

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
GEOLOGIA**

MURILO ARALDI DIDONÉ

**AEROGEOFÍSICA INTEGRADA A DADOS GEOLÓGICOS NO APOIO A
EXPLORAÇÃO DE OCORRÊNCIAS MINERAIS NA REGIÃO DE CAÇAPAVA DO
SUL/RS**

CAÇAPAVA DO SUL

2023

MURILO ARALDI DIDONÉ

**AEROGEOFÍSICA INTEGRADA A DADOS GEOLÓGICOS NO APOIO A
EXPLORAÇÃO DE OCORRÊNCIAS MINERAIS NA REGIÃO DE CAÇAPAVA DO
SUL/RS**

**TRABALHO APRESENTADO NO
CURSO DE GEOLOGIA
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO
PAMPA.
ORIENTADOR: MAXIMILIAN FRIES**

**CAÇAPAVA DO SUL
2023**

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) .

D977a Didoné, Murilo Araldi
AEROGEOFÍSICA INTEGRADA A DADOS GEOLÓGICOS NO APOIO A
EXPLORAÇÃO DE OCORRÊNCIAS MINERAIS NA REGIÃO DE CAÇAPAVA DO
SUL/RS / Murilo Araldi Didoné.
61 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2023.
"Orientação: Maximilian Fries".

1. Escudo Sul-Riograndense. 2. Exploração mineral. 3. Dados
de aeromagnetometria. I. Título.

MURILO ARALDI DIDONÉ

AEROGEOFÍSICA INTEGRADA A DADOS GEOLÓGICOS NO APOIO A
EXPLORAÇÃO DE OCORRÊNCIAS MINERAIS NA REGIÃO DE CAÇAPAVA DO
SUL/RS

Projeto de Trabalho de Conclusão de
Curso apresentado ao Curso de
Bacharelado em Geologia da
Universidade Federal do Pampa,
como requisito parcial para aprovação
na Componente Curricular Trabalho
de Conclusão de Curso II.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em:

14 de dezembro de 2023.

Banca examinadora:

Prof. MSr, Dr. Maximilian Fries
Orientador
Universidade Federal do Pampa

Prof. Dr. Igor Magalhães Clemente
Universidade Federal do Pampa

Prof. Dr. Matheus Silva Simões
Universidade Federal do Pampa



Assinado eletronicamente por **MATHEUS SILVA SIMOES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 19/12/2023, às 16:58, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **IGOR MAGALHAES CLEMENTE, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 19/12/2023, às 22:09, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **MAXIMILIAN FRIES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 20/12/2023, às 16:00, 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 **1335478** e o código CRC **6EFD3F42**.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que contribuíram para a conclusão deste trabalho de conclusão de curso. Agradeço imensamente ao meu orientador, Maximilian Fries, pela orientação e apoio ao longo de todo o processo. Sua expertise e orientação foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Quero expressar minha profunda gratidão à minha família, que sempre esteve ao meu lado, me apoiando incondicionalmente em todas as etapas dessa jornada acadêmica. O amor e o suporte que recebi de vocês foram essenciais para meu sucesso.

Também gostaria de agradecer aos meus colegas, à comunidade acadêmica e a Galvani Mineração SA pelo fornecimento dos dados usados neste presente estudo. As discussões e trocas de conhecimento foram enriquecedoras e fundamentais para o meu crescimento.

Por fim, agradeço a Deus por me guiar e me abençoar durante toda essa jornada. Sua presença e orientação foram fontes de força e inspiração. A todos que de alguma forma colaboraram, meu sincero agradecimento. Sem vocês, esse trabalho não seria possível.

RESUMO

O Escudo Sul Rio-Grandense (ESRG), localizado no Sul do Brasil, é conhecido por suas características geológicas que desempenham um papel vital na compreensão da evolução do continente sul-americano. É uma área de pesquisa constante e estudos prospectivos devido às suas ricas ocorrências minerais, como as Minas de Camaquã, que têm recebido atenção de geocientistas em campos acadêmicos e aplicados. No entanto, apesar desses projetos exploratórios em andamento e da atenção que têm atraído, ainda existe uma notável lacuna na compreensão atual de aspectos geológicos e estruturais específicos dentro desta região, especialmente em relação aos projetos contínuos de exploração mineral. Esses projetos exploratórios têm despertado grande interesse na vasta literatura disponível sobre o assunto. A análise e caracterização de ocorrências minerais, especialmente metais básicos, são de extrema importância para a indústria fundamental, vital para a economia do país. Nesse contexto, o principal objetivo deste estudo é aprimorar o conhecimento geológico e estrutural por meio de sensoriamento remoto e geofísica. Especificamente, visa integrar, analisar e interpretar dados magnetométricos aéreos e dados geológicos em uma área adjacente às ocorrências de cobre conhecidas como Vitor Teixeira e Capão Grande, localizadas em Caçapava do Sul, estado do Rio Grande do Sul. Como resultado, mapas de anomalias de sensoriamento remoto e aerogeofísicas apresentaram correlações significativas entre estruturas, morfologia do terreno e contrastes magnéticos observados. Uma área detalhada foi selecionada com base em uma anomalia observada na parte Oeste da área, evidenciando um corpo rochoso de alta suscetibilidade orientado E - W. Investigações adicionais nessa área, aplicando Deconvolução de Euler e integrando com as anomalias filtradas magneticamente (RTP, Derivada Vertical e Derivada de Inclinação), proporcionaram entendimento substancial e permitiram a definição de estruturas e heterogeneidades litológicas que não são reconhecíveis no mapeamento de superfície. Os resultados obtidos e as integrações forneceram informações importantes para abordagens de exploração futuras e detalhamento geológico ao longo desta área.

Palavras-chave: Escudo Sul-Riograndense; Exploração mineral; Dados de aeromagnetometria.

ABSTRACT

The Southern Rio Grande Shield (ESRG), located in southern Brazil, is known for its geological features that play a vital role in understanding the evolution of the South American continent. It is an area of constant research and prospective studies due to its rich mineral occurrences, such as the Camaquã Mines, which have garnered attention from geoscientists in both academic and applied fields. However, despite these ongoing exploratory projects and the attention they have attracted, there is still a notable research gap in the current understanding of specific geological and structural aspects within this region particularly regarding ongoing mineral exploration projects. These exploratory projects have sparked significant interest in the abundant literature available on the subject. The analysis and characterization of mineral occurrences, particularly base metals, are of paramount importance for the foundational industry, which is vital for the country's economy. In this context, the main objective of this study is to enhance geological and structural knowledge through remote sensing and geophysics. Specifically, it aims to integrate, analyze, and interpret aerial magnetometric data and geological data in an area adjacent to the copper occurrences known as Vitor Teixeira and Capão Grande, located in Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul State. As a result, remote sensing and aerogeophysical anomalies maps presented significant correlations among structures, terrain morphology, and observed magnetic contrasts. A detailed area was selected based on an observed anomaly detected at the western part of the area, showing evidence of a high susceptibility rock body oriented E - W. Further investigations in this area, applying Euler Deconvolution and integrating with the magnetic filtered anomalies (RTP, Vertical Derivative, and Tilt Derivative), provided substantial understanding and allowed the definition of structures and lithologic heterogeneities that are not recognizable in surface mapping. The obtained results and integrations provided important information for further exploration approaches and geological detailing along this area.

Keywords: Southern Rio Grande Shield; Mineral exploration; Aerial magnetometric data.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.....	16
Figura 2 - Mapa unidades geológicas da área de estudo.....	21
Figura 3 - Exemplo de um plano de voo típico para um levantamento aeromagnético.....	24
Figura 4 - Fluxograma.....	33
Figura 5 - Mapa de situação da área de estudo e principais acessos.....	35
Figura 6 - Mapa evidenciando as discontinuidades/estruturas geológicas e o diagrama de roseta.....	36
Figura 7 - Mapa evidenciando as drenagens (esquerda) e as discontinuidades/estruturas a partir das drenagens com diagrama de roseta (direita).....	37
Figura 8 - Mapa pedológico da área de estudo e arredores.....	38
Figura 9 - Mapa das linhas de voo realizadas no local de estudo.....	39
Figura 10 - Mapa dos valores observados do Campo Magnético Anômalo Total (TMI) na área de estudo.....	40
Figura 11 - Mapa dos valores observados do Campo Magnético Anômalo Total (TMI) Reduzidos ao Polo (RTP) na área de estudo.....	42
Figura 12 - Mapa dos valores observados da Primeira Derivada Vertical (1VD) na área de estudo.....	43
Figura 13 - Mapa dos valores observados da Amplitude do Sinal Analítico (ASA) na área de estudo.....	44
Figura 14 - Mapa dos valores observados da Inclinação do Sinal Analítico (ISA) na área de estudo.....	45
Figura 15 - Mapa dos valores observados do Campo Magnético Anômalo Total (TMI) Reduzidos ao Polo (RTP) na área de interesse (à esquerda visão dos limites da área de interesse e a direita mapa detalhado da anomalia observada). Abaixo, são apresentadas as visualizações em 3D da anomalia observada.....	47
Figura 16 - Mapa dos valores observados da Inclinação do Sinal Analítico (ISA) na área de interesse (à esquerda visão dos limites da área de interesse e a direita mapa detalhado da anomalia observada). Abaixo, são apresentadas as visualizações em 3D da anomalia observada.....	48

Figura 17 - Mapa dos valores observados do Pseudo Gravity na área de interesse (à esquerda visão dos limites da área de interesse e a direita mapa detalhado da anomalia observada). Abaixo, são apresentadas as visualizações em 3D da anomalia observada.....	49
Figura 18 - Perfil A-B das anomalias magnéticas observadas (Figura superior) e interpretação lito-geofísica (Figura inferior).....	50
Figura 19 - Deconvolução de Euler aplicada aos mapas das anomalias reduzidas ao polo RTP (mapa 1). Resultados da sobreposição das fontes Euler ao mapa ISA e Pseudo Gravity para $SI=0$ (mapa 2 e 3). Em A e B diferentes visualizações 3D das fontes Euler calculadas.....	52
Figura 20 - Deconvolução de Euler aplicada aos mapas das anomalias reduzidas ao polo RTP (mapa 1). Resultados da sobreposição das fontes Euler ao mapa ISA e Pseudo Gravity para $SI=1$ (mapa 2 e 3). Em A e B diferentes visualizações 3D das fontes Euler calculadas.....	53
Figura 21 - Mapa interpretativo integrado a partir das fontes causativas definidas pela Deconvolução de Euler ($SI=0$ e $SI=1$).....	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ESRG - Escudo Sul Riograndense

CDF - Cinturão Dom Feliciano

BC - Bacia do Camaquã

SIG - Sistemas de Informações Geográficas

GPS - Sistema de Posicionamento Global

CPRM - Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (Serviço Geológico do Brasil)

IGRF - *International Geomagnetic Reference Field*

TMI - *Total Magnetic Intensity*

RTP - *Reduction to Pole*

1DV - Primeira Derivada Vertical

ASA - Amplitude do Sinal Analítico

ISA - Inclinação do Sinal Analítico

MDT - Modelo Digital de Terreno

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	14
2.1 Geral	14
2.2 Específicos	14
3 JUSTIFICATIVA	15
4 ÁREA DE ESTUDO	15
5 GEOLOGIA REGIONAL	17
5.1 O Escudo Sul Riograndense (ESRG)	17
5.2 O Cinturão Dom Feliciano (CDF)	18
5.3 O Terreno São Gabriel	18
5.4 A Bacia do Camaquã (BC)	19
6 GEOLOGIA LOCAL	19
7 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
7.1 Geoprocessamento	22
7.2 Aerogeofísica	23
7.3 Magnetometria	25
7.3.1 Tipos de mapas e produtos de análise semi-qualitativa	26
7.3.2 Técnicas de realce e filtragem aplicadas aos dados aeromagnetométricos	27
7.3.3 Deconvolução de Euler/3D	28
8 TRABALHOS ANTERIORES APLICADOS	29
8.1 Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto	29
8.2 Geofísica	30
9 MATERIAIS E MÉTODOS	31
9.1 Revisão bibliográfica e compilação de base de dados geológicas e geofísicas	32
9.2 Análise e interpretação de resultados	32
9.3 Considerações finais	33
10 RESULTADOS	34
10.1 Geologia e geofísica - geração de bases de dados e integração	34
10.2 Elevação de terreno	34
10.3 Descontinuidades/estruturas geológicas	35
10.4 Classes dos solos	37
10.5 Vegetação	38
10.6 Integração e análise de resultados - área inicial	39
10.7 Integração e análise de resultados - área selecionada (janelamento)	46
10.7.1 Perfil Selecionado - Interpretação e Modelo Lito Geofísico	46
10.8 Profundidades e localização das fontes magnéticas causativas - Aplicação da Deconvolução de Euler na área de interesse.	51
11 CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

1 INTRODUÇÃO

O município de Caçapava do Sul está localizado na porção central do Estado do Rio Grande do Sul, denominado geologicamente como Escudo Sul Rio Grandense (ESRG). O ESRG, localizado ao Sul do Escudo Brasileiro e ao Leste da Província da Mantiqueira (ALMEIDA *et al.* 1976). A região possui uma extensão aflorante designada Granito de Caçapava e Complexo Granítico de Caçapava do Sul (BITENCOURT *et al.* 1983), na qual é reconhecido nacionalmente pelo seu grande potencial de recursos minerais metálicos existentes na área, derivada do ESRG e sua evolução geológica.

Devido a região possuir esse grande potencial mineral como o cobre, diversas empresas investem recursos econômicos e humanos nas áreas do município para elaboração de pesquisas. Visto a recente demanda denominada “energias verdes” pela sociedade, elementos minerais tornaram-se essenciais no mercado mundial, amplamente usados na indústria para a fabricação de baterias e diversos eletrônicos. Estima-se que até 2050 a demanda por esses recursos deve aumentar em torno de 2000%, evidenciando, desta maneira, a importância da exploração de jazidas minerais, especialmente as de baixo teor, já que atualmente as grandes minas possuem poucos anos de operação.

No entanto, estudos de caráter local, com o intuito de verificar a relação das anomalias magnéticas observadas com as estruturas geológicas e litologias, permanecem escassos. Carece, desta maneira, de estudos geofísicos que sejam associados a descrições geológicas e medidas de susceptibilidade magnética das rochas e afloramentos (*in situ*). Tal rotina é fundamental no estabelecimento de um parâmetro físico direto a fim de se caracterizar as variações mínimas e máximas (*ranges*) das anomalias magnéticas associadas (DENTITH *et al.* 2014). Alguns estudos pontuais integrando esta base de dados aérea com as informações diretas com ênfase em prospecção mineral são descritos por Fernandes *et al.* (1995), Travassos *et al.* (2014) e mais recentemente por Fries *et al.* (2020) e Hispagnol *et al.* (2023).

Dentre as principais abordagens prospectivas e contribuindo especialmente com trabalhos exploratórios denominados de *greenfield*, a geofísica aérea de escala regional, compreende importante ferramenta no entendimento do arcabouço geológico-estrutural, geometria de corpos e estruturas, bem como controles para

mineralizações. Inicialmente na região, foi realizado o projeto Aerogeofísica Camaquã CPRM (1973) e em 2010, o Projeto Aerogeofísica do Escudo Sul Riograndense CPRM (2010) que contribuíram para evolução de estudos de compartimentação geotectônica, arcabouço geológico-estrutural.

Neste sentido, a lacuna quanto ao entendimento das ocorrências descritas reforça a necessidade de detalhamento dessas anomalias por meio de geofísica em escala local (1:25.000 por exemplo), medidas de susceptibilidade magnética e petrografia. Tais abordagens representam essencial análise e validação das ocorrências conduzindo a uma melhoria na orientação em estudos geoquímicos mais concentrados nos alvos de interesse e, também, a aplicação da geofísica como auxílio fundamental na orientação da localização de sondagens.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Aplicar a aerogeofísica integrada ao sensoriamento remoto no detalhamento geológico em uma área de ocorrências minerais.

2.2 Específicos

- Identificar anomalias que possam estar associadas a litologias e estruturas associadas às ocorrências minerais na área;
- Ampliar o conhecimento acerca da distribuição dos litotipos e discontinuidades correlatas;
- Contribuir ao entendimento do arcabouço estrutural e discontinuidades correlacionáveis a estruturas e litotipos em diferentes níveis de profundidade;
- Oferecer subsídios ao detalhamento geológico a estudos diretos como geoquímica de solo/rocha e locação de sondagens.

3 JUSTIFICATIVA

Os minerais metálicos desempenham um papel crucial na sociedade, especialmente no setor eletroeletrônico, devido à crescente demanda por produtos que utilizam esses elementos essenciais na fabricação. A busca por "novas tecnologias" reflete uma conscientização ambiental mais ampla e a urgência em abordar questões de sustentabilidade e mudanças climáticas. Essa abordagem, também conhecida como tecnologias limpas ou ambiental, envolve soluções inovadoras para mitigar ou eliminar os impactos ambientais adversos das atividades humanas.

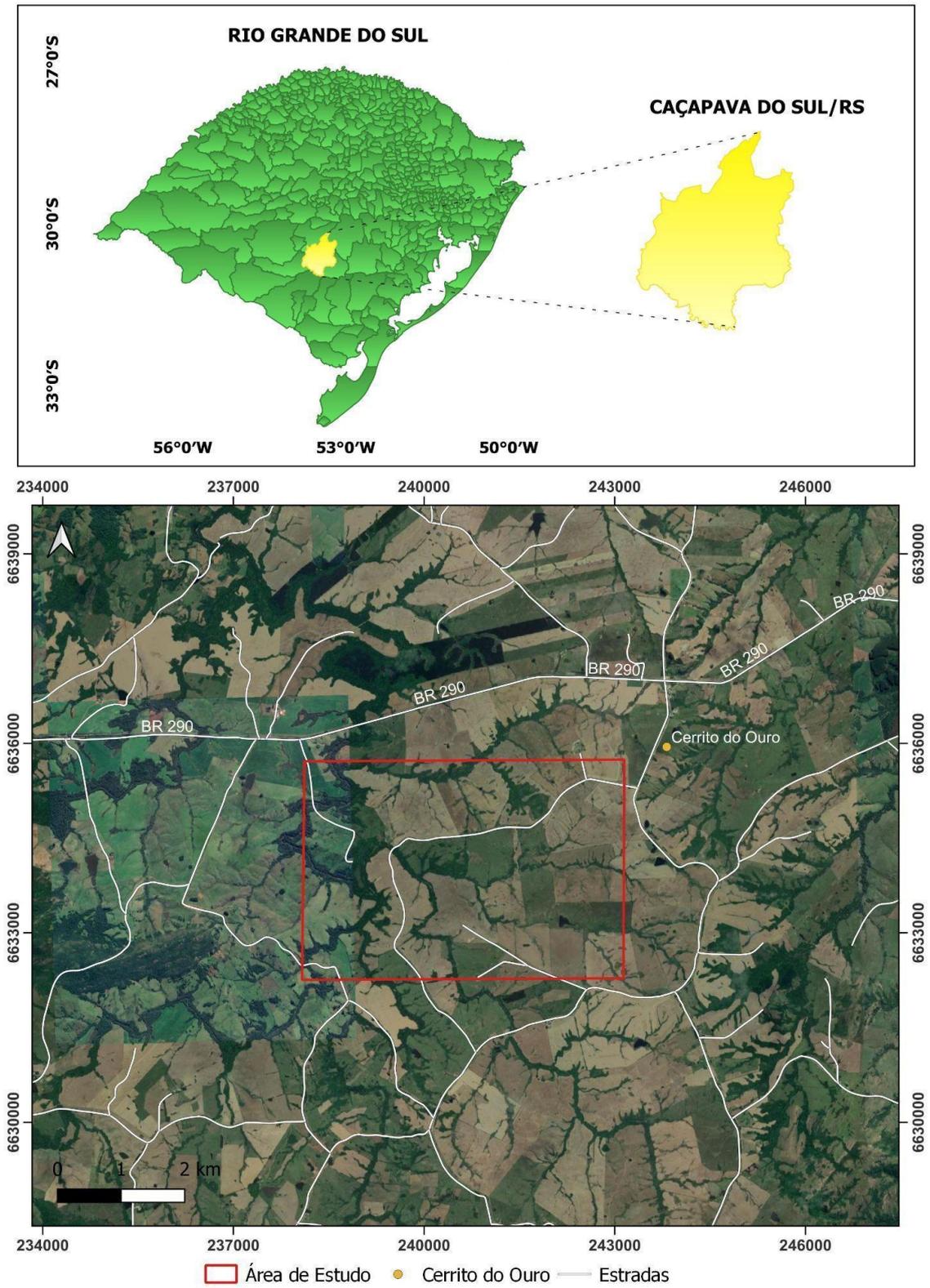
Sendo assim, a contínua aprimoração de métodos e abordagens em estudos exploratórios é essencial no reconhecimento de áreas potenciais, conduzindo, respectivamente, a exploração do bem mineral. Portanto, a abordagem deste estudo justifica-se pela carência de informações e estudos, aplicações de métodos e integração de dados para o detalhamento de conhecimento de áreas na região, especialmente, na interpretação e geração de mapas lito-geofísicos em locais que constituem elementos favoráveis a depósitos minerais.

A ausência de detalhamento em áreas exploratórias impede a compreensão precisa de ocorrências minerais e respectivos depósitos, onerando projetos e, conseqüentemente, o desenvolvimento da indústria. Portanto, é fundamental investir em abordagens e técnicas inovadoras, de baixo custo e efetivas na caracterização geológica de áreas, oferecendo maior embasamento quanto a decisões estratégicas relacionadas à exploração mineral.

4 ÁREA DE ESTUDO

A área do estudo está localizada no município de Caçapava do Sul/RS, a aproximadamente 260 km da capital do estado, Porto Alegre/RS. Está situada à margem da Rodovia BR-290, a 23 km do município de Vila Nova do Sul/RS, na localidade Cerrito do Ouro. A região encontra-se na área rural, ao Norte do território de Caçapava do Sul/RS. A área está delimitada pelo polígono em vermelho e o acesso pode ser feito através de estradas vicinais, como se vê na Figura 1.

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Autor.

5 GEOLOGIA REGIONAL

A área de estudo em questão apresenta um conjunto de características geológicas e geotectônicas de grande relevância. situada no Terreno São Gabriel, uma região neoproterozóica, parcialmente coberta por sequências da Bacia do Camaquã (HARTMANN *et al.* 2007), essa área faz parte da Província da Mantiqueira (HEILBRON *et al.* 2004), uma unidade do Escudo Sul Riograndense. Com base nessas informações preliminares, será aprofundado a análise sobre as particularidades geológicas e tectônicas desse local, proporcionando uma compreensão abrangente e precisa de sua evolução geológica.

5.1 O Escudo Sul Riograndense (ESRG)

A unidade geomorfológica conhecida como ESRG, localizada na porção meridional da Província da Mantiqueira (ALMEIDA *et al.* 1976) é composta por diferentes conjuntos petrotectônicos que se formaram, principalmente, durante os períodos Paleoproterozoico e Neoproterozoico (CHEMALE Jr. *et al.*, 2000). O ESRG é uma extensa área de crosta terrestre antiga e consolidada, região onde conter depósitos minerais de interesse econômico, como é comum em áreas de escudos cristalinos. Essa unidade pode ser subdividida em quatro unidades distintas em termos geológicos, estruturais, geoquímicos e geotectônicos, são eles: Terreno São Gabriel, Terreno Tijucas, Terreno Taquarembó e Batólito Pelotas (HARTMANN *et al.*, 2007).

O Terreno São Gabriel é composto principalmente por unidades formadas por acreção juvenil ou rochas derivadas de um manto neoproterozóico. O Terreno Tijucas é caracterizado por rochas paleoproterozóicas de granito-gnaise e anfíbolito, bem como rochas supracrustais e plutônicas com vulcanismo cálcio-alcalino, além de rochas metassedimentares deformadas em um ambiente rúptil-dúctil. O Terreno Taquarembó consiste em um complexo granulítico paleoproterozóico que passou por reprocessamento parcial no Neoproterozóico. Ainda, por fim, o Batólito Pelotas é formado por suítes e complexos graníticos brasileiros com septos do embasamento (HARTMANN *et al.*, 2007).

5.2 O Cinturão Dom Feliciano (CDF)

O Cinturão Dom Feliciano corresponde à porção Sul da Província Mantiqueira, conforme descrito por Heilbron *et al.*, (2004). No Estado do Rio Grande do Sul, o Cinturão Dom Feliciano (CDF) abrange os terrenos São Gabriel, Tijucas e o Batólito Pelotas (HARTMANN *et al.*, 2007). Sua formação ocorreu durante o Ciclo Brasileiro através de três eventos tectônicos principais. O primeiro evento foi o início da subducção, que deu origem a um arco intra-oceânico, durante o evento tectônico neoproterozoico mais antigo do Sul do Brasil, conhecido como Evento Passinho (0,89 - 0,86 Ga).

O segundo foi o desenvolvimento de um arco magmático durante a Orogênese São Gabriel (0,77 - 0,68 Ga), caracterizada pela formação dos Complexos Cambaí e Palma/Bossoroca. E, por último, o metamorfismo e fusão dos remanescentes crustais antigos no Batólito Pelotas juntamente com ampla intrusão de granitos durante o Evento Dom Feliciano (0,65 - 0,54 Ga), formando assim o CDF. (HARTMANN *et al.* 2007; PHILIPP *et al.* 2016).

5.3 O Terreno São Gabriel

De acordo com Phillip *et al.*, (2016), o Terreno São Gabriel compreende a parte ocidental do Cinturão Dom Feliciano e possui uma forma alongada na direção N20-30°E. Segundo Hartmann *et al.* (2007), ele é um prisma acrescionário formado no Neoproterozoico, com associações petrotectônicas de ambientes de margem passiva e retro-arco, incluindo ofiolitos, arcos magmáticos vulcanossedimentares e plutônicos. Ao Norte e Oeste, é limitado por sequências da Bacia do Paraná. As unidades do Terreno São Gabriel são afetadas por zonas de cisalhamento dúcteis, em geral, de orientação Nordeste (NE), que foram reativadas várias vezes desde o Neoproterozoico até o Mesozoico (CHEMALE Jr. *et al.* 2000). À medida que se aproximam do Lineamento Ibaré, essas zonas de cisalhamento sofrem rotação para Noroeste (NW) (CHEMALE Jr. *et al.* 2000; PHILIPP *et al.* 2016).

5.4 A Bacia do Camaquã (BC)

A Bacia do Camaquã (BC) surgiu como resultado da extensão tectônica e acomodação do substrato Paleo/Neoproterozóico da Faixa Dom Feliciano na região Centro-Sul do Rio Grande do Sul (BORBA *et al.* 2008; TROMBETTA *et al.* 2019). A BC está situada nos Terrenos São Gabriel e Taquarembó e é circundada pelas Faixas Tijucas e Dom Feliciano (PAIM. *et al.* 2014). O registro estratigráfico da BC contém depósitos com cerca de 10 km de espessura e são categorizados em grupos com base em diversos estágios deposicionais. Segundo Fambrini *et al.* (2006) os grupos são: (a) Grupo Maricá, (b) Grupo Bom Jardim, (c) Formação Acampamento Velho, (d) Grupo Santa Bárbara, (e) Grupo Guaritas e (f) Suíte Intrusiva Rodeio Velho.

A BC destaca-se pelos depósitos significativos de carvão mineral, explorados para geração de energia em termelétricas. Além do carvão, a bacia também possui recursos como argila, areia, cascalho e calcário, importantes para a indústria da construção civil.

6 GEOLOGIA LOCAL

O local de interesse possui aproximadamente 17 km² de área e geologicamente é localizado no Complexo Metamórfico Vacacaí, descrito por Chemale Jr. *et al.* (2000) como rochas metavulcânicas acompanhados por rochas porfíricas, que provêm de derrames de lavas de composição andesítica. Além disso, ocorrem intercalações ocasionais de rochas epiclásticas, representadas por metapelitos arenosos, metapelitos carbonosos e metaconglomerados.

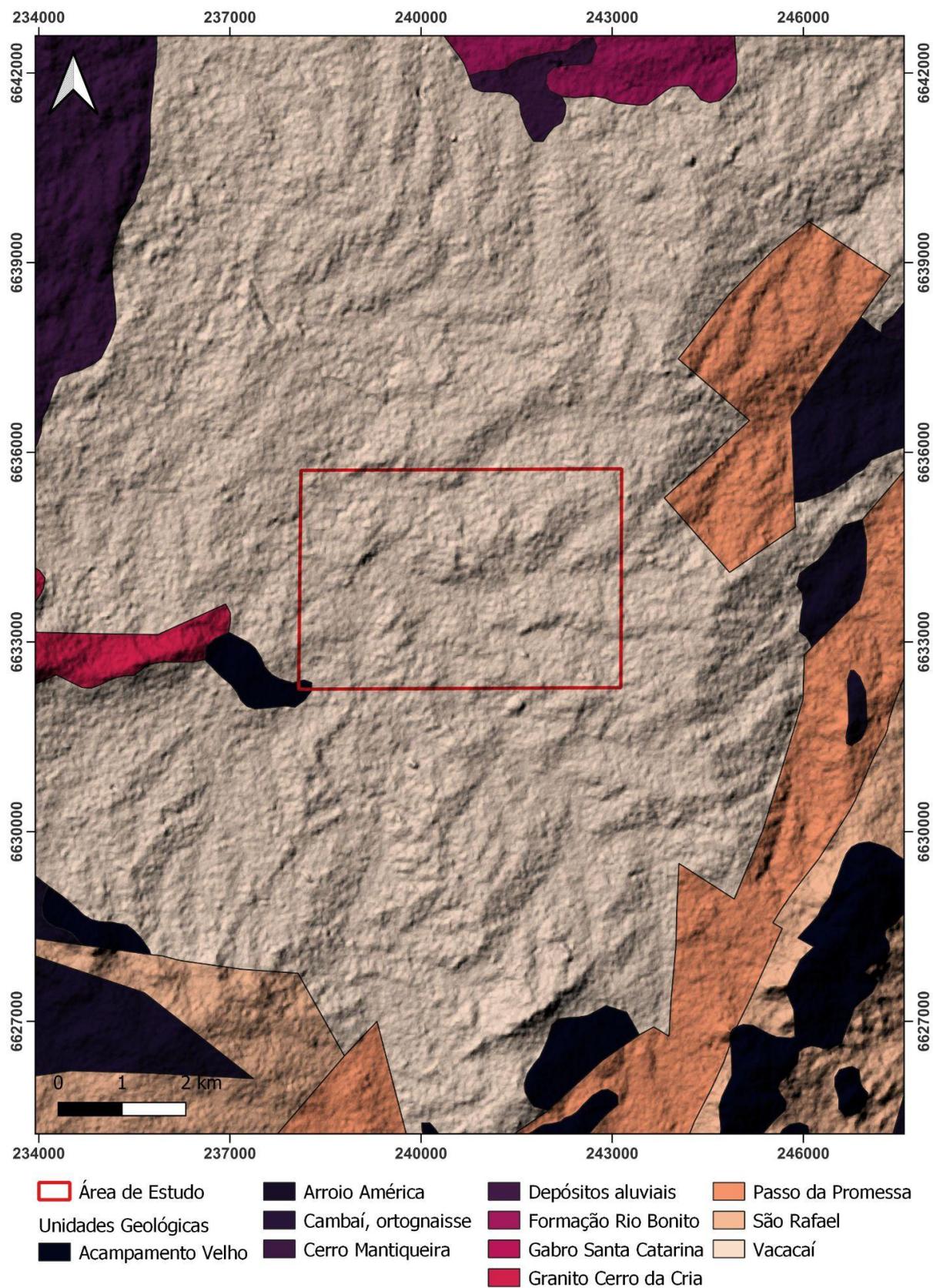
Estudos relevantes quanto ao reconhecimento litológico, estrutural e das ocorrências minerais na região foram conduzidos por Ribeiro *et al.* (1966) e Ribeiro *et al.* (1970), os quais descreveram os metassedimentos presentes na Formação Vacacaí como sendo de origem clástica. Além disso, eles identificaram o Cinturão Metamórfico Passo Feio como uma das características geológicas desta região.

De acordo com Ribeiro *et al.* (1966), a Formação Vacacaí contém rochas metassedimentares e metavulcânicas, com uma infinidade de apófises presentes em vários tamanhos e orientações. A intrusão do maciço granítico principal produziu efeitos mecânicos discerníveis e visíveis na zona envolvente. Especificamente, um padrão característico de fraturas e falhas desenvolveu-se na zona marginal do

granito. Além disso, nesta mesma área, as rochas metamórficas manifestam textura que apresentam corrugações e pequenas dobras.

As rochas metavulcânicas sofreram processos metamórficos e ígneos pela alteração e reestruturação de rochas vulcânicas pré-existentes em resposta às pressões e temperaturas extremas presentes em seu ambiente geológico. Em regiões na qual ocorreu intensa atividade vulcânica e o metamorfismo foi causado por processos tectônicos subsequentes, rochas metavulcânicas podem ser encontradas. Tais rochas detém uma influência significativa na evolução geológica da área, pois revelam dados sobre eventos vulcânicos e metamórficos que aconteceram ao longo dos tempos (GILL *et al.* 2014).

Figura 2 - Mapa unidades geológicas da área de estudo.



Fonte: Modificado de CPRM.

7 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

7.1 Geoprocessamento

O termo *geoprocessamento* é composto pelo prefixo *geo* (de terra, solo) e *processamento*. Portanto, relaciona-se ao espaço e "processamento de dados" ou tratamento de informações obtidas em determinado local/região. Segundo Câmara *et al.*, (1996), geoprocessamento é uma disciplina que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de dados geográficos, abrangendo a coleta, o armazenamento, o processamento, o tratamento e a análise dessas informações.

Segundo Stein *et al.* (2021), a coleta de dados é a etapa em que as informações são adquiridas para a elaboração de produtos cartográficos. Esses dados podem ser obtidos de várias fontes, dependendo do propósito do estudo. Fontes comumente utilizadas no geoprocessamento incluem sensoriamento remoto (como imagens de satélite e fotografias aéreas), levantamentos topográficos, sistema de posicionamento global (GPS) e Sistemas de Informações Geográficas (SIG), que serão descritos a seguir:

- Sensoriamento remoto: é uma técnica que permite a obtenção de informações sobre a superfície terrestre sem a necessidade de contato direto, possibilitando o registro de imagens para posterior interpretação e uso. Essas imagens fornecem dados relevantes sobre o ambiente (REES *et al.*, 1990);
- Levantamentos topográficos: são realizados através de técnicas de medição, cálculos e desenhos, que permitem estabelecer métricas e representar graficamente e digitalmente a superfície terrestre de maneira adequada para diversas finalidades;
- Sistema de Posicionamento Global (GPS): é possível obter dados precisos sobre o posicionamento de pontos na superfície terrestre, como latitude, longitude e altitude a partir de satélites;
- Sistemas de Informações Geográficas (SIG): refere-se a um sistema projetado para capturar, armazenar, manipular, analisar, gerenciar e apresentar dados espaciais ou geográficos. É possível obter esses dados por meio de órgãos governamentais ou até mesmo realizar levantamentos de dados que podem ser utilizados na produção de cartas, mapas ou plantas;

O armazenamento dos dados pode ser realizado através de um banco de dados geográficos. Esse tipo de banco de dados possui a capacidade de suportar dados espaciais em suas tabelas, além dos dados convencionais alfanuméricos. A presença de dados espaciais em uma base de dados geográfica permite a realização de operações de armazenamento, consulta e análise, que são essenciais para os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), os quais lidam com grandes volumes de dados (CÂMARA; MEDEIROS, 2005).

O processamento e tratamento dos dados podem ser realizados por meio de um *software* de geoprocessamento. A escolha deste, é feita pelo usuário e depende da viabilidade de aquisição, bem como das funcionalidades necessárias para trabalhar com os dados disponíveis. Alguns *softwares* são específicos para lidar com determinados tipos de dados, como imagens ou modelos digitais de elevação, por exemplo. (STEIN *et al.* 2021).

7.2 Aerogeofísica

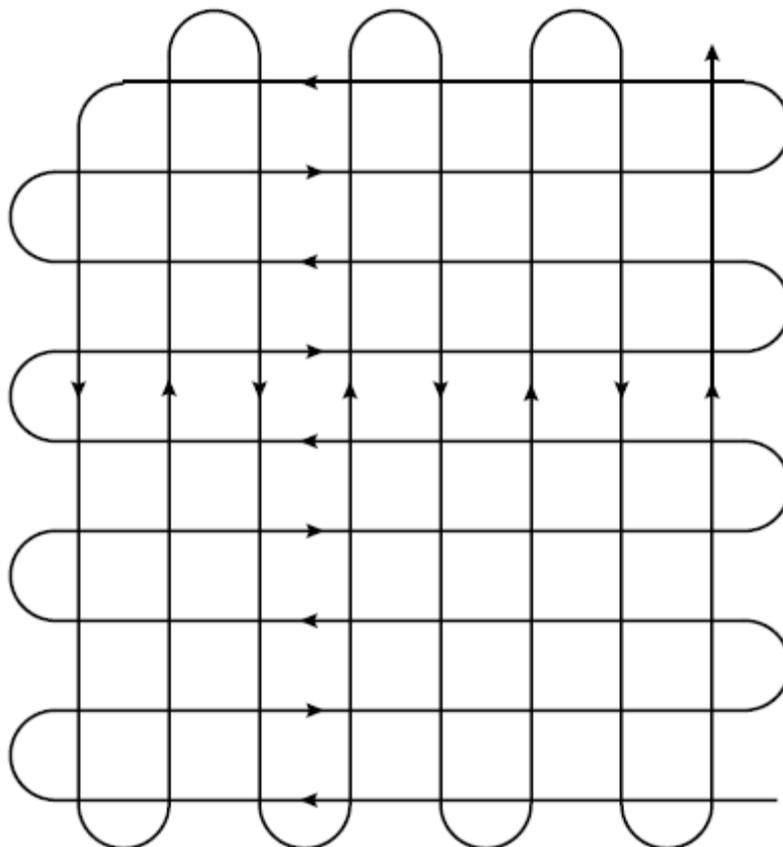
Conforme Sampaio et al., (2000), o sistema aerogeofísico envolve um equipamento com instrumentos geofísicos especializados que medem várias grandezas físicas, como a intensidade do campo magnético terrestre, a densidade e a composição química dos materiais do subsolo. Os dados resultantes são processados por *softwares* e convertidos em mapas tridimensionais que retratam as características geológicas da área em estudo. Billings e Richards (2000), enfatizam que a aerogeofísica, especialmente o aeromagnetismo, desempenhou um papel fundamental na indústria de exploração mineral nas últimas cinco décadas, tornando-se um componente de extrema relevância em projetos dessa natureza.

De acordo com Kearey et al., (2009) a maioria dos levantamentos magnéticos são realizados no ar, utilizando um sensor rebocado em uma estrutura conhecida como "*bird*" para evitar os efeitos do campo magnético da aeronave. Alternativamente, o sensor pode ser montado em um suporte na cauda da aeronave, chamado de "*stinger*", com compensação interna de bobinas para eliminar o campo magnético da aeronave. Os levantamentos aeromagnéticos são rápidos e econômicos, geralmente custando cerca de 40% a menos por quilômetro de linha do que os levantamentos de solo. Grandes áreas podem ser pesquisadas de forma

rápida, sem a necessidade de equipes de campo para a região e os dados podem ser obtidos em áreas inacessíveis por levantamentos terrestres.

Segundo Parro et al. (1998), para o processamento de dados aerogeofísicos, a aplicação de técnicas como interpolação por curvatura mínima, krigagem e krigagem bidirecional apresentam os melhores resultados. O micronivelamento é utilizado para corrigir erros residuais de nivelamento nos dados aerogeofísicos, através de uma filtragem direcional. Conforme definido pela Geosoft (2001), o micronivelamento consiste na filtragem de um conjunto de dados (em formato de grade) para reduzir ou eliminar efeitos não geológicos causados por ruídos de alta frequência ao longo das linhas de levantamento aéreo (Figura 3).

Figura 3 - Exemplo de um plano de voo típico para um levantamento aeromagnético.



Fonte: Extraído de Kearey (2009).

7.3 Magnetometria

A magnetometria é aplicada em diversas áreas, como exploração mineral, geologia, arqueologia, estudos ambientais e geofísica. É especialmente útil na detecção de anomalias magnéticas, que podem indicar a presença de minerais magnéticos, estruturas geológicas ou até mesmo artefatos arqueológicos enterrados. As rochas, em particular, têm minerais limitados que produzem campos magnéticos.

Apenas dois grupos de elementos geoquímicos criam minerais magnéticos. O primeiro grupo é formado por Ferro, Titânio e Oxigênio, que formam a magnetita (Fe_3O_4) e o ulvospinélio (Fe_2TiO_4). O segundo grupo é o grupo Ferro-Enxofre, que possui pirrotita como mineral magnético (com composição FeS_{1+x} , $0 < x < 15$) (KEAREY *et al.* (2009).

As medidas de magnetização são realizadas basicamente por três métodos diferentes, são eles: métodos indutivos; força ou deslocamento, quando um material magnetizado é submetido a um gradiente de campo magnético; e através da variação de alguma propriedade intrínseca do material tal como efeito *Hall*, magnetorresistência e magneto-óptica (SAMPAIO *et al.* 2000).

Os métodos magnéticos e gravitacionais têm muito em comum, porém o magnetismo é geralmente mais complexo e as variações no campo magnético são mais erráticas e localizadas, devido à diferença entre o campo magnético dipolar e a gravidade monopolar. O campo magnético tem direção variável, enquanto a gravidade é sempre vertical. Além disso, o campo magnético depende do tempo, enquanto o campo gravitacional é invariante no tempo (TELFORD *et al.*, 1990).

Um mapa das anomalias gravimétricas é dominado por efeitos regionais, enquanto o mapa das anomalias magnéticas contém efeitos das fontes magnéticas rasas (anomalias locais). As medições magnéticas são rápidas e possuem uma boa relação custo/benefício e as variações magnéticas detectadas possuem forte relação com descontinuidades/estruturas de caráter regional e associadas a ocorrências minerais e zonas de alteração (presença de minerais ferromagnéticos). Estas características tornam o método magnético versátil e de amplo uso na exploração mineral, mas não exclusivo.

Em levantamentos magnetométricos, é essencial ter uma compreensão detalhada da intensidade e das variações do Campo Magnético Terrestre. Isso é

alcançado por meio do uso de modelos matemáticos que nos permitem determinar tanto a direção quanto a intensidade do campo magnético em qualquer localização geográfica, com base no IGRF (International Geomagnetic Reference Field) e nas flutuações diárias desse campo.

A compreensão desses parâmetros é fundamental para realizar a correção dos dados brutos coletados durante o levantamento geofísico, permitindo-nos extrair informações específicas relacionadas ao objetivo deste estudo. (KEAREY *et al.*, 2009; DENDITH *et al.*, 2014).

A aplicação de técnicas de filtragem e destaque na base de dados necessita de uma estrutura específica que deve ser adotada. Essa estrutura consiste no banco de dados utilizado para essas técnicas. Definir as anomalias magnéticas primárias que são observadas. Para a realização deste trabalho, as técnicas, processamentos adotados e bibliografia são resumidos a seguir.

7.3.1 Tipos de mapas e produtos de análise semi-qualitativa

- **TMI - Mapa do Campo Magnético Anômalo Total:** o resultado do processamento é composto pelo IGRF ajustado e pelos dados subsequentes gerados. A flutuação do campo magnético ao longo do dia, também conhecida como variação diurna, é um fenômeno de praticidade limitada devido à sua utilidade mínima. A natureza dipolar deste fenômeno cria um desafio quando se tenta determinar o seu significado. O caráter desta ocorrência possui dois pólos opostos, o que pode gerar dificuldades de interpretação (TELFORD, 1990; KEAREY, 2009).
- **TMI-RTP - Mapa do Campo Magnético Anômalo Total Reduzidos ao Polo:** após revisão do mapa (TMI), foi utilizado o filtro conhecido como Reduction to Pole (RTP). Este filtro foi aplicado à anomalia. O conceito de magnetismo é caracterizado pela sua natureza monopolar e pela sua capacidade de chamar a atenção para a fonte de causalidade dentro do corpo. Isso é derivado dos princípios básicos da terapia magnética (TELFORD, 1990; KEAREY, 2009). Para mitigar as anomalias relacionadas ao polo magnético, emprega-se o filtro RTP, cuja expressão adotada pelo software é a seguinte:

$$RTP = \frac{[\sin(I) - \cos(I) \cos(D - \theta)]^2}{[\sin^2(Ia) + \cos^2(Ia)\cos^2(D - \theta)]. [\sin^2(I) + \cos^2(I)\cos^2(D - \theta)]}$$

Onde: **D** é a declinação do campo geomagnético local na época da aquisição; **Ia** inclinação para a correção de amplitude; **I** é a Inclinação geomagnética; e **θ** é a latitude polar.

7.3.2 Técnicas de realce e filtragem aplicadas aos dados aeromagnetométricos

Técnicas de filtragem, também denominadas “técnicas de realce” são definidas como a aplicação de filtros ao aprimoramento e melhor visualização dos limites e geometrias observadas nas anomalias observadas. São abordagens consolidadas e amplamente empregadas em estudos exploratórios. Neste estudo, a partir do Campo Magnético de Intensidade Total (TMI) o primeiro filtro a ser aplicado é a conversão do dipolo magnético (elementos geomagnéticos) ao polo terrestre. Este, é denominado de redução ao polo (RTP) e os subsequentes filtros, em ordem específica, foram aplicados conforme a seguir:

- 1DV - *Primeira Derivada Vertical*: é empregado para realçar anomalias magnéticas de alta frequência associadas às fontes causadoras superficiais (DENTITH; MUDGE, 2014). A Equação 1 destaca o filtro da primeira derivada vertical, onde A representa a amplitude da anomalia magnética:

$$DZ = \left(\frac{\delta A}{\delta Z} \right)$$

- ASA - *Amplitude do Sinal Analítico*: Exibe anomalias que incidem sobre a fonte causadora e é empregado para traçar os contornos de corpos geológicos (NABIGHIAN, 1972; ROEST; VERHOEF; PILKINGTON, 1992). A Amplitude do Sinal Analítico é calculada com base na seguinte equação, em que A representa os valores do campo magnético anômalo:

$$ASA = \sqrt{\left(\frac{\partial A}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial A}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial A}{\partial z} \right)^2}$$

- ISA - *Inclinação do Sinal Analítico*: engloba anomalias que ocorrem no centro dos corpos, enquanto apresenta valores nulos próximos aos limites do corpo, com valores máximos e negativos fora da fonte causadora que não coincidem. (MILLER; SINGH, 1994). É determinado pela seguinte equação, a qual representa a razão normalizada entre as derivadas vertical (VDR) e horizontal (THDR):

$$TDR = \tan^{-1} \left(\frac{VDR}{THDR} \right)$$

- *Pseudo Gravity*: Converte o sinal magnético dipolar e respectivos elementos da declinação e inclinação do local em uma anomalia de caráter gravimétrico (monopolar). Definido por Baranov (1957), a anomalia pseudo gravimétrica simplifica o processo de interpretação dos dados magnéticos considerando que a magnetização apresenta o mesmo comportamento que a densidade. Isto é baseado no teorema de *Poisson* que conecta a gravidade e os potenciais magnéticos de um corpo que é magnetizado em uma determinada direção. A transformação de pseudo gravidade assume uma distribuição de densidade convencional para o corpo tal que a densidade em qualquer ponto é J/G onde J é a intensidade da magnetização naquele ponto e G é a constante gravitacional. Permite calcular a componente da gravidade que cai em uma determinada direção a partir da anomalia magnética, desde que a direção de magnetização m seja conhecida (Baranov, 1957).

7.3.3 Deconvolução de Euler/3D

A Deconvolução de Euler é um método utilizado na interpretação de dados magnéticos, visando estimar a profundidade média de fontes e corpos magnéticos. Essa técnica foi originalmente proposta por Thompson em 1982 com o propósito de facilitar análises rápidas de extensos conjuntos de dados magnéticos. Seu fundamento reside na aplicação da relação de homogeneidade de Euler, possibilitando sua aplicação em diversas estruturas geológicas, como falhas, contatos magnéticos, diques, entre outras. A identificação dessas estruturas é

conduzida através de um parâmetro denominado índice estrutural, que caracteriza a natureza da anomalia em estudo. (Thompson, 1982; Reid *et al.*, 1990)

A abordagem de deconvolução de Euler 3D, conforme detalhada por Thompson (1982) e Reid *et al.* (1990), é uma versão tridimensional dessa técnica. Ela oferece uma interpretação qualitativa e a capacidade de calcular a profundidade estimada de anomalias magnéticas com base no tamanho da janela. Além disso, a deconvolução de Euler 3D proporciona um índice estrutural (SI) específico para diferentes tipos de feições geológicas, sendo:

- *Structural Index* - SI=0 fontes e profundidades associadas a contatos e descontinuidades;
- *Structural Index* - SI=1 fontes e profundidades associadas a sills e diques.

8 TRABALHOS ANTERIORES APLICADOS

8.1 Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto

Nas últimas décadas, o emprego do geoprocessamento com ênfase a dados de sensoriamento remoto vem desempenhando significativo papel nas diferentes áreas das geociências. Dentre estes, pode-se citar o estudo de Quadros *et al.* (2000) que empregou uma integração de dados de SIG para definir o potencial de ouro presente na Ilha Cristalina de Rivera, localizada no Uruguai. Essa integração é feita por meio do uso de mapas de favorabilidade mineral que fornecem informações sobre a continuidade dos trabalhos de exploração em áreas identificadas como alvos potenciais em escalas de semidetalhe e detalhe. O significado do valor econômico da Isla Cristalina de Rivera e a necessidade de descobrir novos depósitos minerais pela Crystallex International Corporation, principal financiadora do projeto, são levados em consideração na tese.

Silva *et al.* (2011), demonstra resultados relevantes ao aplicar sensoriamento remoto na extração de rochas ornamentais no Noroeste do estado do Espírito Santo. O objetivo principal foi promover a sustentabilidade ambiental e a segurança dos trabalhadores nessa atividade. A Coordenação de SIG em parceria com a Coordenação de Planejamento de Mineração do DNPM mapeou e inventariou todas as jazidas nos doze municípios da região.

O levantamento inicial foi realizado por meio de fotointerpretação de imagens aéreas ortorretificadas de 2008, seguido de validação em campo. Os dados coletados foram inseridos em um banco de dados de análise processual, composto pelo sistema de informação geográfica da extração de rochas ornamentais no Noroeste do Espírito Santo. Essas ferramentas são eficazes não apenas para o planejamento da extração, mas também para o monitoramento e gestão das atividades mineradoras, contribuindo para o combate ao garimpo predatório e o fomento do extrativismo racional em conformidade com a legislação, meio ambiente e sociedade.

Em Valon *et al.* (2014) são apresentados os resultados do uso do método Geocondutímetro (FDEM-GCM) e Sensoriamento Remoto na prospecção de minerais de cobre. O objetivo foi mapear zonas de fratura que indicam potencial mineralização de cobre. A pesquisa foi realizada na zona rural do município de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul, na qual foram identificadas ocorrências de cobre na Formação Maricá, como os carbonatos de cobre Azurita e malaquita preenchendo poros da rocha hospedeira. Os resultados revelaram a presença de zonas de falha e fraturas associadas à ocorrência dos minérios de cobre. Com base nesses resultados, foi desenvolvido um modelo geológico-geofísico da área de estudo.

8.2 Geofísica

O mapeamento geológico tendo a geofísica como suporte a detecção preliminar de feições a serem analisadas em campo é amplamente empregada atualmente. Exemplos como os estudos de Koppe *et al.* (1990) e Viter *et al.* (1997) demonstram a importância dessa abordagem em investigações geofísicas para avaliar com precisão a espessura e relações espaciais das sequências e principais estruturas regionais e locais.

Normalmente, os gastos com geofísica representam cerca de 5 a 20% do orçamento total para campanhas de prospecção, segundo Soares *et al.* (2001). No entanto, ao considerar apenas os custos associados aos levantamentos aéreos, esta percentagem reduz-se a apenas 2% (BORN *et al.* 2021).

No contexto da região de interesse (ESRG), Costa *et al.* (2016) oferece uma contribuição à pesquisa geofísica através da análise de dados aeromagnéticos e

aerogamaespectrométricos, obtidos pelo Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul em 2010 do Terreno São Gabriel/RS. Os dados magnetométricos mostraram os principais lineamentos magnéticos, provavelmente associados a estruturas de subsuperfície. Esses resultados oferecem um vasto potencial para pesquisas mais abrangentes, que contribuirão para a compreensão geocientífica dessa importante região do ESRG.

Em Pereira *et al.* (2017), foram utilizados ensaios de caminhamento elétrico e eletromagnético para avaliar a possível continuidade lateral Sudoeste das mineralizações da ocorrência cuprífera Capão Grande. A investigação da subsuperfície foi realizada por meio de quatro perfis perpendiculares à ocorrência mineral. Os modelos de inversão obtidos a partir do caminhamento elétrico identificaram áreas centrais com baixa resistividade nos perfis 2, 3 e 4, indicando possíveis áreas de mineralização em subsuperfície e sugerindo sua continuidade para Sudeste da ocorrência. Enquanto isso, as seções de condutividade aparente permitiram estimar a presença de sulfetos na subsuperfície, correlacionando áreas de alta condutividade com as regiões de baixa resistividade associadas à mineralização prévia. Sendo assim, a geofísica destaca-se como uma ferramenta valiosa para a investigação e estimativas do potencial mineral da subsuperfície.

Hispanhol *et al.*(2023), por meio da integração de dados descreve a importância da compreensão das estruturas rochosas graníticas no Escudo Rio Grande do Sul (SRGS) para apoiar a pesquisa de ocorrências minerais na região. O estudo se concentra na Zona de Cisalhamento Caçapava do Sul e usa dados de aeromagnetometria para identificar lineamentos, domínios e estimar a profundidade das rochas subjacentes. Técnicas como deconvolução de Euler 3D e Source Parameter Imaging são aplicadas para determinar a profundidade do embasamento magnético. O estudo revela a influência da Zona de Cisalhamento Caçapava do Sul na superfície do embasamento magnético, especialmente em seus limites Sudoeste, fornecendo informações valiosas para futuros mapeamentos geológicos e estudos sobre a evolução do Complexo Granítico Caçapava do Sul.

9 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste item, é detalhado as etapas, técnicas e recursos aplicados ao desenvolvimento deste estudo.

9.1 Revisão bibliográfica e compilação de base de dados geológicas e geofísicas

Primeiramente, descreve-se a abordagem metodológica adotada para identificar e selecionar as fontes bibliográficas relevantes. A revisão bibliográfica é uma etapa crucial para fundamentar o estudo e contextualizar as descobertas dentro do corpo existente de conhecimento científico. Os critérios de seleção, as bases de dados e os recursos de pesquisa utilizados, bem como os termos de busca e as estratégias de filtragem adotadas.

Aborda-se a metodologia empregada para a compilação das bases de dados geológicas e geofísicas. Isso envolverá a coleta, organização e processamento das informações georreferenciadas provenientes de fontes diversas, como mapas geológicos, perfis geofísicos, dados de sensoriamento remoto e outras fontes relevantes. As ferramentas e os softwares utilizados para geração de mapas, bem como os procedimentos de validação e qualidade dos dados.

9.2 Análise e interpretação de resultados

Nesta etapa, no tópico resultados, serão apresentados os procedimentos adotados na pesquisa para conduzir a análise e interpretação dos resultados obtidos. Serão detalhados os métodos estatísticos e ferramentas analíticas utilizados para processar os dados brutos. Também serão abordados os critérios de inclusão e exclusão de dados, quando aplicáveis.

O presente artigo baseia-se em uma abordagem multifacetada, utilizando diversas ferramentas e softwares para uma análise abrangente. Durante o processo, foram empregados recursos como o QGIS para manipulação e análise geoespacial, o Oasis Montaj para geofísica, o Google Earth Pro para visualização tridimensional, além do Illustrator para aprimorar a representação gráfica. A elaboração e organização do conteúdo foram realizadas por meio do Microsoft Word, enquanto o Microsoft Excel foi fundamental para a análise de dados.

Em seguida, será explicada a abordagem adotada para a interpretação dos resultados. Isso engloba a contextualização dos achados dentro do contexto teórico, a identificação de tendências, padrões e relações significativas, bem como a discussão das implicações práticas e teóricas dos resultados. Além disso, busca-se

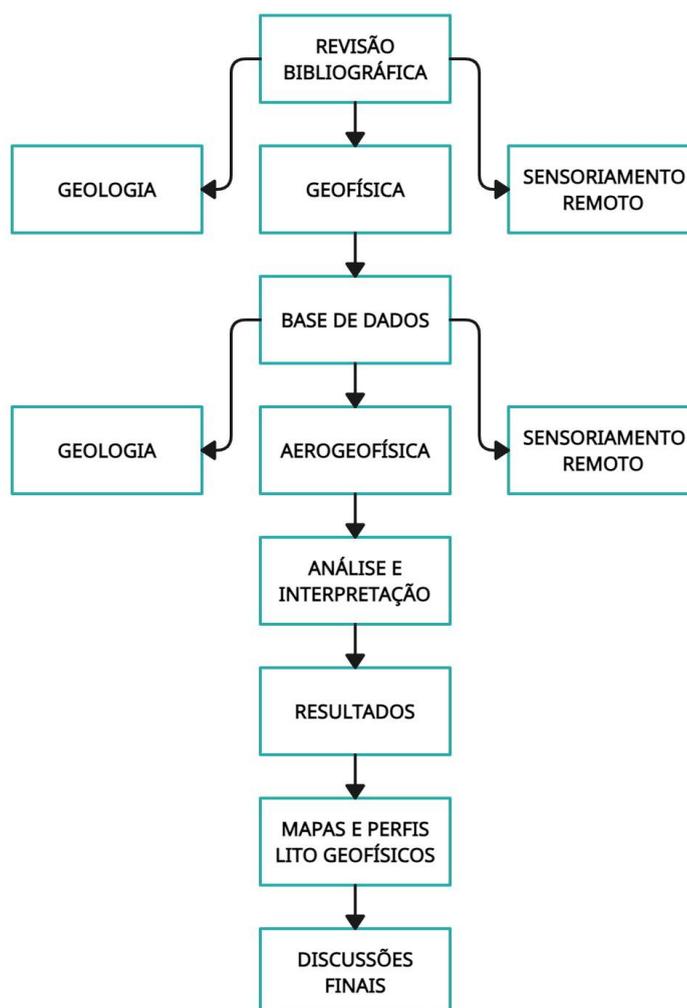
garantir que as conclusões apresentadas sejam respaldadas por uma análise metodológica sólida, contribuindo assim para a validação do estudo.

9.3 Considerações finais

A elaboração das conclusões finais é um processo que envolve a síntese de todas as informações e resultados obtidos ao longo da pesquisa, com o objetivo de oferecer resultados significativos e perspectivas claras sobre o tópico em questão.

Serão delineados os critérios e procedimentos que orientaram a análise dos dados e a revisão da literatura. Isso incluirá detalhes sobre como foi avaliado e interpretado os resultados, bem como os métodos utilizados para identificar tendências, lacunas de conhecimento e áreas de interesse.

Figura 4 - Fluxograma.



10 RESULTADOS

Os resultados apresentados a partir dos materiais e métodos adotados ofereceram subsídios à definição de tendências, padrões, correlações proporcionando futuras discussões e conclusões acerca das feições e elementos observados na área.

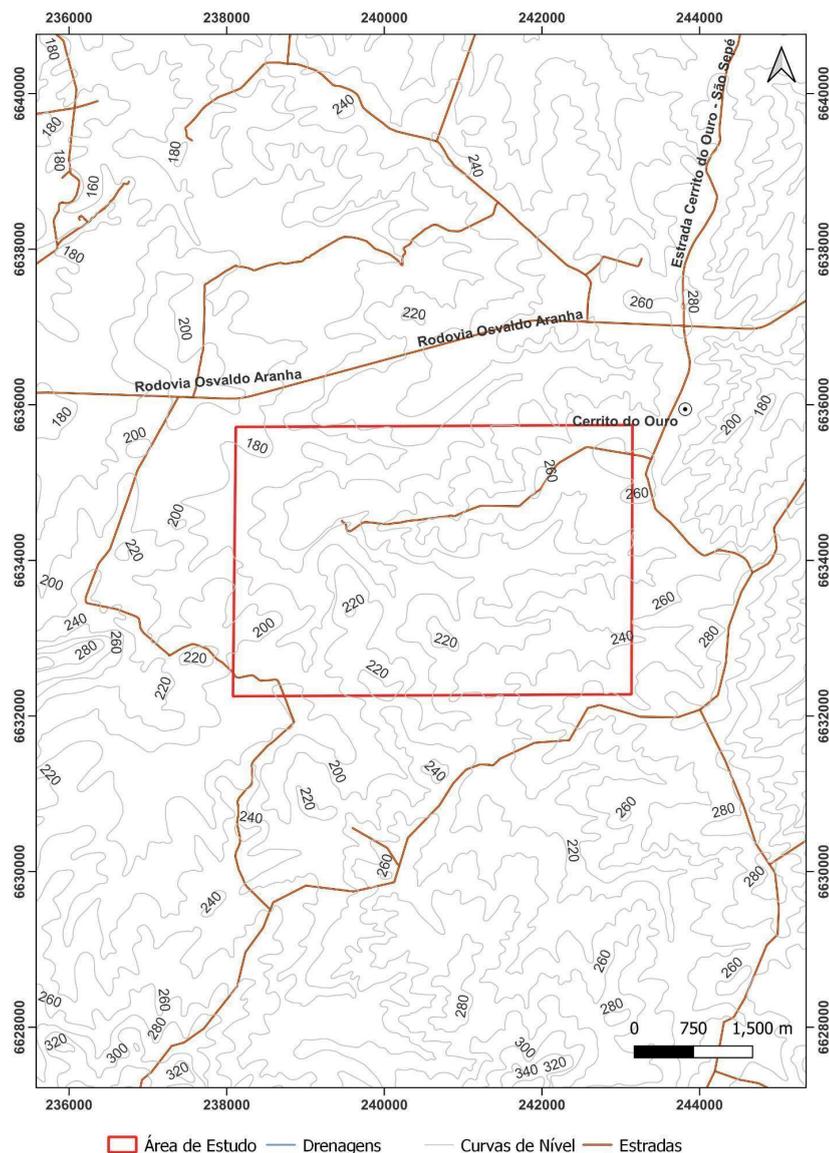
10.1 Geologia e geofísica - geração de bases de dados e integração

Nessa etapa, foram pesquisados em diferentes plataformas de busca como artigos, livros, resumos de congressos, dentre outros, estudos relevantes relacionados a geoprocessamento, integração e análise de dados como: i) modelos digitais de elevação; ii) descontinuidades/estruturas geológicas; iii) drenagens; iv) classes dos solos; v) vegetação.

10.2 Elevação de terreno

O relevo da área de estudo varia entre 180m a 260m. A porção Noroeste é onde estão presentes as elevações mais baixas, entretanto nas áreas localizadas na direção Nordeste, Sul, Sudeste e Sudoeste é onde predominam as maiores elevações. A Figura abaixo evidencia as curvas de níveis da área.

Figura 5 - Mapa de situação da área de estudo e principais acessos.

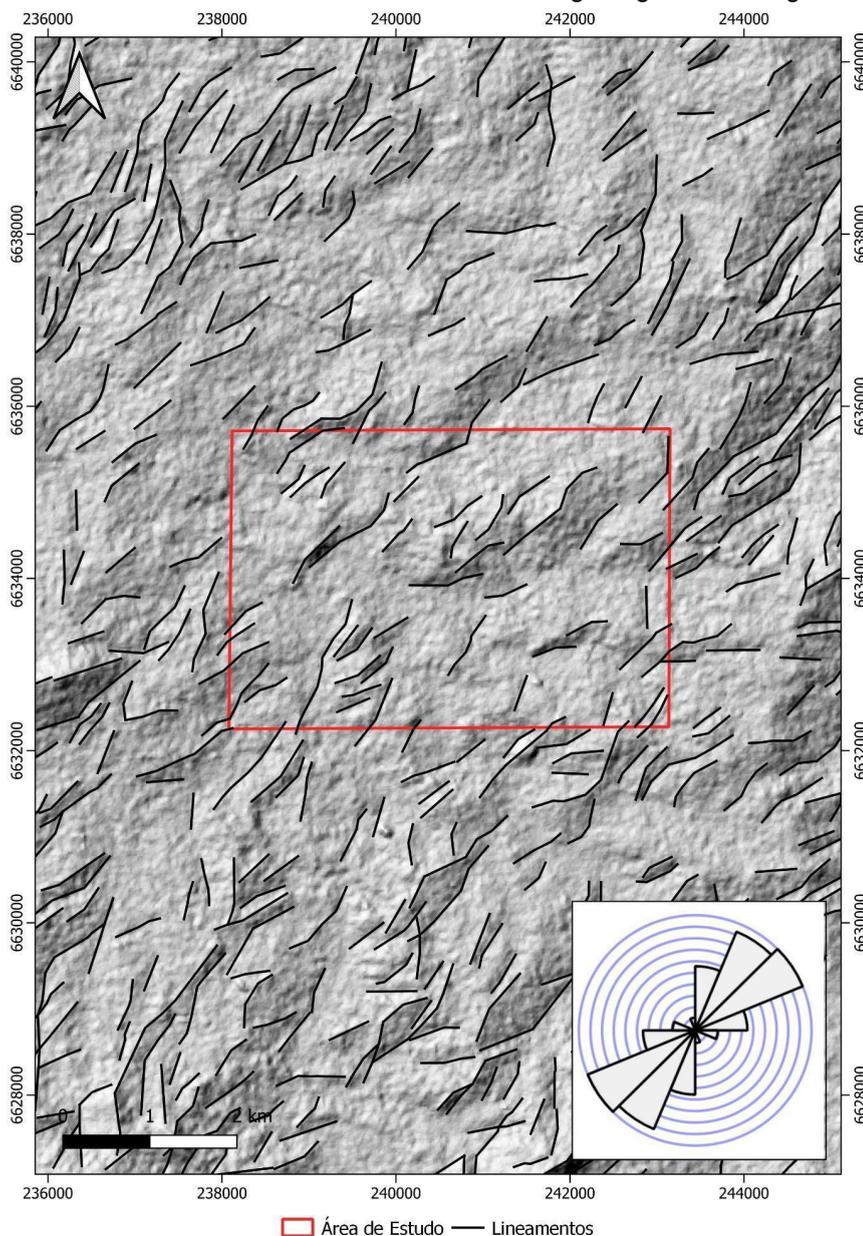


Fonte: Autor.

10.3 Descontinuidades/estruturas geológicas

Na área de estudo e região circundante, a densidade das estruturas são uniformes, mantendo-se constante em toda a região. Em relação à orientação dos lineamentos morfoestruturais, predomina a presença de uma família principal com direção NE-SW. Segue abaixo a Figura 6 com os lineamentos presentes na área de estudo e o diagrama de roseta.

Figura 6 - Mapa evidenciando as discontinuidades/estruturas geológicas e o diagrama de roseta.

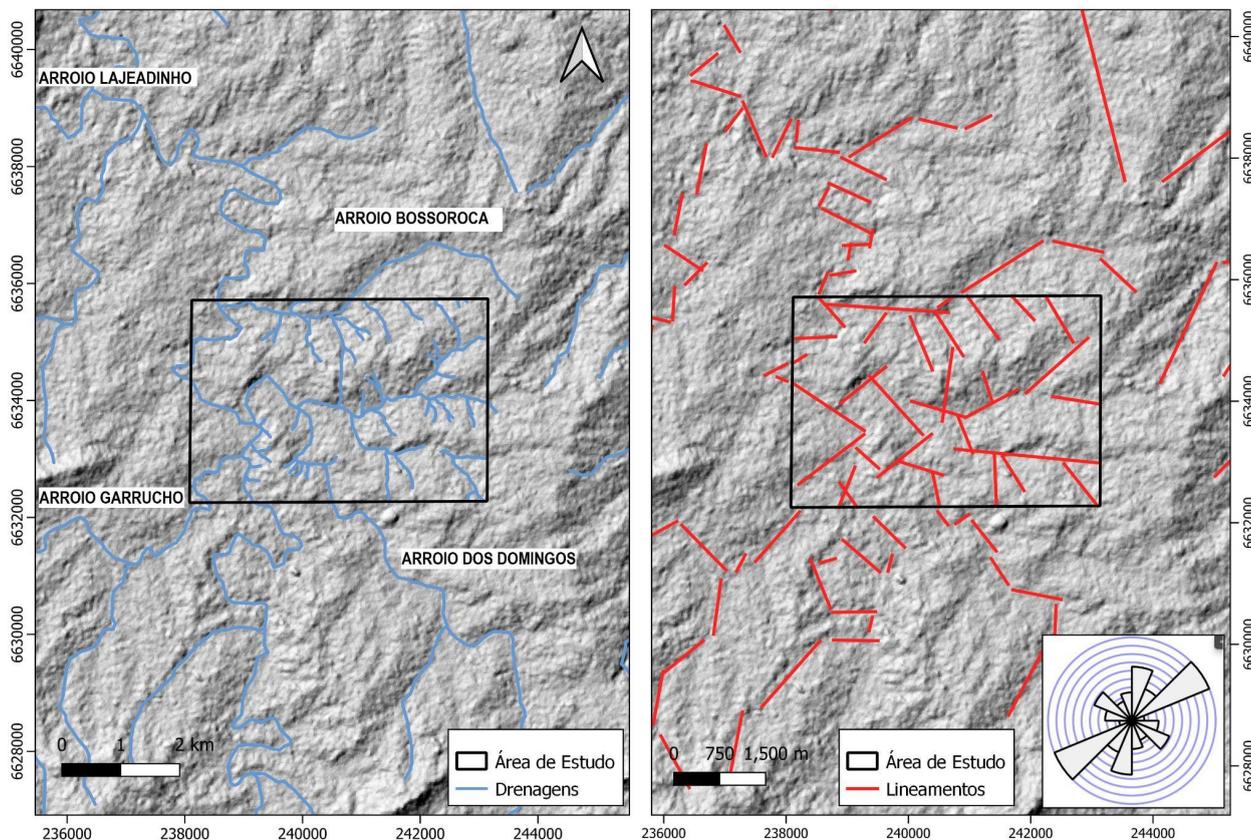


Fonte: Autor.

As características hidrográficas moldam a paisagem local e influenciam diversas atividades econômicas da região. As drenagens que se destacam próximo a área de estudo (Figura 7) são: Arroio Lajeadozinho, Arroio Bossoroca, Arroio Garruncho e Arroio dos Domingos.

A partir da imagem de satélite (*Google Earth*, 2023) foi, adicionalmente, realizado uma análise a partir das estruturas extraídas das drenagens na área. Para esse fim, um diagrama de roseta de frequências foi gerado. Valores de direção NE-SW predominam no local (Figura 7), mantendo o padrão da Figura 6, porém ocorrem valores de com direção NW-SE com menos intensidade.

Figura 7 - Mapa evidenciando as drenagens (esquerda) e as descontinuidades/estruturas a partir das drenagens com diagrama de roseta (direita).

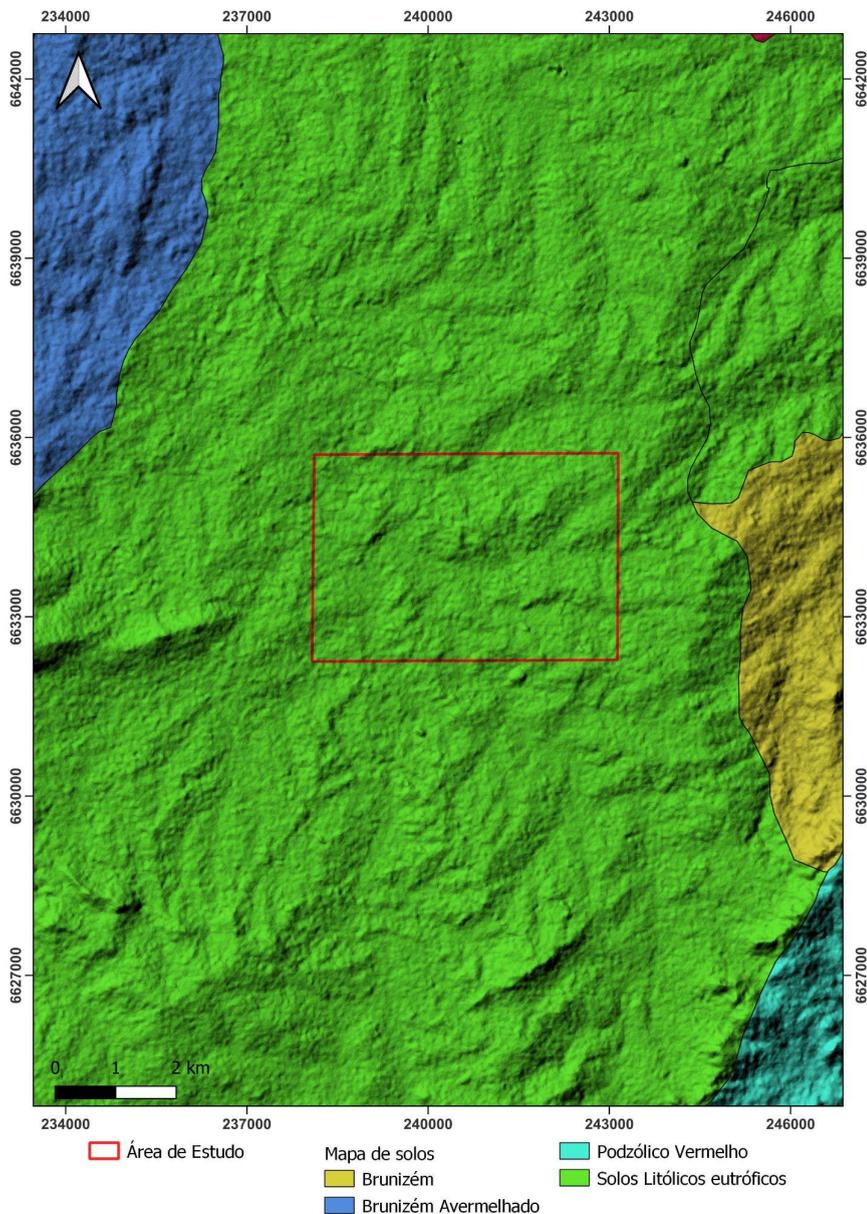


Fonte: Autor.

10.4 Classes dos solos

O tipo de solo predominante na área de estudo é classificado como Litólico eutrófico. São caracterizados por apresentarem baixa profundidade, com a soma dos horizontes sobre a rocha, geralmente não ultrapassando 50 cm (EMBRAPA, 2018).

Figura 8 - Mapa pedológico da área de estudo e arredores.



Fonte: Autor.

10.5 Vegetação

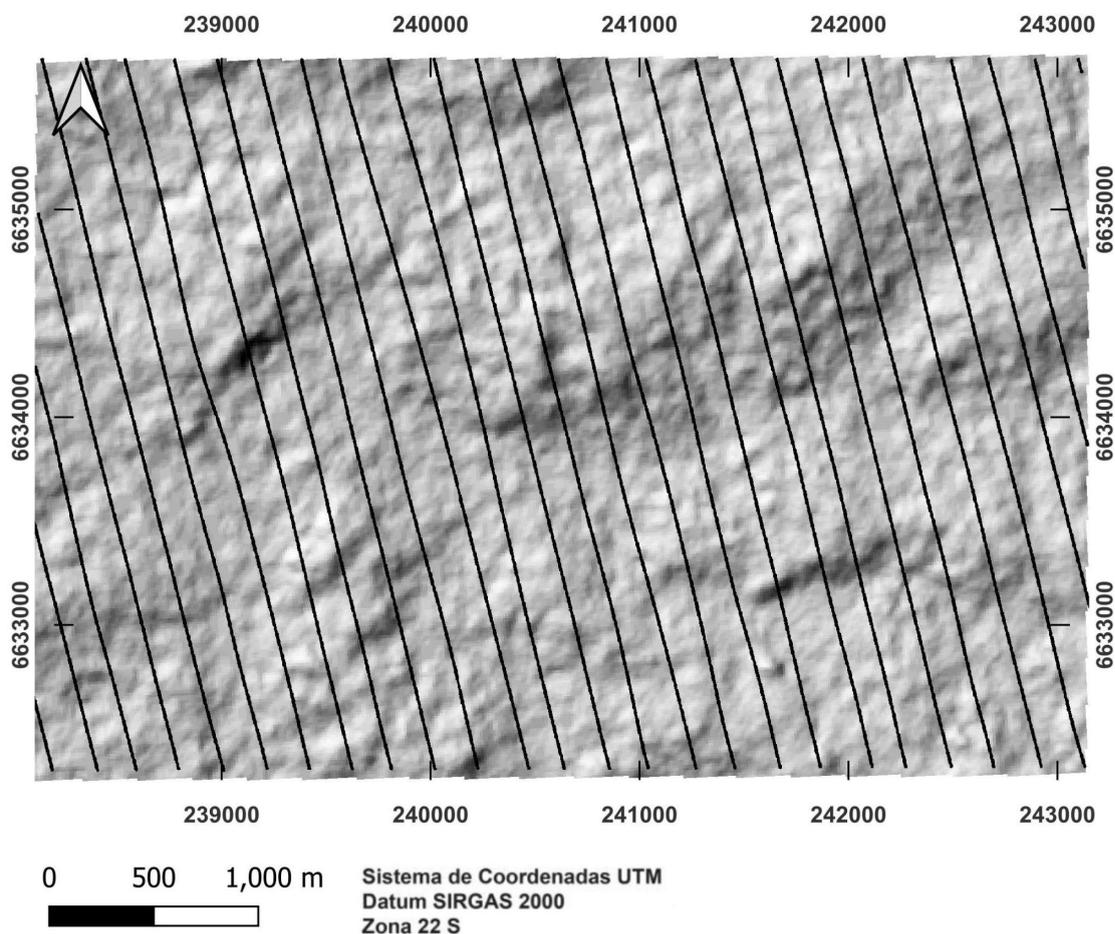
A área apresenta uma variedade de formações vegetais típicas da região Sul do país. A vegetação na região inclui remanescentes de Mata Atlântica, que é uma floresta tropical úmida característica do litoral Sul do Brasil. Além disso, é comum encontrar os campos abertos dos pampas, cobertos por gramíneas e arbustos. Além

disso, as atividades agrícolas são uma parte significativa da paisagem, com áreas dedicadas à agricultura que também fazem parte da vegetação (BOLDRINI, 2009).

10.6 Integração e análise de resultados - área inicial

A partir da base de dados aerogeofísica gentilmente fornecida pela Galvani Mineração SA (Figura 9), a densidade amostral (pontos medidos) é apresentada por meio das linhas de voo e respectivos espaçamento de aproximadamente 200m entre essas, juntamente com a variação topográfica do terreno. As anomalias de altos valores estão descartadas em branco nos mapas.

Figura 9 - Mapa das linhas de voo realizadas no local de estudo.



Fonte: Autor.

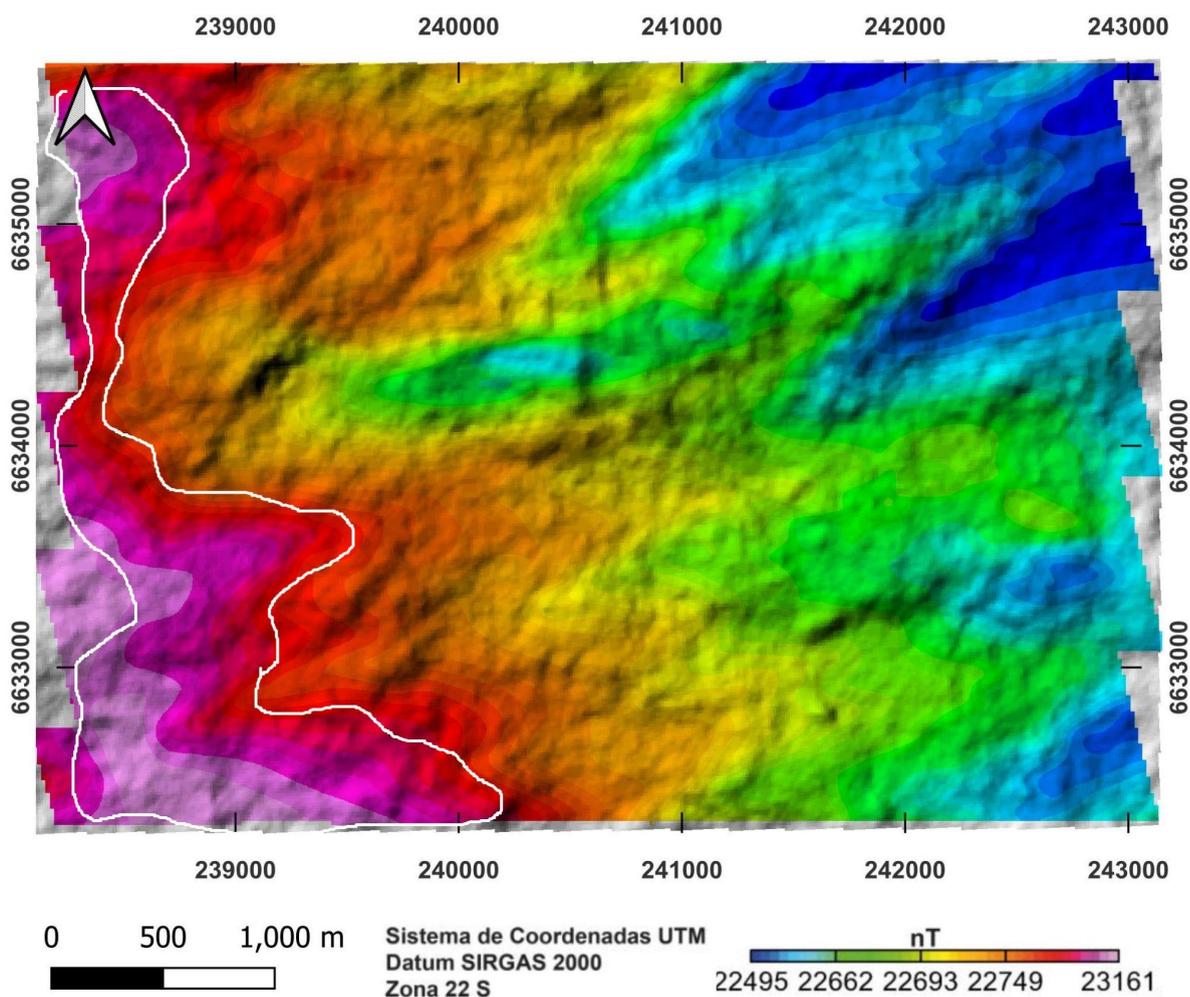
Neste item, são apresentados os mapas das anomalias geofísicas na área de interesse, na qual pode-se observar as variações dos valores magnetométricos significativos na área (anomalias mínimas e máximas).

A partir do mapa TMI (Figura 10), é identificado uma anomalia alongada que se estende na direção N-S na porção Leste da área e que possui aproximadamente 3.400m de comprimento e 1.200m de largura, abrangendo uma área total de 4.080km². Os valores magnéticos variam de 22.495 nT a 22.662 nT.

Também, ocorre a presença de uma segunda anomalia localizada na porção central do mapa. Esta, apresenta uma forma alongada, com aproximadamente 3.400m de comprimento e 2.200m de largura, cobrindo uma área total de 7.480km². Os valores magnéticos nessa anomalia variam de 22.662 nT a 22.749 nT.

A terceira anomalia ocorre com geometria alongada e direção N-S no lado Oeste da área, tendo aproximadamente 3.400m de comprimento e 700 m de largura, abrangendo uma área total de 1.300km². Os valores magnéticos nessa anomalia variam de 22.749 nT a 23.161 nT.

Figura 10 - Mapa dos valores observados do Campo Magnético Anômalo Total (TMI) na área de estudo. As anomalias de altos valores estão descartadas em branco no mapa.



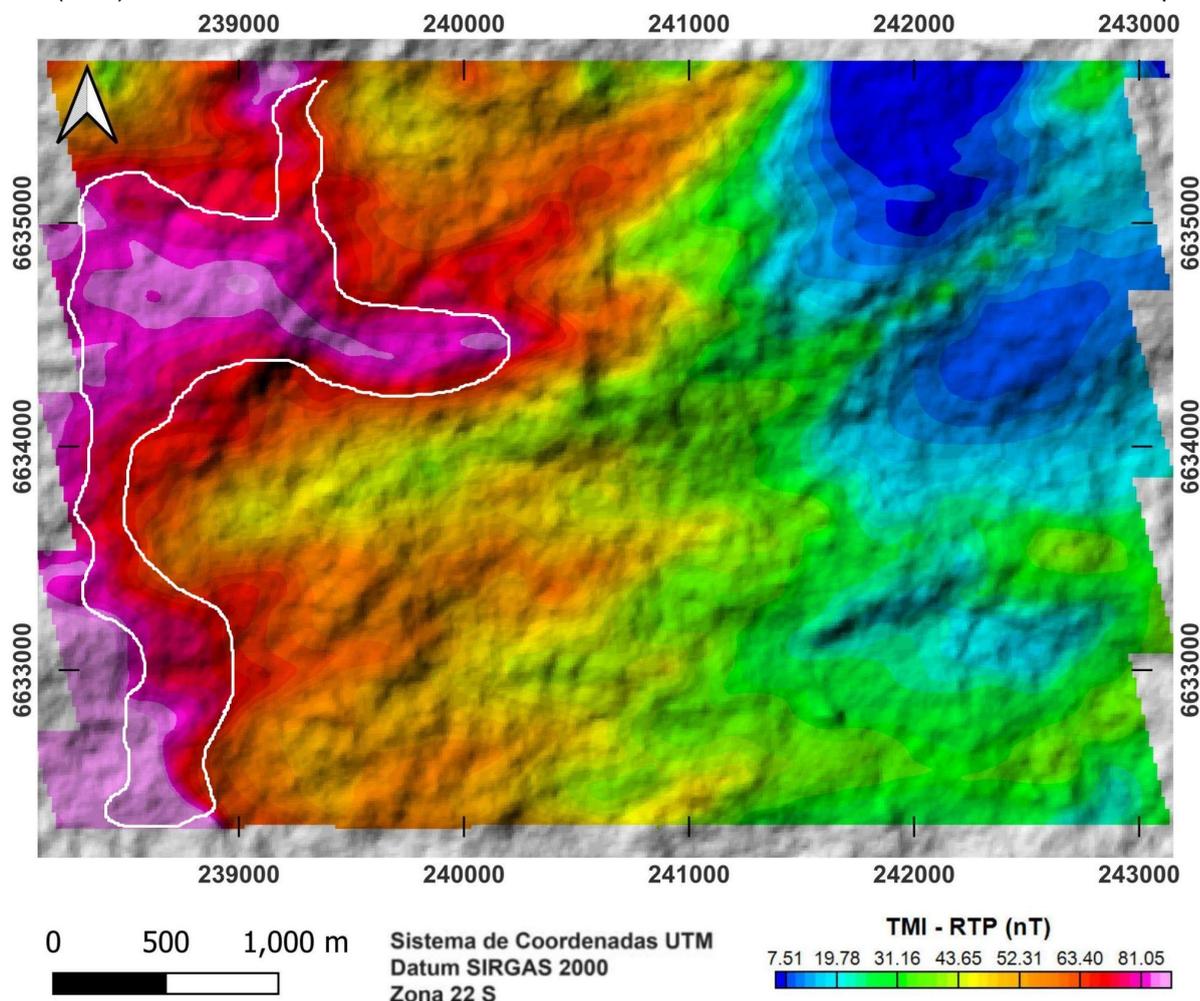
Fonte: Autor.

Com relação ao mapa dos valores observados do Campo Magnético Anômalo Total (TMI) Reduzidos ao Polo (RTP) (Figura 11), em sua porção Leste, ocorrem duas anomalias circulares, cada uma com um diâmetro de aproximadamente 1.500 metros. Juntas, abrangem uma área total de 3.000km². Além disso, ao Sul das anomalias descritas acima, encontra-se uma anomalia menor de forma prismática, estendendo-se por aproximadamente 1.300m de comprimento e 600m de largura, com uma área 0.780km². Os valores magnéticos registrados variam de 7.51 nT a 19.78 nT.

No centro do mapa, uma anomalia de grande escala domina a área. Com aproximadamente 3.400m de comprimento e uma largura de 2.400m, apresenta uma área total de 8.160km². Os valores magnéticos associados a essa anomalia variam de 31.16 nT a 63.40 nT.

A Oeste do mapa ocorre uma anomalia alongada, estendendo-se da direção N-S. Com um comprimento de aproximadamente 3.400 metros e uma largura que, em seu máximo abrange 500 metros de comprimento, essa formação cobre uma área total de cerca de 2.400km². Os valores magnéticos associados a essa anomalia variam de 63.40 nT a mais de 81.05 nT.

Figura 11 - Mapa dos valores observados do Campo Magnético Anômalo Total (TMI) Reduzidos ao Polo (RTP) na área de estudo. As anomalias de altos valores estão descartadas em branco no mapa.



Fonte: Autor.

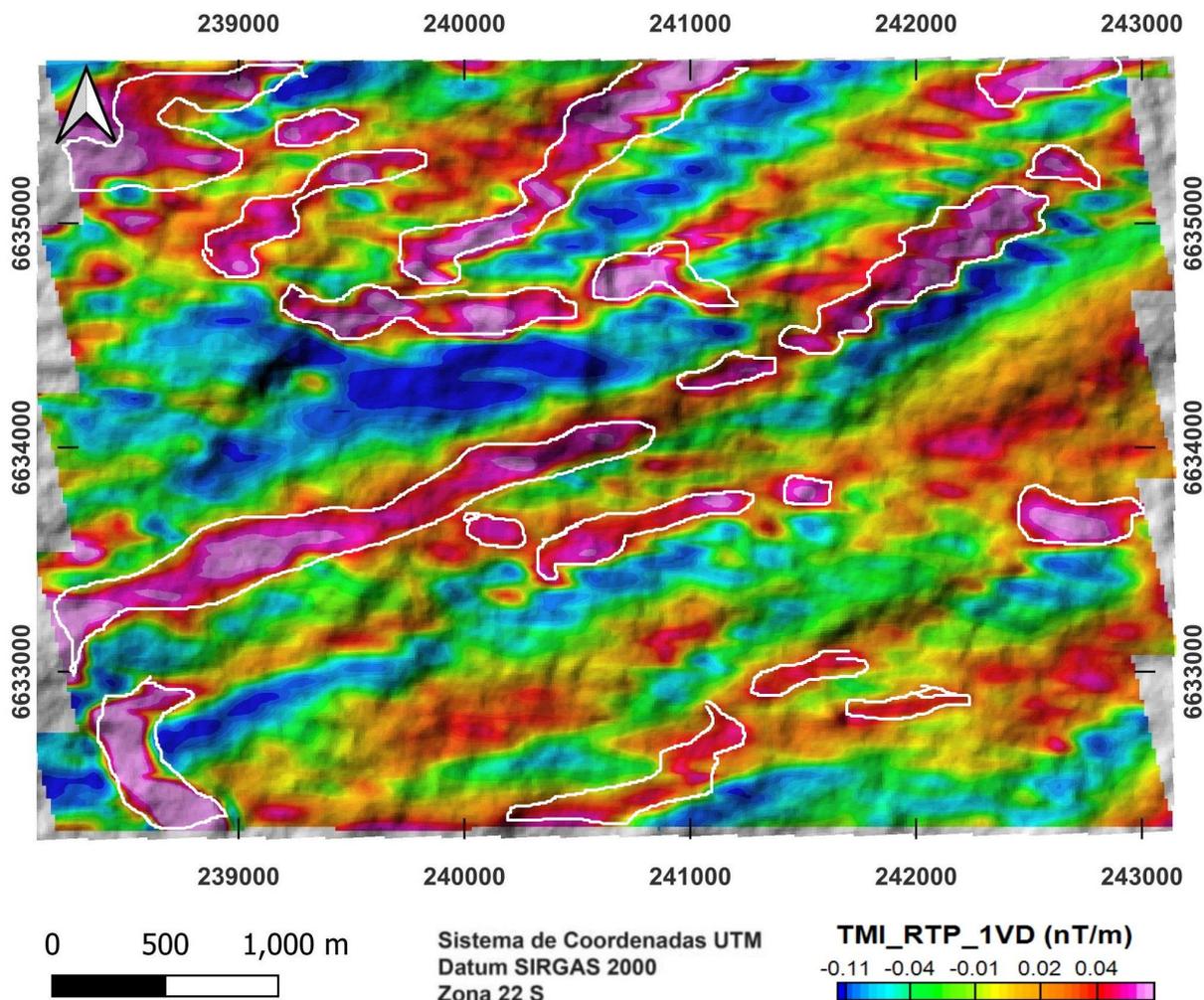
Enquanto isso, no mapa da Figura 12, destacam-se as anomalias alongadas que se estendem por toda a área, com valores magnéticos variando de -0.11 nT/m a -0.04 nT/m. Essas anomalias são particularmente abundantes na porção Norte da área de estudo e possuem direção NE-SW.

Em seguida, é possível observar a presença de anomalias distribuídas de forma homogênea em todo o mapa, com valores magnéticos que variam de -0.04 nT/m a 0.02 nT/m e, também, com direção preferencial NE-SW.

Ainda no mesmo mapa, há uma distribuição homogênea com valores magnéticos mais elevados, variando de 0.02 nT/m a 0.04 nT/m. Destaca-se a

presença de um corpo com valores próximos a 0.04 nT/m, que se estende na direção NE-SW.

Figura 12 - Mapa dos valores observados da Primeira Derivada Vertical (1VD) na área de estudo. As anomalias de altos valores estão descartadas em branco no mapa.

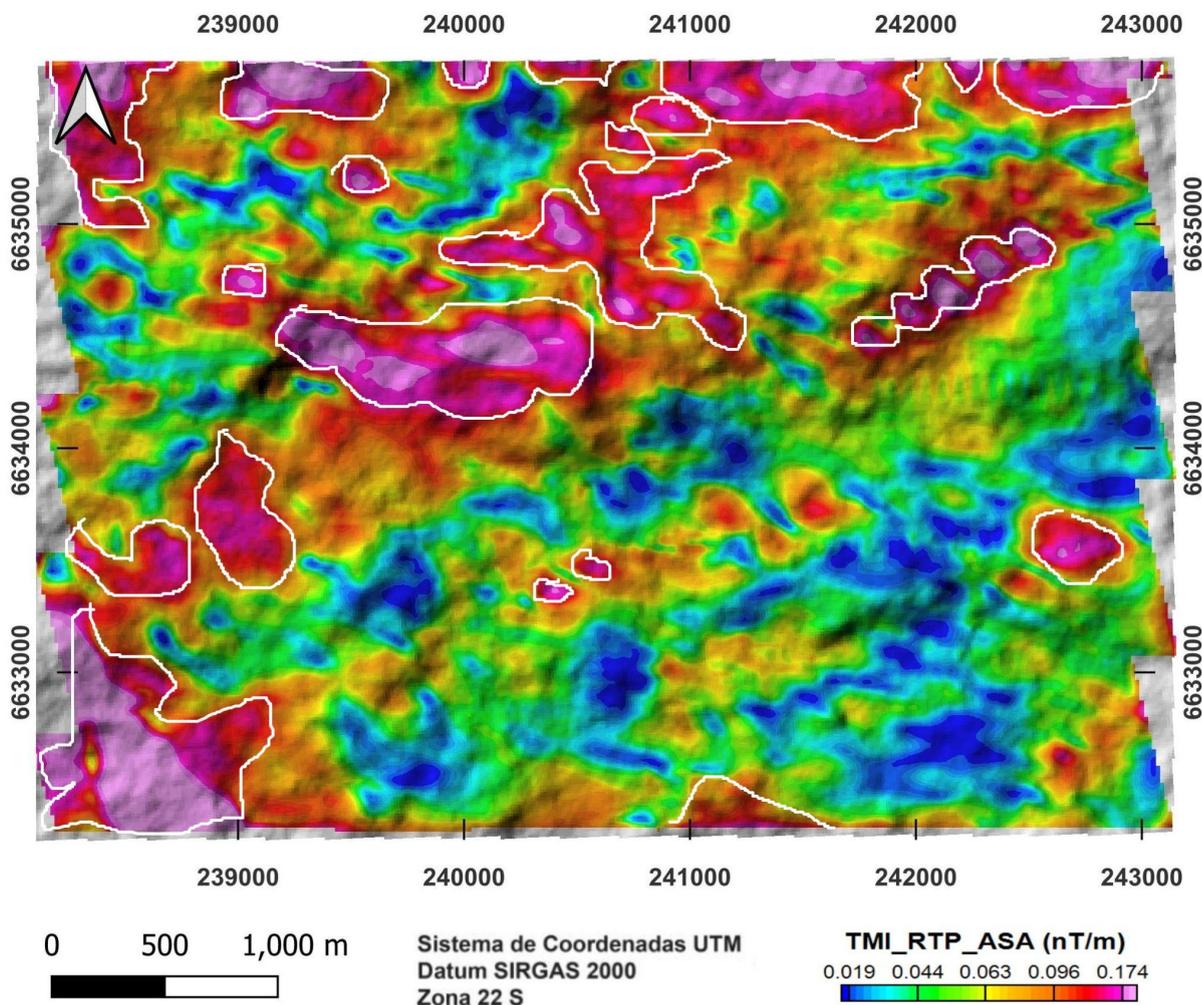


Fonte: Autor.

Já no mapa da Figura 13, há anomalias alongadas com valores magnéticos variando de 0.019 nT/m a 0.044 nT, sendo mais prevalentes na porção Sul da área de estudo. Também, observa-se anomalias distribuídas de maneira uniforme em toda a região, com valores magnéticos oscilando entre 0.044 nT/m e 0.096 nT/m.

Por fim, as anomalias magnéticas com valores que variam de 0.096 nT/m a 0.174 nT/m, existem com maior concentração na porção Norte e Oeste. Destaca-se a presença de um corpo circular com valores magnéticos próximos a 23.161 nT na porção Noroeste do mapa.

Figura 13 - Mapa dos valores observados da Amplitude do Sinal Analítico (ASA) na área de estudo. As anomalias de altos valores estão descartadas em branco no mapa.



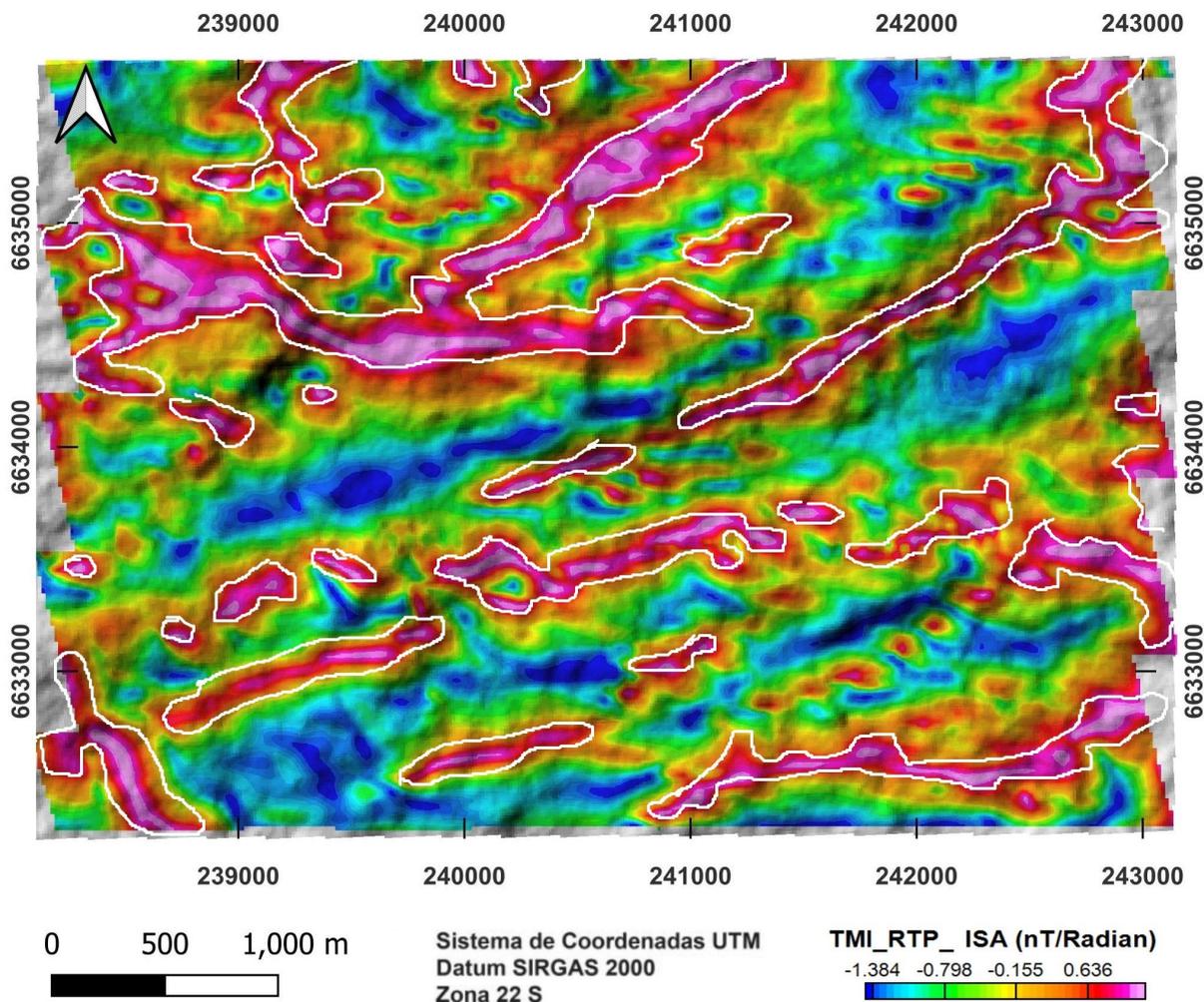
Fonte: Autor.

No mapa abaixo (Figura 14), destaca-se a presença de anomalias alongadas de direção aproximada E-W e NE-SW, com valores magnéticos variando de -1.384 nT/R a -0.798 nT/R. Contudo, essas anomalias são mais abundantes na porção Centro-Sul da área de estudo.

Em seguida, ocorrem anomalias alongadas com direção predominante NE-SW, com valores magnéticos oscilando entre -0.798 nT/R e -0.155 nT/R.

Também, ocorrem anomalias magnéticas com valores que variam de -0.155 nT/R a 0.636 nT/R e que abrangem toda a região. Notavelmente, destaca-se a presença de corpos com valores magnéticos acima de 0.636 nT/R, que se estendem por aproximadamente 3.000 metros, com direção NE-SW.

Figura 14 - Mapa dos valores observados da Inclinação do Sinal Analítico (ISA) na área de estudo. As anomalias de altos valores estão descartadas em branco no mapa.



Fonte: Autor.

A partir dessa análise das anomalias magnéticas presentes nos mapas acima, é possível notar que a grande maioria dos corpos magnéticos descritos seguem o padrão direcional NE-SW, ou seja, acompanham a direção das estruturas geológicas descritas no item 10.3.

10.7 Integração e análise de resultados - área selecionada (janelamento)

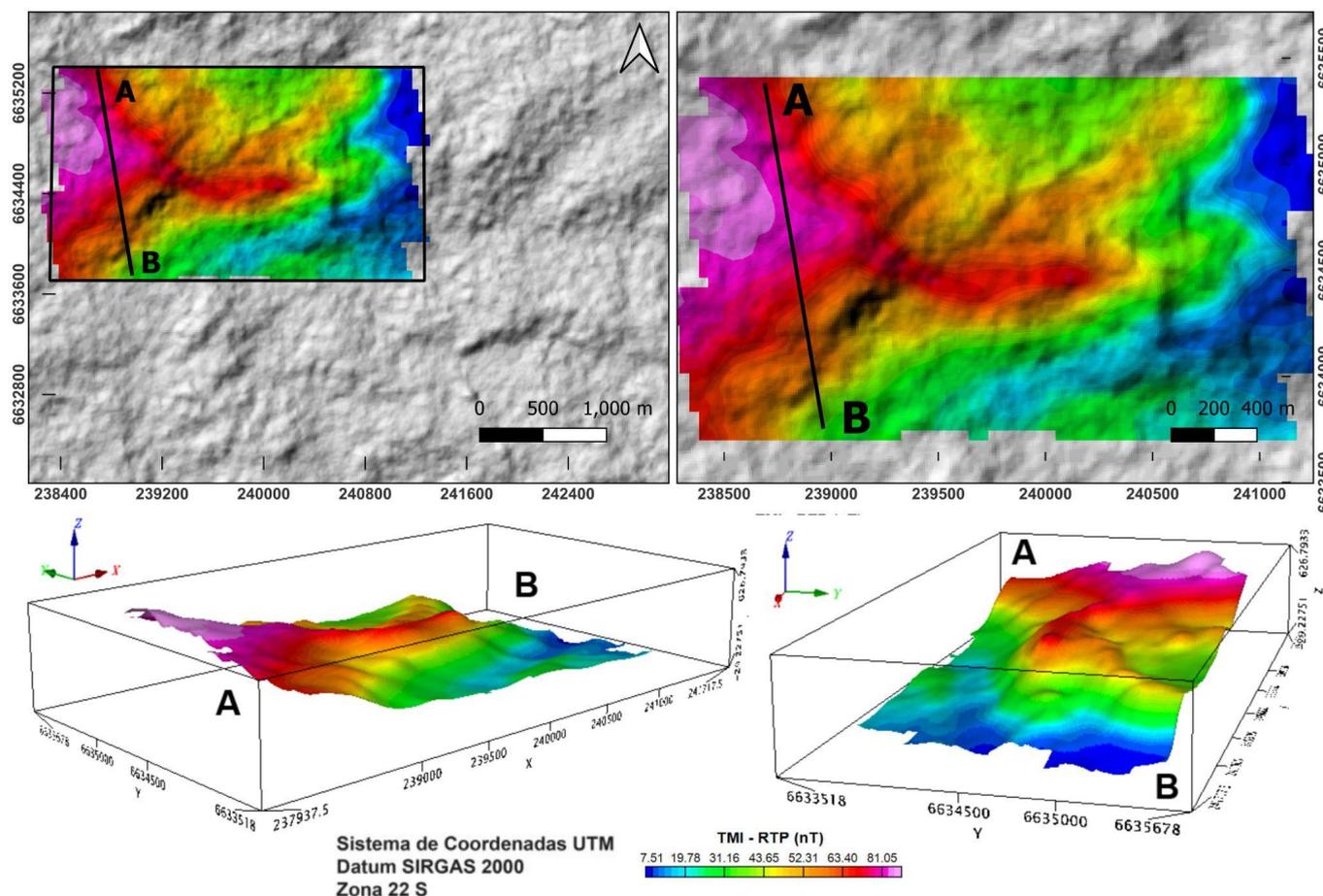
As anomalias aerogeofísicas observadas a partir das técnicas de realce, conduziram a detecção da área de detalhamento (interesse). Esta, é apresentada nos itens a seguir.

10.7.1 Perfil Selecionado - Interpretação e Modelo Lito Geofísico

A escolha da área para o perfil A-B fundamenta-se na significativa variação (magnitude) das anomalias magnéticas observadas em alguns setores. O janelamento designado para o perfil foi definido para o local de maior contraste magnetométrico. Este, oriundo da susceptibilidade elevada das rochas no local representado pelo mapa dos valores observados do Campo Magnético Anômalo Total (TMI) Reduzidos ao Polo (RTP); Inclinação do Sinal Analítico (ISA); Pseudo Gravity (Figuras 15, 16 e 17).

O perfil definido A-B apresenta uma anomalia de maior magnitude na porção Norte e central, decaindo para Sul. Possui valores magnéticos acima de 81 nT com variação até 63 nT a 31 nT, como é possível observar na Figura 15.

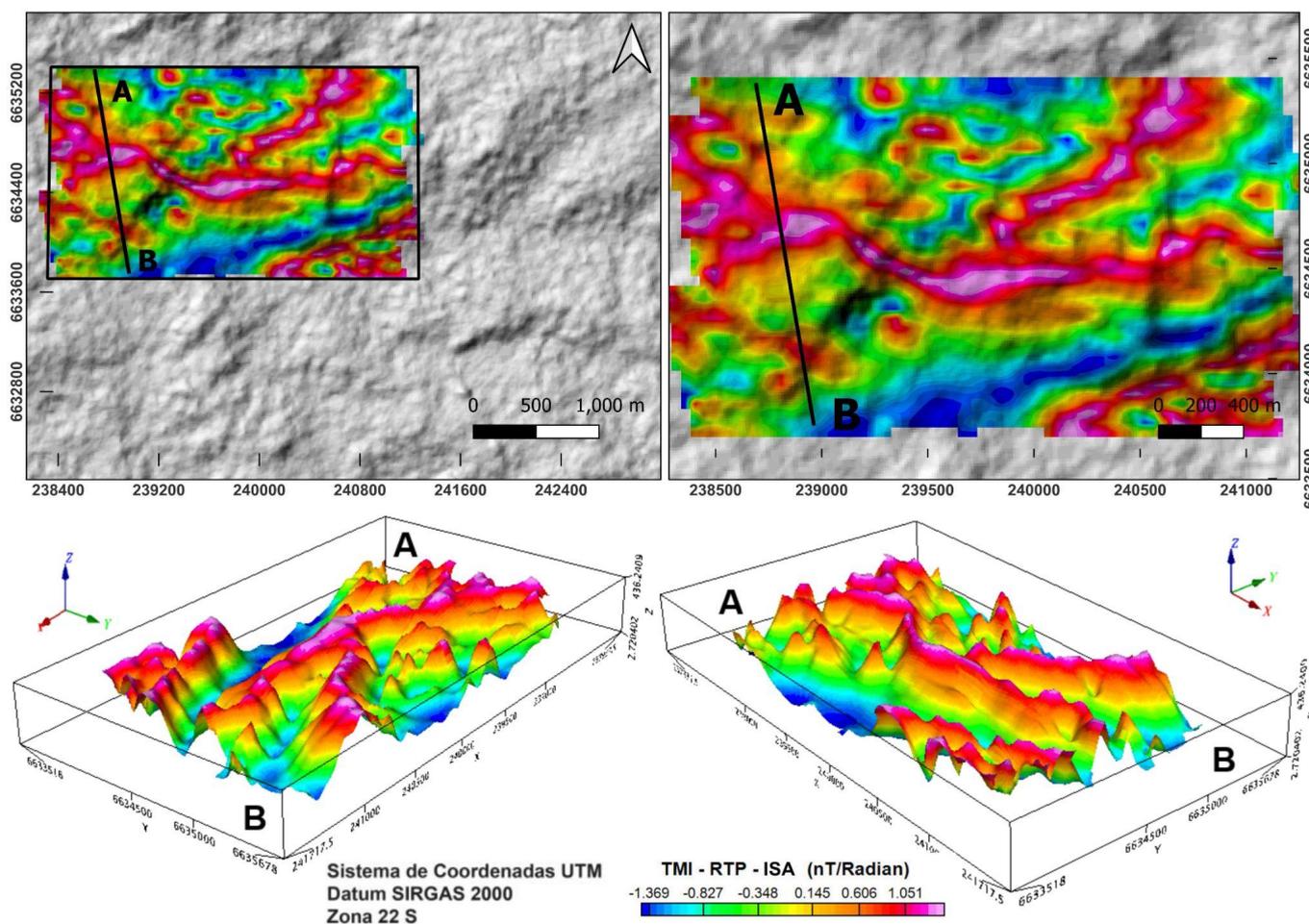
Figura 15 - Mapa dos valores observados do Campo Magnético Anômalo Total (TMI) Reduzidos ao Polo (RTP) na área de interesse (à esquerda visão dos limites da área de interesse e a direita mapa detalhado da anomalia observada). Abaixo, são apresentadas as visualizações em 3D da anomalia observada.



Fonte: Autor.

Na Figura 16, ressalta-se a presença de uma anomalia na parte central do perfil em estudo, com valores magnéticos que ultrapassam os 1.051 nT/R com direção preferencial de NW-SE. Na região Sul e Norte do perfil, por sua vez, os valores se mostram mais moderados, variando de -0.345 nT/R a 0.605 nT/R.

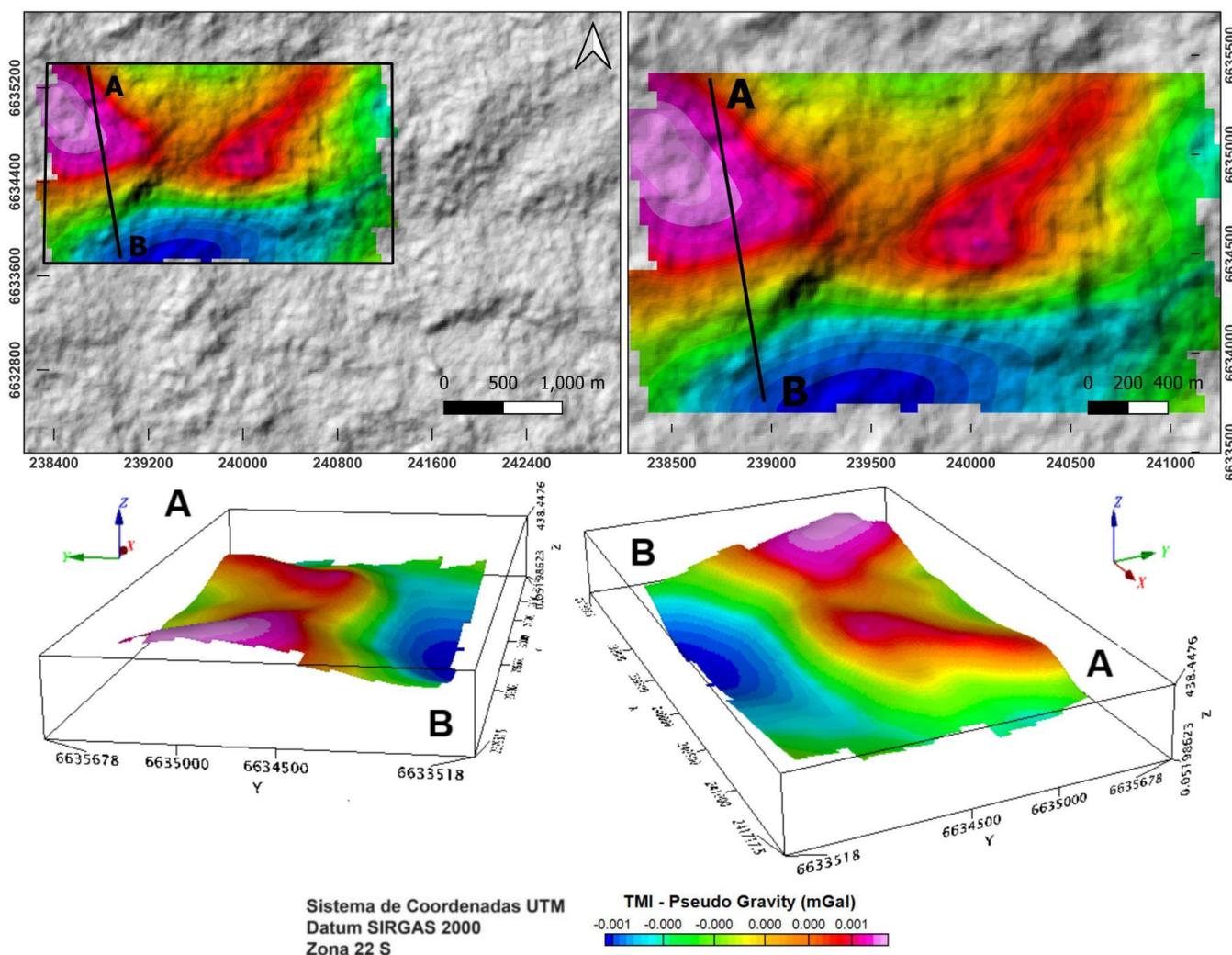
Figura 16 - Mapa dos valores observados da Inclinação do Sinal Analítico (ISA) na área de interesse (à esquerda visão dos limites da área de interesse e a direita mapa detalhado da anomalia observada). Abaixo, são apresentadas as visualizações em 3D da anomalia observada.



Fonte: Autor.

A Figura 17 evidencia uma anomalia na porção Norte e central do perfil em análise, onde os valores pseudo-gravidade ultrapassam os 0.001 mGal. Na região Sul do perfil, por sua vez, observam-se valores mais atenuados, variando entre -0.001 mGal e 0.000 mGal.

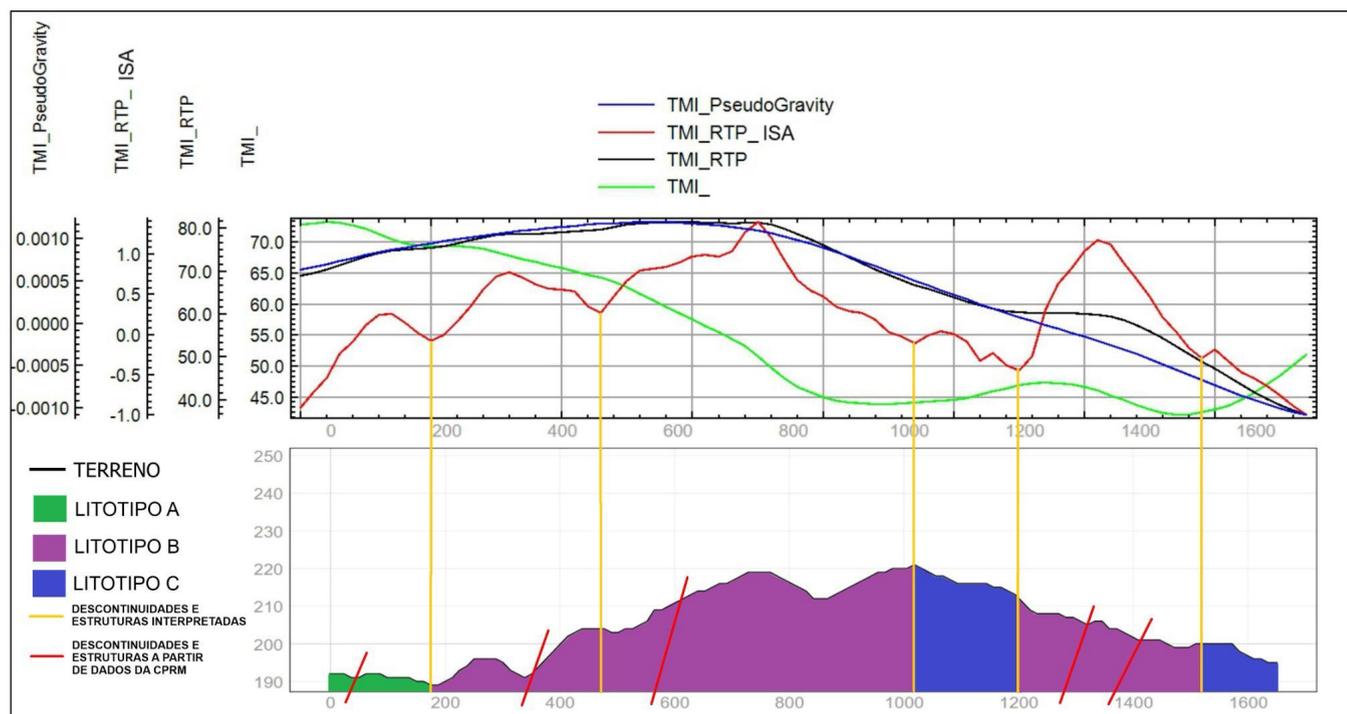
Figura 17 - Mapa dos valores observados do Pseudo Gravity na área de interesse (à esquerda visão dos limites da área de interesse e a direita mapa detalhado da anomalia observada). Abaixo, são apresentadas as visualizações em 3D da anomalia observada.



Fonte: Autor.

Na figura abaixo, encontra-se a representação gráfica do perfil A - B magnético (Figura 18). Este, apresenta as variações magnéticas ao longo do trajeto, destacando contrastes geofísicos determinantes (amplitudes). A análise desta figura contribui na interpretação geológica e detecção de discontinuidades e limites associados a estruturas e litologias.

Figura 18 - Perfil A-B das anomalias magnéticas observadas (Figura superior) e interpretação lito-geofísica (Figura inferior).



Fonte: Autor.

A partir da interpretação dos valores magnéticos indicados na legenda da figura acima, determinou-se 3 litotipos ao longo do perfil A-B:

- Litotipo A: valores magnéticos médios, indicando rochas metavulcânicas de fácies mais intermediárias - média suscetibilidade magnética;
- Litotipo B: valores de magnéticos altos, indicando rochas metavulcânicas de fácies máficas/ultramáficas - alta suscetibilidade magnética;
- Litotipo C: valores de magnéticos baixos, indicando rochas metavulcânicas de fácies félsicas - baixa suscetibilidade magnética.

A análise destaca que os locais com valores de magnitude mais altas (litotipo A e B), conforme indicado na Figura 18, podem estar associados às descontinuidades/estruturas presentes na área de estudo. Essas estruturas, que são feições lineares de destaque em dados geofísicos, podem influenciar as

características do perfil A-B de maneiras significativas, sugerindo uma possível correlação com a presença dessas discontinuidades.

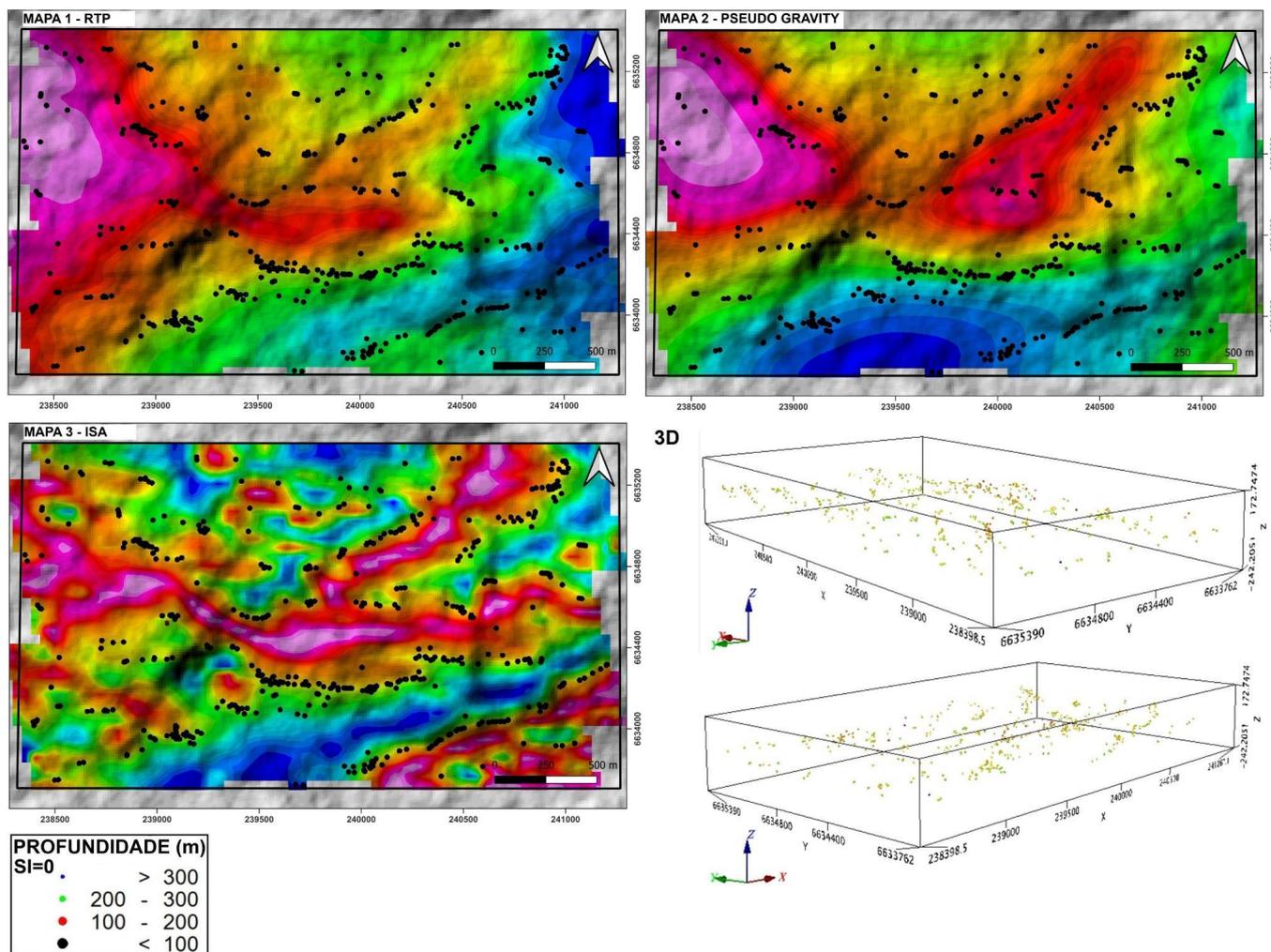
10.8 Profundidades e localização das fontes magnéticas causativas - Aplicação da Deconvolução de Euler na área de interesse.

Os mapas das Figuras 19, 20, e 21 contêm uma sobreposição das anomalias aerogeofísicas com a Deconvolução de Euler calculadas para o local. São apresentadas as anomalias reduzidas ao polo (RTP), Pseudo Gravity e Inclinação do Sinal Analítico (ISA) juntamente com as fontes Euler para os índices estruturais $SI=0$ (Figura 19), $SI=1$ (Figura 20) e $SI=0 + SI=1$ (Figura 21).

Nos mapas representados na Figura 19, procedeu-se à aplicação do índice estrutural $SI=0$. Nessa configuração, os pontos de coloração preta, correspondem a profundidades inferiores a 100 metros. Essas áreas assinaladas indicam a presença de contatos e discontinuidades geológicas na região em estudo.

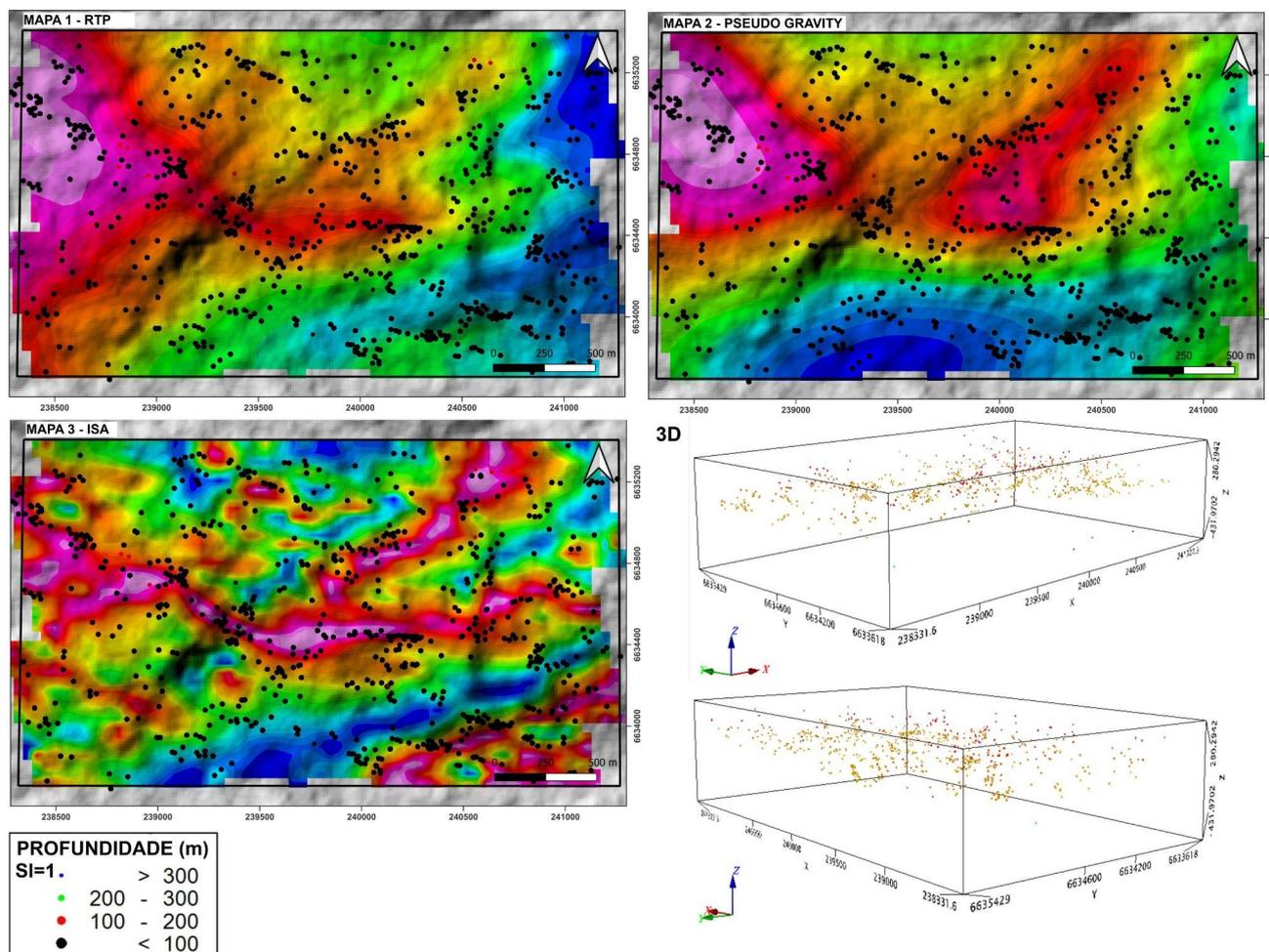
Na representação da Figura 20, foi aplicado o índice estrutural $SI=1$. Nesse contexto, as marcações de cor preta indicam áreas com profundidades inferiores a 100 metros. Essas áreas destacam-se como fontes associadas a sills e diques, revelando a possível presença de estruturas geológicas específicas nesse intervalo de profundidade.

Figura 19 - Deconvolução de Euler aplicada aos mapas das anomalias reduzidas ao polo RTP (mapa 1). Resultados da sobreposição das fontes Euler ao mapa ISA e Pseudo Gravity para SI=0 (mapa 2 e 3). Em A e B diferentes visualizações 3D das fontes Euler calculadas.



Fonte: Autor.

Figura 20 - Deconvolução de Euler aplicada aos mapas das anomalias reduzidas ao polo RTP (mapa 1). Resultados da sobreposição das fontes Euler ao mapa ISA e Pseudo Gravity para SI=1 (mapa 2 e 3). Em A e B diferentes visualizações 3D das fontes Euler calculadas.

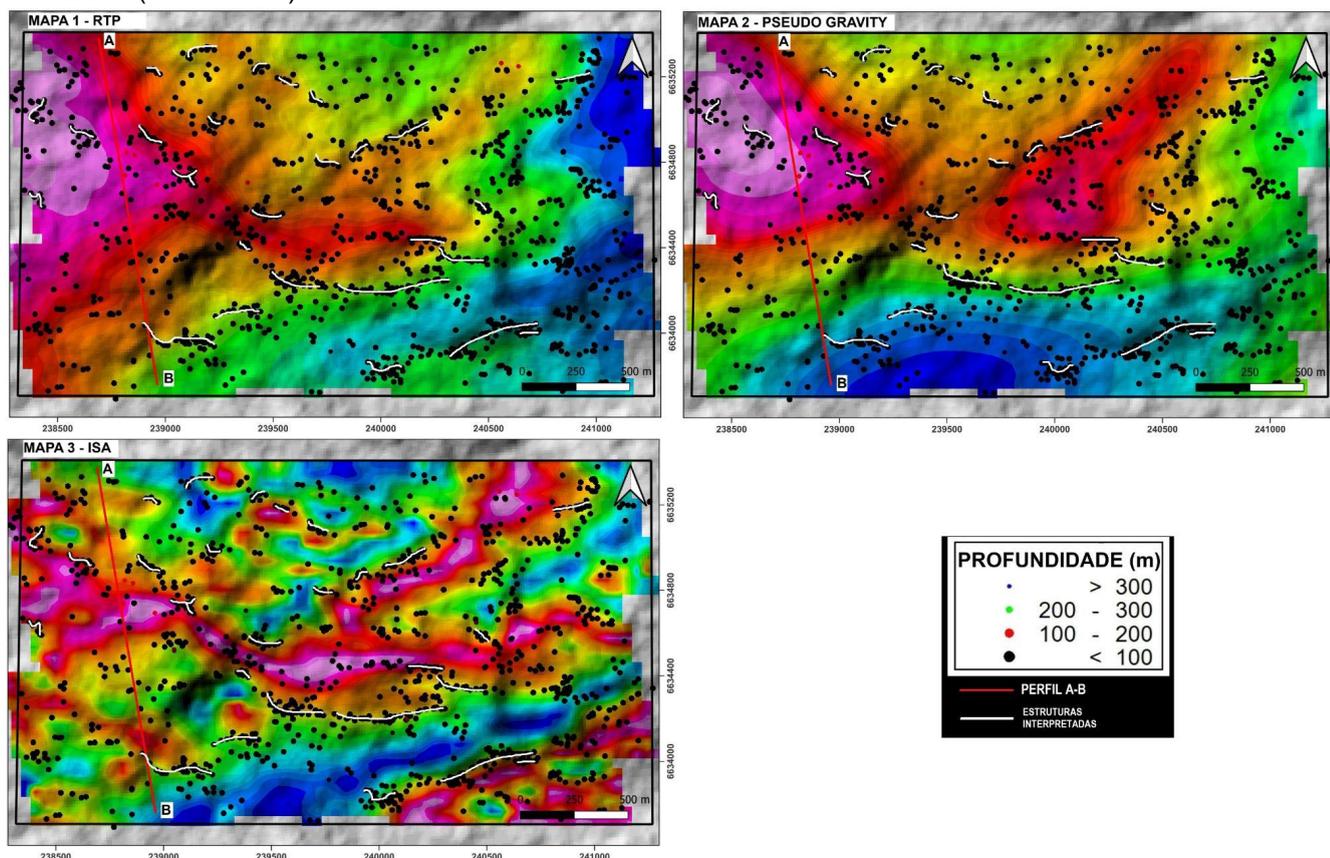


Fonte: Autor.

A Figura 21 consiste na integração dos dois índices ($SI = 1$ e $SI = 0$) anteriormente apresentados nas Figuras 19 e 20 a partir das fontes causativas definidas pela Deconvolução de Euler. Os pontos de coloração preta, indicam, respectivamente, profundidades associadas a contatos; descontinuidades e fontes associadas a sills; diques. A partir dessas profundidades definidas, foi traçado linhas (em branco) de possíveis corpos geológicos presentes na área de interesse.

Essa representação visual ajuda na compreensão geológica, permitindo a identificação potencial de formações geológicas. Nas proximidades do perfil A-B, observam-se concentrações de pontos, indicando uma maior probabilidade da ocorrência de estruturas geológicas.

Figura 21 - Mapa interpretativo integrado a partir das fontes causativas definidas pela Deconvolução de Euler (SI=0 e SI=1).



Fonte: Autor.

11 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados, no contexto do sensoriamento remoto (SR), permitiram, de maneira indireta e preliminar, a caracterização dos principais lineamentos estruturais e outras correlações com elementos do meio, como drenagens, classes de solo e vegetação. Essa abordagem inicial constituiu um elemento importante na correlação e análise das anomalias aerogeofísicas observadas, especialmente na magnetometria.

A aplicação da geofísica por meio da magnetometria em uma escala de semi-detalhe contribuiu significativamente para o detalhamento da área, tanto no âmbito geológico quanto estrutural. As técnicas e filtros de realce aplicados forneceram informações, principalmente em subsuperfície, possibilitando a formulação de hipóteses e aferição de um corpo rochoso em profundidade no local. Com base no perfil A - B selecionado, sugere-se que esse corpo apresenta uma característica alongada, com direção E - W e mergulho para Leste.

As variações do sinal magnético ao longo deste perfil, suas frequências e amplitudes (valores de magnetismo baixo, médio e alto), indicam um corpo com variações laterais em sua composição (heterogeneidades). Portanto, há um arcabouço mineralógico contendo a presença de minerais magnéticos que podem sugerir mineralizações na área.

As análises semi-quantitativas (profundidades estimadas das fontes causativas) por meio do uso da Deconvolução de Euler contribuem substancialmente para o avanço das investigações, especialmente no detalhamento do arcabouço estrutural (índices estruturais 1 e 0 aplicados). Isso permite formular hipóteses mais consistentes sobre as principais estruturas e reconhecer limites e geometrias de prováveis corpos em subsuperfície.

Infere-se, portanto, que a aplicação integrada da geofísica, aliada ao sensoriamento remoto, consiste em uma abordagem eficaz e abrangente para a caracterização da área em estudo. Essa combinação de técnicas não apenas possibilitou a detecção de anomalias aerogeofísicas, mas também a correlação dessas anomalias com elementos ambientais, estruturas geológicas e potenciais corpos subsuperficiais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M. de; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B. The upper Precambrian of South America. *Boletim IG-USP*, v. 7, p. 45-80, 1976.
- BARANOV, V. A New Method for Interpretation of Aeromagnetic Maps, Pseudo-Gravimetric Anomalies. *Geophysics*, 22, 359-363, 1957.
- BILLINGS E RICHARDS. A aerogeofísica, especialmente o aeromagnetismo, desempenhou um papel fundamental na indústria de exploração mineral nas últimas cinco décadas, tornando-se um componente de extrema relevância em projetos dessa natureza. 2000.
- BITENCOURT, M.F. Metamorfitos da Região de Caçapava do Sul, RS Geologia e Relações com o Corpo Granítico. In: Atas [...], pág. 37 – 47. Porto Alegre, 1983.
- BOLDRINI, I.I. A flora dos campos do Rio Grande do Sul. In: PILLAR, V.P.; MÜLLER, S.C.; CASTILHOS, Z.M.S; JACQUES, A.V.A. (Org.). Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade. Brasília: MMA, 2009. p. 63-77.
- BORBA, André W. et al. U–Pb zircon and 40Ar – 39Ar K-feldspar dating of syn-sedimentary volcanism of the Neoproterozoic Maricá Formation: constraining the age of foreland basin inception and inversion in the Camaquã Basin of southern Brazil. *Basin Research*, v. 20, n. 3, p. 359-375, 2008.
- BORN, Cristiano R.; LUZ, Fernando Rodrigues da; BARBOSA, Nazaré A.; et al. Prospecção Geofísica e Geoquímica. [Digite o Local da Editora]: Grupo A, 2021. E-book. ISBN 9786556902524. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786556902524/>>. Acesso em: 25 mai. 2023.
- C MARA, G.; CASANOVA, M.A.; HEMERLY, A.; MEDEIROS, C.M.B.; MAGALHÃES, G. Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica. SBC, X Escola de Computação, Campinas, 1996.
- C MARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M.V. Introdução à Ciência da Geoinformação. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/livros.html>>. Acesso em: março de 2005.

MARLY BABINSKI, FARID CHEMALE, WILLIAM R. VAN SCHMUS. The Pb/Pb age of the Minas Supergroup carbonate rocks, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. **Precambrian Research**, Volume 72, Issues 3–4, 1995.

CHEMALE JR. F. Evolução Geológica do Escudo Sul-rio-grandense. In: Holz, M. & De Ros, L.F. (Ed.): **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CIGO/Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 13-52. 2000.

COSTA, VICTOR HUGO HOTT. Contribuição geofísica ao estudo de parte do terreno São Gabriel – Escudo Sul-Riograndense, Rio Grande do Sul – Brasil, através da aeromagnetometria e aerogamaespectrometria. 2016. 127 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Geofísica, Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 2016.

DENTITH, M; MUDGE, S.T. **Geophysics for the Mineral Exploration Geoscientist**. Editora Cambridge University, 2014.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. 5ª Edição. Brasília, DF, 2018.

FAMBRINI, Gelson Luís; ALMEIDA, Renato Paes de; FRAGOSO CESAR, Antonio Romalino Santos. Estratigrafia e evolução paleogeográfica do Grupo Santa Bárbara (Ediacarano) na sub-bacia Camaquã Ocidental, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 36, n. 3, p. 550-565, 2006.

FERNANDES, L.A.D. et al. 1995b. Evolução Tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-rio-grandense: Parte I - uma contribuição a partir do registro geológico. **Revista Brasileira de Geociências**, 25(4): 351-374.

FERNANDES, L.A.D. et al. 1995a. Evolução Tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-rio-grandense: Parte II - uma contribuição a partir das assinaturas geofísicas. **Revista Brasileira de Geociências**, 25(4): 375-384.

FRIES, M.; ZAGO, M.M.; SILVA, F.G. A geophysical study contributing to analysis and characterization of a localized copper occurrence. **Journal of Applied Geophysics**, vol. 179, 2020.

GEOSOFT. 2001. **Geophysical Interpretation Software for Windows 95/98/NT, OASIS montaj™ version 5.0. User's Guide**. 200 pp.

19. GILL, ROBIN. *Rochas e processos ígneos: um guia prático*. Bookman Editora, 2014.

HARTMANN, L. A.; CHEMALE JR., F.; PHILIPP, R. P. Evolução Geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano. In: Iannuzzi, R. & Frantz, J.C. (Ed.): *50 ANOS de Geologia: Instituto de Geociências*. Contribuições, p. 97-123. 2007.

HEILBRON, M. et al. 2004. Província Mantiqueira. In: Mantesso-Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R., Brito Neves, B.B. (Eds.), *Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flavio Marques de Almeida*. Ed. Basher, Ap. 203–235.

HISPAGNOL, Nicolas Rodrigues, FRIES, Maximilian, LOURENÇO, Juarez, PAPA, Andrés Reinaldo Rodriguez. Aeromagnetic data application to investigate the magnetic basement - Caçapava do Sul, RS, *Journal of South American Earth Sciences*, Volume 124, 2023.

LOURENÇO, Juarez, PAPA, Andrés Reinaldo Rodriguez. Aeromagnetic data application to investigate the magnetic basement - Caçapava do Sul, RS, **Journal of South American Earth Sciences*

KEAREY, Philip; BROOKS, Michael; HILL, Ian. *Geofísica de exploração*. Tradução Maria Cristina Moreira Coelho. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

KOPPE, J. C. Metalogênese do ouro da Mina da Bossoroca, São Sepé, RS. 1990. Tese (Doutorado) — Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1990.

MILLER, H.G.; SINGH, V. Potential field tilt – a new concept for location of potential field sources. **Applied Geophysics*

NABIGHIAN, M.N. The analytic Signal of Two-Dimensional Magnetic Bodies with Polygonal Cross-Section: Its Properties and Use for Automated Anomaly Interpretation. **Geophysics*

PAIM, Paulo Sérgio Gomes; JUNIOR, Farid Chemale; WILDNER, Wilson. Estágios evolutivos da Bacia do Camaquã (RS). **Ciência e Natura**, p. 183-193, 2014.

PARRO P.S. 1998. Magnetometria e gamaespectrometria aerotransportadas na interpretação geológico-estrutural da região dos rios Juruena e Teles Pires – MT. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Brasília, 63 p.

PEREIRA, Henrique Garcia; MOREIRA, César Augusto; CAMARERO, Pedro Lemos. CORRELAÇÃO DE DADOS GEOFÍSICOS EM PESQUISA MINERAL DE COBRE NO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO Sul (RS). **Geociências**, v. 36, n. 4, p. 717-729, 2017.

PHILIPP, R.P.; PIMENTEL, M.M.; CHEMALE JR, F. Tectonic evolution of the Dom Feliciano Belt in Southern Brazil: Geological relationships and U-Pb geochronology. **Brazilian Journal of Geology**, vol. 46, pág. 83-104. 2016.

ROEST, W.R.; VERHOEF, J.; PILKINGTON, M. Magnetic Interpretation using 3-D analytic signal. **Geophysics**, vol. 57, pág. 116-125. 1992.

QUADROS, TELMO FERNANDO PEREZ. Integração de Dados em ambiente SIG para Mapeamento de Favorabilidade Mineral de Ouro na Ilha Cristalina de Rivera (Uruguai). Porto Alegre, 2000.

REES, J. 1990: **Natural resources: allocation, economics and policy**. London and New York: Routledge. xx + 506 pp. £60.00 cloth. £19.99 paper. ISBN: 0 415 05104 5

REID, A.B., Allsop, J.M., Granser, H., Millett, A., Somerton, I.W., 1990. Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution. **Geophysics** 55, 80–91. <https://doi.org/10.1190/1.1442774>.

RIBEIRO, M.; BOCCHI, P.R.; FIGUEIREDO FILHO, P.M.; TESSARI, R.I. 1966. Geologia da Quadrícula de Caçapava do Sul, Brasil. Rio de Janeiro: DNPM/DFPM, Boletim 127, 232 p.

RIBEIRO, M., 1970. Geologia da folha de Bom Jardim: Rio Grande do sul- Brasil. In: Boletim: Divisão de Geologia e Mineralogia. Brasília, 247: 1-142.

ROEST, W.R.; VERHOEF, J.; PILKINGTON, M. Magnetic Interpretation using 3-D analytic signal. **Geophysics**, vol. 57, pág. 116-125. 1992.

SAMPAIO, Luiz C. et al. Técnicas de magnetometria. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 22, n. 3, 2000.

SILVA, Cristiano Alves; NO CEARÁ, Superintendência do DNPM. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Ordenamento Mineral: Estudo de Caso da Exploração de Rochas Ornamentais no Noroeste do Espírito Santo. **XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto–SBSR**, p. 3882, 2011.

MILLER, H.G.; SINGH, V. Potential field tilt – a new concept for location of potential field sources. **Applied Geophysics**, vol. 32, pág. 213-217. 1994.

SOARES, M. C. Processamento e interpretação de dados aerogeofísicos magnetométricos e gamaespectrométricos no estudo do controle das mineralizações auríferas na região do Complexo Bossoroca, São Sepé, RS. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/1767/000357234.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 14 maio 2021.

STEIN, R. T. et al. **Geoprocessamento**. Porto Alegre: SAGAH, 2021.

TELFORD, W.M.; GELDART, L.P.; SHERIFF, R.E. **Applied Geophysics**. 2º Edição. Editora de Universidade Cambridge. Pág.62-75. 1990.

THOMPSON, D.T., 1982. EULDPH: a new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data. **Geophysics** 47, 31–37. <https://doi.org/10.1190/1.1441278>.

TRAVASSOS, Rodrigo Piraine. Interpretação estrutural regional do escudo Sul-rio-grandense-Rio Grande do Sul-Brasil, com base em aeromagnetometria. 2014.

TROMBETTA, Mariane Cristina et al. Composition and diagenesis of Neoproterozoic Guaritas Group sandstones in the Minas do Camaquã fault zone, Camaquã Basin. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 90, p. 1-11, 2019.

VALON, Vinícius Fani Souza et al. Caracterização de Ocorrência Mineral de Cobre na Formação Maricá com Geocondutímetro FDEM-GCM e Sensoriamento Remoto, Caçapava do Sul, RS. 2014.

VITER, M. P. Contribuição ao estudo metalogenético dos principais depósitos auríferos da Sequência Campestre, RS. 1997. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.