Sciences, 12:, p. 349-366. 1999.

REMUS, M. V. D.; HARTMANN, L. A. & FORMOSO, M. L. L. **Os padrões de elementos terras-raras (ETR) e a afinidade geoquímica komatiítica dos xistos magnesianos e rochas associadas do Complexo Cambaizinho, São Gabriel, RS.** Revista Brasileira de Geociências, 23:, p. 370-387.1993.

REMUS, M. V. D. **Metalogenese do cobre e evolução crustal da região de Caçapava do Sul, RS. Porto Alegre.** Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1998.

RIBEIRO, M. & FANTINEL, L. M. **Associações petrotectônicas do Escudo Sul-riograndense: I - Tabulação e distribuição das associações petrotectônicas do Escudo do Rio Grande do Sul.** *Iheringia*, Série Geológica. 5:, p. 19-54, Porto Alegre.1978.

RICCOMINI, C. & CRÓSTA, A. P. **Análise preliminar de lineamentos em imagens em sensores remotos aplicada á prospecção mineral na área dos granitóides Mandira, SP.** Boletim IG – USP, Série Científica, v.19, p.23-37, 1988.

ROEST, W. R., VERHOEF, J., PILKINGTON, M. **Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal.** Geophysics, 57(1), p. 116-125. 1992.

SAALMANN, K.; HARTMANN, L.A.; REMUS, M.V.D.; KOESTER, E.; CONCEIÇÃO, R.V. **Sm-Nd isotope geochemistry of metamorphic volcano-sedimentary successions in the São Gabriel Block, southernmost Brazil: evidence for the existence of juvenile Neoproterozoic oceanic crust to the east of the Rio de La Plata craton.** *Precambrian Research*, v. 136, pp. 159-175. 2005

SALEM, A; WILLIAMS, S; FAIRHEAD, D; SMITH, R; RAVAT, DHANANJAY. **Interpretation of magnetic data using tilt-angle derivatives.** GEOPHYSICS, 73(1), p. L1-L10. 2008.

SALVI, M. M. **Geologia e significado tectônico do Complexo Batovi, terreno Taquarembó, Cinturão Dom Feliciano, São Gabriel-RS.** Monografia (Trabalho

Final de Curso). Instituto de Geociências. IGEO/UFRGS. Porto Alegre –RS, p. 05. 2014.

SANTO, L. A. C. E. **Reconhecimento de alvos potencialmente mineralizados a Ouro em rochas hidrotermalmente alteradas, utilizando imagens ASTER, na região centro-sul do Rio Grande do Sul, Brasil.** Trabalho Final de Curso (Geologia) –Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2018.

SANTOS, E. L.; BECKEL, J.; MACEDO, P. M.; GONZALEZ, E & CHABAN, N. **Divisão litoestratigráfica do Eocambriano e Precambriano Superior do Escudo Sul-rio-grandense.** Congresso Brasileiro de Geologia, 30. Anais, v. 2, 670-684.1978.

SENTINEL MISSIONS. **EUROPEAN SPACE AGENCY.** Disponível em: <<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2/data-products>>.

SILVA, B. S. **Integração de dados para localização de alvos de pesquisa de minério de ferro na região de Mariana, Quadrilátero Ferrífero – MG.** Rio de Janeiro: UFRJ/IGeo, Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, p.61. 2008.

SILVA, L. C., HARTMANN, L. A., MCNAUGHTON, N. J., FLETCHER, I. R., **SHRIMP UIPb Zircon Timing of Neoproterozoic Granitic Magmatism and Collision in the Pelotas Batholith in Southernmost Brazil.** International Geological Review. 1999.

SOMMER, C.A., LIMA, E.F., NARDI, L.V.S., LIZ, J.D., PIEROSAN, R. **Depósitos de fluxo piroclástico primários: caracterização e estudo de um caso no vulcanismo ácido neoproterozóico do Escudo Sul-Rio-grandense.** Pesquisas em Geociências, 30(1);, p. 3-26. 2003.

TEIXEIRA, A.L.A.; MORETTI, E.; CHRISTOFOLETTI, A. **Introdução aos Sistemas de Informação Geográfica.** Rio Claro: Edição do autor. 1992

TEIXEIRA, M.B.; COURA NETO, A.B.; PASTORE, U.; RANGEL Fº, A.L.R. **Vegetação: as regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos, estudo fitogeográfico.** In: Folha SH.22 Porto Alegre e parte das folhas SH.21 *Uruguaiana* e SI.22 *Lagoa Mirim*. Rio de Janeiro: IBGE, p. 541-632. (Levantamentos de Recursos Naturais, 33). 1986.

TELFORD, W. M. **Applied geophysics.** Cambridge University Press.1990.

THOMPSON, D. T. **EULDPH: A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data.** Geophysics 47, p. 31-37. 1982.

TOMMASI, A.; FERNANDES, L.A.D.; PINHEIRO-MACHADO, R.; KRAEMER, G.; KOESTER, E. **Incorporação de Lascas do Manto à Crosta Continental nas porções externas do Cinturão Dom Feliciano-evidências de uma zona de cisalhamento de escala litosférica.** Pesquisas, 21(2):79-84.1994.

UFRGS. **Mapeamento Geológico 1:25.000 Projeto Lagoa da Meia Lua – Rufino Farias – Vila Nova – Faixa 4.** Porto Alegre. Trabalho de Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 140. 1996.

UFRGS. **Mapeamento Geológico 1:25.000 Projeto Vila Nova – Faixa 5. Porto Alegre.** Trabalho de Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 268. 1997.

ULBRICH, H. H. G. J., ULBRICH, M. N. C., FERREIRA, F. J. F., ALVES, L. S., GUIMARÃES, B. G., FRUCHTING, A. **Levantamentos Gamaespectrométricos em Granitos Diferenciados. I: Revisão da Metodologia e do Comportamento Geoquímico dos Elementos K, Th e U.** Revista do Instituto de Geociências - USP - 33 - Geol. USP Série Científica. São Paulo, v. 9, n. 1, p. 33-53. 2009.

WINGE, M., ALVARENGA, C. J. S., PIMENTEL, M. M. **Glossário Geológico Ilustrado.** 2001 – 2020; 2019. Disponível em: <<http://sigep.cprm.gov.br/glossario/>>. Acesso em: set. de 2020.