

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

FABIANO GARCIA MADRID

**SENSORIAMENTO REMOTO E GEOFÍSICA APLICADOS AO
RECONHECIMENTO LITO-ESTRUTURAL NA REGIÃO DE CABECEIRAS DO
LAJEADO, SÃO GABRIEL - RS**

Caçapava do Sul

2019

FABIANO GARCIA MADRID

**SENSORIAMENTO REMOTO E GEOFÍSICA APLICADOS AO
RECONHECIMENTO LITO-ESTRUTURAL NA REGIÃO DE CABECEIRAS DO
LAJEADO, SÃO GABRIEL - 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: Maximilian Fries

Caçapava do Sul

2019

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)

M183s Madrid, Fabiano Garcia

Sensoriamento remoto e geofísica aplicados ao reconhecimento lito-estrutural na região de Cabeceiras do Lajeado, São Gabriel - RS / Fabiano Garcia Madrid.
71 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)--
Universidade Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2019.
"Orientação: Maximilian Fries".

1. Magnetometria. 2. Gamaespectrometria. 3.
Ocorrência Mineral. I. Título.

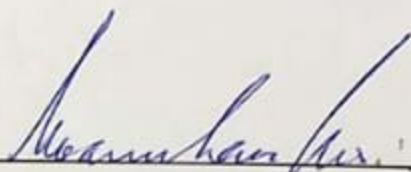
FABIANO GARCIA MADRID

SENSORIAMENTO REMOTO E GEOFÍSICA APLICADOS AO
RECONHECIMENTO LITO-ESTRUTURAL NA REGIÃO DE CABECEIRAS DO
LAJEADO, SÃO GABRIEL - 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.

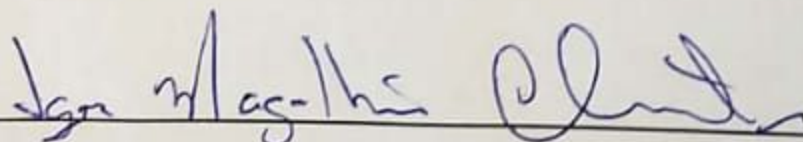
Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em: 11 de dezembro de
2019.

Banca Examinadora:



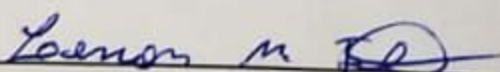
Prof. Dr. Maximilian Fries

Orientador
(Unipampa)



Prof. Dr. Igor Magalhães Clemente

(Unipampa)



Prof. M.e. Lenon Melo Ilha

(Unipampa)

Dedico este trabalho aos meus pais Afonso Valdenir Madrid e Isabel Marina Garcia Madrid e ao meu irmão Fillipi Garcia Madrid, por serem exemplos e acreditarem na minha escolha, apoiando e incentivando ao longo de toda a jornada acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dr. Maximilian Fries pelo profissionalismo e empenho com que conduziu esta orientação, seja realizando o trabalho de campo sob sol de 40°C, ou fornecendo sempre importantes sugestões ao texto que sem as quais a realização deste estudo não obteria êxito.

A minha namorada e futura geóloga Beatriz Matias que além de ser companheira e sempre me apoiar em todo momentos, ajudou de maneira fundamental neste estudo colaborando com ideias ou nos ajustes e correções do texto.

A cunhada Magda Aita Mônico por ser exemplo de dedicação, compartilhar sua experiência do mundo acadêmico e incentivar a vencer cada etapa deste processo de aprendizado.

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

“All we need is just a little patience”.

Axl Rose

RESUMO

A constante evolução do conhecimento contribui para o desenvolvimento de novas ferramentas e técnicas para o mapeamento geológico. Estas, cada vez mais acessíveis, oferecem possibilidades de integração à diferentes produtos e bases de dados disponíveis gratuitamente aos usuários. Tradicionalmente, nas etapas de planejamento prévias a um estudo, são realizadas revisões bibliográficas. No entanto, ocorre um subaproveitamento de inúmeras informações existentes considerando o vasto material de dados digitais sensoriais e informações disponíveis. Este trabalho teve como proposta realizar o processamento, análise e interpretação de dados de domínio público adicionalmente a uma aquisição magnetométrica terrestre realizada na região oeste do Escudo Sul Riograndense, em uma área entre o município de São Gabriel e Santa Margarida do Sul, estado do Rio Grande do Sul. A partir de dados de sensoriamento remoto e geofísica (aerogamaespectrometria, aeromagnetometria e magnetometria terrestre), foi possível gerar modelos digitais de elevação, mapas e perfis litogeofísicos e estruturais que integrados ofereceram importante contribuição para o conhecimento geológico na região, propondo novos limites litológicos e detalhamento estrutural próximo a uma ocorrência de Zn-Pb-Cd (Ag). Este estudo proporciona uma metodologia no que se refere a organização de procedimentos e rotinas em um ambiente de informações geográficas (SIG). Serve, também, como importante subsídio a trabalhos análogos. Adicionalmente, a aquisição geofísica terrestre oferece informações e resultados com significativa melhora de resolução oferecendo um importante complemento para estudos na região.

Palavras Chave: Magnetometria, Gamaespectrometria, Ocorrência Mineral.

ABSTRACT

The constant evolution of knowledge contributes to the development of new tools and techniques for geological mapping. These are increasingly accessible and capable of integrating different products and databases freely available to users. Traditionally, in the previous planning stages for a study, bibliographic analyses are performed. However, there is an under approval of various information, including the vast material of digital sensory data and available information. This work aimed to perform processing, analysis and interpretation of additional public domain data and a terrestrial magnetometric acquisition performed in the western region of the Riograndense Southern Shield in an area between the municipalities of São Gabriel and Santa Margarida do Sul, Rio Grande do Sul state, Brazil. Using remote sensing and geophysical data (aerogamaspectrometry, aeromagnetometry and ground magnetometry), it was possible to generate digital elevation models, geological maps and profiles that integrated allowed important contributions to the regional geological knowledge, proposing new lithological limits. and detailed structural close to an occurrence of Zn-Pb-Cd (Ag). This study provides a methodology that describes organization procedures and routines in a geographic information environment (GIS). Also, serve as an important subsidy for similar approaches. Additionally, the ground geophysical acquisition provides information and results with significant resolution improvements, offering an important complement to studies in the region.

Key Words: Magnetometry, Gammaspectrometry, Mineral Occurrence.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização (A), situação (B) e regional da área de estudo (C). .	17
Figura 2 - Mapa com litologia, estruturas e drenagens da área de estudo.....	18
Figura 3 - Variação no teor de K, U e Th em rochas ígneas.	22
Figura 4 - Relação entre conteúdo mineral e susceptibilidade.....	24
Figura 5 - Susceptibilidade magnética média para os minerais e rochas.....	25
Figura 6 - Relação custo x área de cobertura dos métodos geofísicos.....	26
Figura 7 - Área a de abrangência do projeto com os dados de aeromagnetometria.	27
Figura 8 - Fluxograma de atividades.	29
Figura 9 - Mapas de aerogamaespectrometria dos canais de Potássio, Urânio, Tório, Contagem Total e Imagem Ternária RGB dos Elementos.	31
Figura 10 - Mapas das anomalias magnéticas obtidas a partir da aeromagnetometria	32
Figura 11 - Imagem de satélite Sentinel 2B em cor verdadeira, relevo sombreado ALOS Palsar, perfis geofísicos realizados (em azul e laranja) e estradas.	34
Figura 12 - Imagem de satélite Sentinel 2B em falsa cor, relevo sombreado ALOS Palsar e litologia.....	35
Figura 13 – Mapa altimétrico com os domínios geomorfológicos, relevo sombreado e drenagens.	37
Figura 14 – Visualização 3D dos domínios geomorfológicos, modelo digital de terreno, relevo sombreado e drenagens com exagero vertical de 8x.	37
Figura 15 - Concentrações individuais e d) total dos radio elementos a) K, b) eU.e c) eTh.	39
Figura 16 - Mapa de composição ternária RGB para os elementos K, eTh e eU na área de estudo.....	40
Figura 17 - Mapas dos valores das anomalias magnéticas para a) CMAT, b) RTP, c) ASA e d) DV.....	41
Figura 18 – Foto mosaico com o a) magnetômetro base sendo instalado e b) ponto da ocorrência mineral.....	42
Figura 19 - Perfil A-B com as anomalias magnéticas (CMAT, RTP, AS e DV), litologias e variação topográfica da área.....	47
Figura 20 - Perfil C-D com o ponto de ocorrência, anomalias magnéticas (CMAT, RTP, AS e DV), litologias e variação topográfica da área.	48
Figura 21 - Mapas dos valores anômalos de CMAT e RTP obtidos no Perfil A-B.....	50
Figura 22 - Mapas dos valores anômalos de CMAT submetidos a AS e DV no Perfil A-B.....	51

Figura 23 - Mapas dos valores anômalos de CMAT, RTP, AS e DV no Perfil C-D...	53
Figura 24 – Valores observados para os dados aerogamaespectrométricos para Contagem Total (CT) e canais de K, eU e eTh no Perfil A-B (azul) e Perfil C-D (Laranja).	55
Figura 25 - Integração dos valores magnéticos anômalos aéreos (vermelho) e terrestres (azul) para o Perfil A-B.	56
Figura 26 - Integração dos valores magnéticos anômalos aéreos (vermelho) e terrestres (laranja) para o Perfil C-D.	57
Figura 27 - Mapa lito-geofísico interpretado a partir das anomalias geofísicas e geologia reconhecida para o local.	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Média estimada das concentrações de Th, U e K em rochas.	22
Tabela 2 - Química dos minerais de K, U e Th.....	23

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEB - Agência Espacial Brasileira

ASA - Amplitude do Sinal Analítico

AS - Sinal Analítico

CBUE - Corpos Básicos-Ultrabásicos Estratiformes

CMAT - Campo Magnético Anômalo Total

CMPI - Complexo Metamórfico Passo do Ivo

CPRM - Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais - Serviço Geológico do Brasil

COP - Complexo Ofiolítico Palma

CYMK - *Cyan, Magenta, Yellow e Black* (ciano, magenta, amarelo e preto)

DV - Derivada Vertical

ESA - European Space Agency

FRB - Formação Rio Bonito

GPA - Granito Passo da Areia

GSJ - Granito Sanga do Jobim

IAEA - *International Atomic Energy Agency*

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

JAXA - *Japan Aerospace eXploration Agency*

MDE - Modelo Digital de Elevação

MECB - Missão Espacial Completa Brasileira

MLJ - Monzogranito Lajeado

NASA - National Aeronautics and Space Administration

RGB - *Red, Green e Blue* (vermelho, verde e azul)

RTP - Redução ao Polo

SIG - Sistemas de Informações Geográficas

SIML - Suíte Intrusiva Lago da Meia Lua

SR - Sensoriamento Remoto

SRTM - *Shuttle Radar Topographic Mission*

UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

USGS - *United States Geological Service*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 Gerais.....	15
2.2 Específicos	15
3 JUSTIFICATIVA	16
4 ÁREA DE ESTUDO	17
4.1 Geologia da Região.....	17
5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
5.1 Sensoriamento Remoto	20
5.2 Geofísica.....	21
5.2.1 Gamaespectrometria.....	21
5.2.2 Magnetometria.....	23
5.3 Trabalhos anteriores.....	27
6 MATERIAIS E MÉTODOS	29
6.1 Pesquisa e material bibliográfico.....	29
6.2 Softwares e base de dados	30
6.2.1 Geologia.....	30
6.2.2 Sensoriamento Remoto	30
6.2.3 Aerogeofísica	31
6.3 Geofísica Terrestre	32
7 RESULTADOS	34
7.1 Sensoriamento Remoto	34
7.1.1 Vegetação	35
7.1.2 Relevo	36
7.1.3 Drenagens	36
7.2 Aerogeofísica	38
7.2.1 Aerogamaespectrometria	38
7.2.2 Aeromagnetometria	40

7.3 Magnetometria terrestre.....	42
7.3.1 Perfis	43
7.3.1.1 Topografia:.....	43
7.3.1.2 Campo Magnético Anômalo Total:	44
7.3.1.3 Redução ao Polo:	45
7.3.1.4 Sinal Analítico:.....	45
7.3.1.5 Derivada Vertical:	46
7.3.2 Mapas geofísicos.....	49
7.4 Integração dos dados aerogeofísicos e terrestres	54
7.4.1 Gamaespectrometria	54
7.4.2 Magnetometria	55
7.5 Mapa Litogeofísico proposto a partir dos resultados	57
8 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO	59
REFERÊNCIAS.....	61
APÊNDICE A	64
APÊNDICE B	68
ANEXO A.....	70

1 INTRODUÇÃO

Os avanços tecnológicos causam um crescente impacto na sociedade, não diferente ocorre nas geociências, onde as constantes descobertas e aperfeiçoamento de ferramentas computacionais e sensoriais vem progressivamente ganhando peso na elaboração de trabalhos, economizando tempo e custo. Atualmente existe uma ampla gama de *softwares* gratuitos para geração e processamento de material em ambientes de informação geográfica (SIG). Exemplos como o *Google Earth Pro*, *MultiSpec*, *SNAP* e o *QGIS Software* oferecem interfaces comunicativas com mapas, imagens e gráficos além de poderem interagir com o abundante banco de dados sensoriais.

O sensoriamento remoto (SR) utilizando dados coletados por satélite pode ser empregado em diversas frentes de pesquisa, como por exemplo na área ambiental, para mapeamento de queimadas (GRANEMANN e CARNEIRO, 2009), temperatura e salinidade superficial do mar (REUL et al., 2014), erosão e escorregamento de encostas, geologia econômica, pedologia, cobertura de solo (ANTUNES et al., 2017), identificação de feições estruturais (POUR e HASHIM, 2015), geomorfológicas, entre outros.

Levantamentos geofísicos com dados gamaespectrométricos são amplamente aplicados em monitoramento ambiental, como análise da influência de fertilizantes com urânio em drenagens e na exploração mineral, principalmente para prospecção mineral como mapeamento de alteração hidrotermal, caracterização de intrusões indiferenciadas, pontos de afloramento de intrusões ígneas e estudo de crateras de impacto (RIBEIRO et al., 2014; HOFF et al., 2004)

Os levantamentos magnéticos tem por objetivo investigar a geologia com base nas anomalias do campo magnético da Terra resultantes das propriedades magnéticas das rochas em subsuperfície. Podem ser realizados no mar, na terra e no ar. A velocidade de operação de levantamentos aerotransportados torna o método atraente na busca por tipos de depósitos minerais que contenham minerais magnéticos (KEAREY et al., 2009)

Nas últimas décadas, o volume e a qualidade de material disponível de forma gratuita vêm crescendo e melhorando exponencialmente. Os Estados Unidos, através da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), o Serviço Geológico dos Estados Unidos - USGS (*United States Geological Service*), a *Japan Aerospace*

eXploration Agency (JAXA) do Japão e *European Space Agency* (ESA) são exemplos das principais instituições e agências governamentais de pesquisa que fornecem vasto material de SR, geofísica e meteorologia do mundo.

No Brasil a Agência Espacial Brasileira (AEB), o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - Serviço Geológico do Brasil (CPRM), são as principais instituições de pesquisa e desenvolvimento que geram fontes de dados, sejam eles organizados e recatalogados de outras fontes (como as acima citadas) ou de produção nacional, a exemplo do programa Missão Espacial Completa Brasileira (MECB), da parceria Brasil/China com o satélite de imageamento CBERS-4 e dos Projetos Aerogeofísicos da CPRM.

Mais especificamente, exemplos da integração de SR e geofísica (gamaespectrometria) são vistos na avaliação e caracterização de alvos prospectivos de ouro em veios de quartzo sulfetados em alterações hidrotermais são apresentados em estudo de Menezes et al., (2006). Outro exemplo, consiste na demarcação de áreas prospectivas para elementos terras raras (nióbio) em complexos carbonáticos através da associação de imagens hiperespectrais e gamaespectrometria na Groenlândia em Bedini e Rasmussen (2018).

Portanto, a eficácia e otimização nos estudos a partir das técnicas apresentadas são amplamente reconhecidos e utilizados atualmente. A associação de informações a partir de bancos de dados geofísicos, mapas geológico/estruturais, modelos digitais de elevação (MDE), oferecem importantes resultados que ajudam a reconhecer padrões e correlações entre si, podendo salientar feições e estruturas favoráveis a modelos genéticos responsáveis pelo enriquecimento de minerais e seus elementos.

A região de estudo contém uma ocorrência de Zn-Pb-Cd, publicada no informe técnico nº 5 da CPRM por Toniolo et al., (2016), situada na divisa entre os municípios de São Gabriel e Santa Margarida do Sul, estado do Rio Grande do Sul e ocupa uma área de 98km².

Aproveitando esses conhecimentos, o presente trabalho apresenta a união destas fontes de informação, demarcando limites e domínios correlatos ajudando no refinamento acerca do conhecimento geológico da região que orientará novas áreas de mapeamentos de campo de detalhe e campanhas prospectivas.

2 OBJETIVOS

2.1 Gerais

Analisar e integrar dados de Sensoriamento Remoto, aerogeofísicos e magnetométricos terrestres de semi-detralhe no reconhecimento de limites litológicos e estruturas na região de Cabeceiras do Lajeado, município de São Gabriel na porção oeste do Escudo Sul Riograndense, Rio Grande do Sul.

2.2 Específicos

Detectar contrastes anômalos e limites associáveis a estruturas e litologias não reconhecidas nos mapas geológicos atuais de escala regional;

Identificar, a partir dos dados de SR e aerogeofísicos integrados, domínios ou setores correlacionáveis as litologias previamente conhecidas;

Propor o delinear de feições estruturais associadas a lineamentos, fraturas e descontinuidades litológicas em subsuperfície;

Gerar perfis lito-geofísicos a partir da integração da base de dados e respectivos elementos associados como subsídio a proposição de um mapa interpretado para a área.

3 JUSTIFICATIVA

O aumento exponencial da população mundial e da demanda de recursos expandiu a busca por matéria prima de modo a torná-la cada vez mais acessível e viável economicamente. A volatilidade do mercado e a grande concorrência entre empresas de exploração são alguns dos fatores que exigem o emprego de ferramentas que tragam agilidade, otimização nos resultados e redução de gastos.

O SR e os levantamentos geofísicos, se apresentam como importantes ferramentas preliminares, devido à enorme gama de dados disponíveis para uso imediato. Somente o catálogo de imagens do INPE disponibiliza o imageamento de 15 satélites diferentes, um exemplo é o CBERS-4. MDEs de todo o planeta também estão disponíveis de forma gratuita.

A USGS através do site *Earth Explorer* (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) disponibiliza, além de diversos outros dados, MDE da *Shuttle Radar Topographic Mission* e recentemente a NASA por intermédio do portal *Alaska Satellite Facility*, MDEs com resolução espacial de 12,5m. Outro importante portal de divulgação é o *Copernicus* da ESA oferecendo acesso as missões de imageamento Sentinel 1, 2 e 3 entre diversas outras.

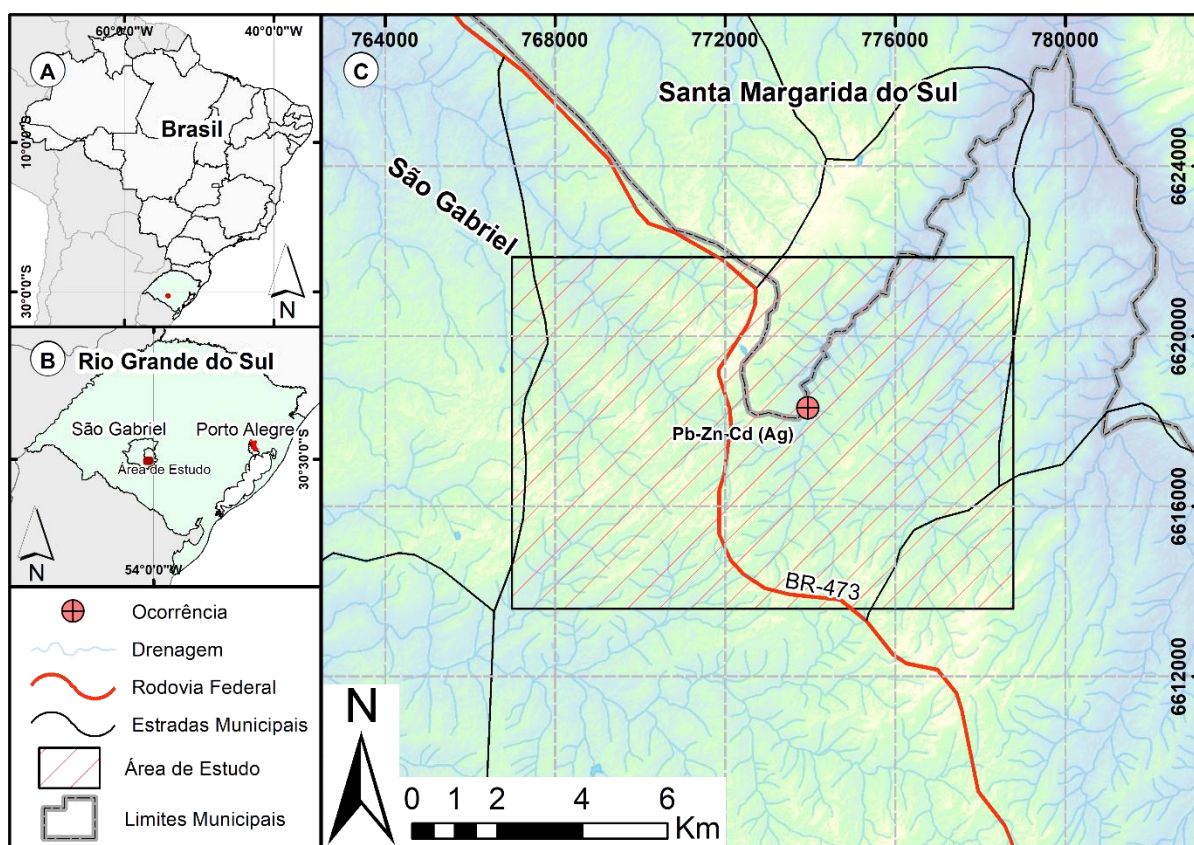
No Brasil, a CPRM - Serviço Geológico do Brasil oferece dados de domínio público como os projetos aerogeofísicos desde 1995, oferecendo tanto os dados brutos como os processados dos levantamentos (incluindo a aerogamaespectrometria e aeromagnetometria) executados no país desde 1952, que segundo a Assessoria de Comunicação da CPRM (2017), recobriram uma área de mais de 6 milhões de quilômetros quadrados até o ano de 2014. A dificuldade em localizar trabalhos recentes de mapeamento geológico e prospecção mineral utilizando essas ferramentas traz um alerta ao subaproveitamento dessa robusta biblioteca digital aberta, provendo avanços relevantes no setor de pesquisa de recursos.

Considerando estas premissas, este estudo representou uma importante contribuição no refinamento geológico/estrutural da região de Cabeceiras do Lajeado em São Gabriel - RS. Oferecendo importantes subsídios para formulação de hipóteses e teorias acerca da complexa geologia da região. Além disso, proporcionou informações e resultados em escala regional e semi-detelhe importantes para futuros estudos detalhados envolvendo a prospecção mineral devido a existência da ocorrência de Pb-Zn-Cd (Ag).

4 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localizada na região de Cabeceiras do Lajeado, situada no limite dos municípios de São Gabriel e Santa Margarida do Sul no Estado do Rio Grande do Sul, possui cerca de 98 km² e está à aproximadamente 350 km da capital Porto Alegre. Localiza-se a noroeste da carta Lagoa da Meia Lua (folha SH 21-Z-B-VI-2 MI-2994/2). Tem acesso por meio da BR 290 sentido São Gabriel - Porto Alegre (5 km) com entrada a sul para a BR 473 (15 km), a ocorrência de Pb-Zn-Cd (Ag) está 1,5 km a leste da BR 473 em estrada vicinal (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de localização (A), situação (B) e regional da área de estudo (C).



Fonte: Adaptado Hasenack e Weber (2010).

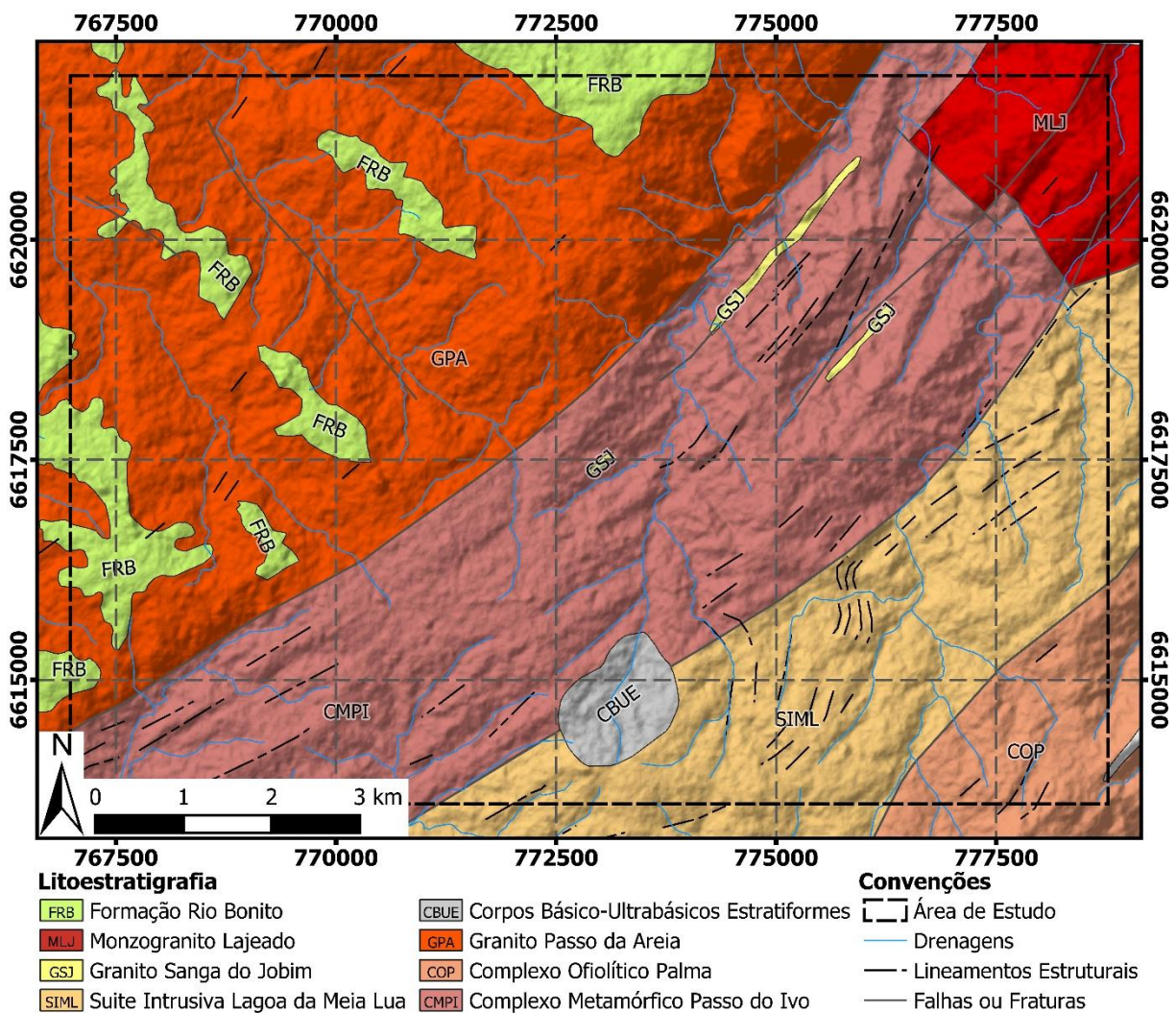
4.1 Geologia da Região

Regionalmente a mineralização de interesse neste estudo encontra-se na região do Terreno São Gabriel que está inserido na porção sul da Província Mantiqueira. De acordo com Heilbron (2004) a Província Mantiqueira representa um

sistema orogênico que engloba diversos orógenos que se distribuem desde o sul da Bahia até o Rio Grande do Sul e desenvolveu-se durante o Neoproterozóico Brasileiro-Pan Africana que resultou na amalgamação do Paleocóntinente Gondwana Ocidental.

A geologia local, descrita a seguir até o fim deste capítulo, foi embasada no importante estudo de Laux et al. (2012) (Figura 2).

Figura 2 - Mapa com litologia, estruturas e drenagens da área de estudo.



Fonte: Modificado de Laux et al. (2012).

Na porção central da área orientado NE - SW está situado o Complexo Metamórfico Passo do Ivo (CMPI), com rochas ultramáficas serpentinizadas, xistos magnésianos, peridotitos, anfíbolitos, hornblenda gabros e actinolita xistos com orientação dos minerais para NE.

O Complexo Ofiolítico Palma (COP) aparece à sudeste composto por serpentinitos, xistos magnesianos variados, xistos básicos, anfíbolitos de granulação fina, metagabros, metacherts e BIF'S.

A maior parte da região é formada pelo Granito Passo da Areia (GPA) em contato a NW com o CMPI, apresenta coloração vermelho-rosada, predominando textura equigranular a inequigranular grossa com composição sienogranítica e ocorrência de muscovita quando em contato com o CMPI.

A sul ocorre um pequeno Corpo Básico-Ultrabásico Estratiforme (CBUE) Estratiforme formado essencialmente por gabros equigranulares médios a grossos.

Entre o CMPI e o COP também orientada NW - SE se estende a Suíte Intrusiva Lagoa da Meia Lua (SIML) que é formada por granitóides e localmente gabros, também metamorfismo de fácies xisto verde a anfíbolito de baixo grau. Constitui uma sequência plutônica, deformada e metamorfoisada localmente, representada por dioritos, quartzo dioritos e, subordinadamente, tonalitos, trondjenitos, granodioritos e monzogranitos.

Pequenos corpos alongados NW - SE do Granito Sanga do Jobim (GSJ) ocorrem intrudindo o CMPI, são predominantemente leucocráticos, de cor cinza rosado, granulação média a grossa e textura equigranular porfirítica.

A nordeste situa-se o Monzogranito Lajeado (MLJ), apresentando forte orientação dos minerais máficos, coloração cinza a cinza-rosado e é composto por quartzo, feldspato alcalino, plagioclásio.

A Formação Rio Bonito (FRB) aparece depositada sobre o GPA à noroeste da região, composta de modo geral por camadas de arenito e siltito próximas ao topo e camadas de arenitos com grânulos e intraclastos pelíticos e conglomerados em direção a base, que podem intercalar-se dependendo da região.

As amostras anômalas em Pb-Zn-Cd (Ag) por Toniolo et al. (2016) estão situadas na porção central da área, pertencentes ao CMPI.

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 Sensoriamento Remoto

O mapeamento geológico e prospecção mineral nas últimas décadas consistia no uso de métodos e técnicas aplicadas de forma física e analógica, em papéis, cartas e mapas. A partir da segunda metade do século XX com o desenvolvimento da tecnologia da informação, a otimização no armazenamento de grande quantidade de dados e a possibilidade de representar tais informações de forma digital propiciou o surgimento do geoprocessamento. As restrições metodológicas e diversos outros fatores tornaram a migração da interpretação visual analógica de imagens para a digital inevitável (PEREIRA, 2003; CAMARA & DAVIS, 2004).

O emprego do geoprocessamento traz consigo inúmeras vantagens, entre as principais:

- Economia de tempo ao realizar uma interpretação;
- Cálculos de áreas em mapas temáticos realizados por operações computacionais, melhorando a precisão dos resultados;
- Redução do espaço físico para armazenamento de dados e resultados;
- Facilidade de acesso a dados e divulgação de trabalho.

O avanço nesta área, ainda, trouxe consigo diversos novos termos, como o nome Sistema de Informações Geográficas (SIG) que acabou sendo confundido com geoprocessamento inicialmente. A diferença, é que um SIG processa dados gráficos ou não, objetivando análises espaciais e modelagens de superfícies, já o geoprocessamento é mais abrangente e representa qualquer tipo de processamento de dados georreferenciados (MOREIRA, 2011).

Os denominados SIGs tem como fundamentos principais, banco de dados (*dataware*), pessoal especializado (*peopleware*), aplicativos específicos (*software*) e equipamentos (*hardware*), usam meio digital, informática intensiva, base de dados integrada e georreferenciada, com controle de erro, contendo funções de análise dos dados que variam de álgebra cumulativa (soma, multiplicação, etc.) até álgebra não cumulativa (operações lógicas).

Associado ao caráter numérico e automatizado do geoprocessamento e SIG, o SR é uma excelente ferramenta, principalmente quando a aquisição e processamento de dados demanda agilidade e precisão. O SR é definido como um conjunto de

técnicas que tem como objetivo específico medir características físicas de um objeto sem tocá-lo, utilizadas pode gerar uma base de dados georreferenciados, fundamental para SIG (SILVA, 2003). Um exemplo do emprego das imagens de satélite e MDEs, é a delimitação de feições estruturais e análise estatística das orientações, podendo evidenciar direções preferenciais da mobilidade de elementos próximos as superfícies.

5.2 Geofísica

O estudo geofísico do ambiente geológico tem maior foco nos contrastes das propriedades físicas que as rochas e minerais apresentam, diferentemente da visão química indireta que a descrição mineral de um estudo geológico indica. Essas diferenças nos pontos de vista indicam contrastes que podem ser ou não marcados em cada focos de trabalho.

5.2.1 Gamaespectrometria

Em dezembro de 1895, o físico alemão Wilhelm C. Röntgen estudando a condutividade dos gases através de uma válvula coberta por uma cartolina negra, descobriu o que chamou de Raios-X, iniciando os estudos sobre radioatividade. (XAVIER, et al. 2007). Após anos de estudos comprovou-se que um núcleo quando muito energético, seja por excesso de carga ou partículas, tende a se estabilizar emitindo energia em forma de matéria (radiação α e β) e de ondas eletromagnéticas (radiação γ). (CARDOSO, 2000).

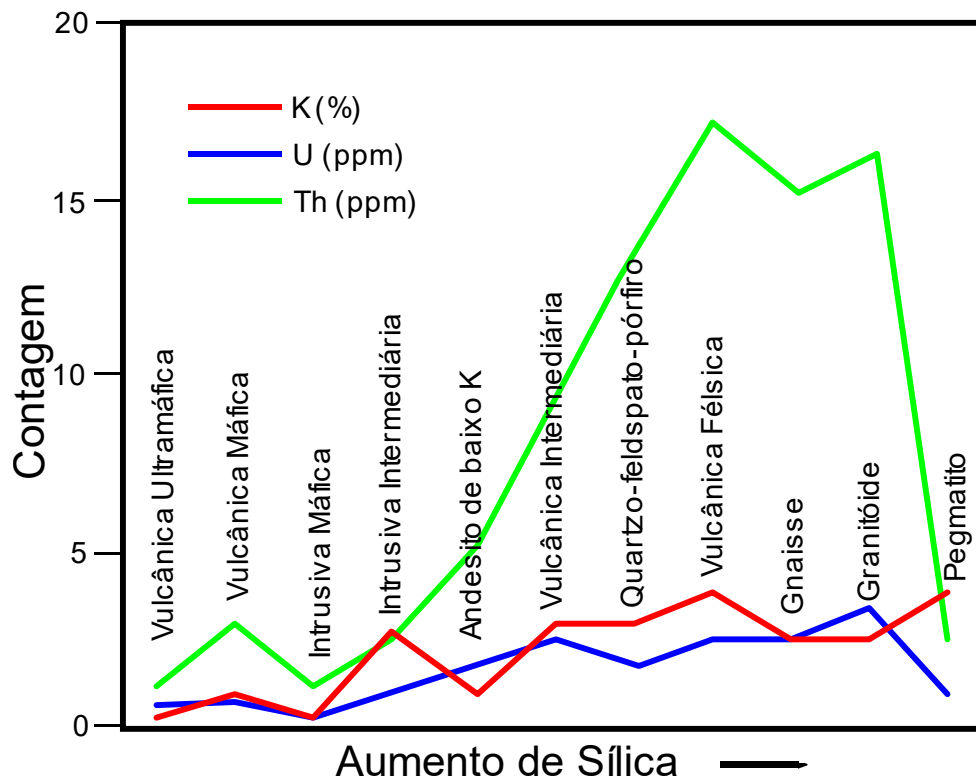
A radioatividade emitida por certos elementos contidos nas rochas pode ser mensurada através do método geofísico da Gamaespectrometria que quantifica a distribuição dos elementos radioativos em superfície, complementando informações geológicas existentes como por exemplo, relacionado as concentrações locais com as classificações em rochas (Tabela 1) (Figura 3) ou minerais (Tabela 2).

Tabela 1 - Média estimada das concentrações de Th, U e K em rochas.

Tipo de Rocha	Th (ppm)	U (ppm)	K (%)	Th/U	K/U	Th/K
Ígneas						
Ultrabásicas	0,02	0,007	0,01	2,8	1,4	2,0
Básicas	3,4	0,8	1,0	4,3	1,3	3,4
Básicas-Intermediárias	6,1	1,7	1,9	3,6	1,1	3,2
Intermediárias	9,8	3,0	2,4	3,3	0,8	4,1
Intermediárias-Ácidas	16,0	3,6	3,0	4,4	0,8	5,3
Ácidas	21,9	4,1	3,5	5,3	0,9	6,3
Sedimentares						
Evaporitos	0,4	0,1	0,1	4,0	1,0	4,0
Carbonatos	1,6	1,6	0,3	1,0	0,2	5,9
Arenitos	5,7	1,9	1,2	3,0	0,6	4,8
Folhelhos	11,2	3,7	2,7	3,1	0,7	4,1
Metamórficas						
Anfibolitos	2,0	0,9	0,6	2,2	0,7	3,3
Xisto-Verde	3,4	0,8	1,0	4,3	1,3	3,4
Gnaisse	10,6	2,3	3,4	4,6	1,5	3,1
Xisto	13,5	4,1	2,5	3,3	0,6	5,5

Fonte: Modificada de Galbraith and Saunders (1983)

Figura 3 - Variação no teor de K, U e Th em rochas ígneas.



Fonte: Modificada de Dickson & Scott (1997).

Tabela 2 - Química dos minerais de K, U e Th.

Minerais	Fórmula	K %	U %	Th%
Feldspatos				
Ortoclásio	KAlSi_3O_8	14,05		
Microclínio	KAlSi_3O_8	14,05		
Sanidina	$(\text{K},\text{Na})(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_8$	10,69		
Anortoclásio	$(\text{Na},\text{K})\text{AlSi}_3\text{O}_8$	3,67		
Micas				
Biotita	$\text{K}(\text{Mg},\text{Fe}^{2+})_3[\text{AlSi}_3]\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$	9,02		
Muscovita	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3)\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$	9,81		
Flogopita	$\text{KMg}_3(\text{AlSi}_3)\text{O}_{10}(\text{F},\text{OH})_2$	9,33		
Glauconita	$\text{K}(\text{Fe}^{3+},\text{Al})_2(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	5,49		
Argilo Minerais				
Ilita	$\text{K}_y\text{Al}_4(\text{Si}_{8-y}\text{Al}_y)\text{O}_{20}(\text{OH})_2$	6,03		
Evaporitos				
Silvanita	KCl	52,45		
Carnallita	$\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	14,07		
Minerais de U e Th				
Branerita	$(\text{U},\text{Ca},\text{Ce})(\text{Ti},\text{Fe})_2\text{O}_2$		33,54	
Carnotita	$\text{K}_2(\text{UO}_2)_2(\text{VO}_4)_2 \cdot 1-3\text{H}_2\text{O}$	8,67	52,77	
Coffinita	$\text{U}(\text{SiO}_4)_{1-x}(\text{OH})_{4x}$		72,63	
Monazita	$(\text{Ce},\text{La},\text{Nd},\text{Th},\text{Y})\text{PO}_4$			4,83
Thorita	$(\text{Th})\text{SiO}_4$			71,59
Uraninita	UO_2		88,15	
Uranofano	$\text{Ca}(\text{UO}_2)_2\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$		40,59	

Fonte: Modificada de Dentith & Mudge (2014)

Através dos relatórios técnicos da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA, 1991 e 2003), são apresentadas diversas recomendações a serem aplicadas para a correção dos dados gamaespectrométricos, tanto para levantamentos aéreos quanto terrestres. Deve se levar em conta as correções para altura efetiva do voo, espalhamento Compton, radiação de fundo e correção altimétrica do terreno.

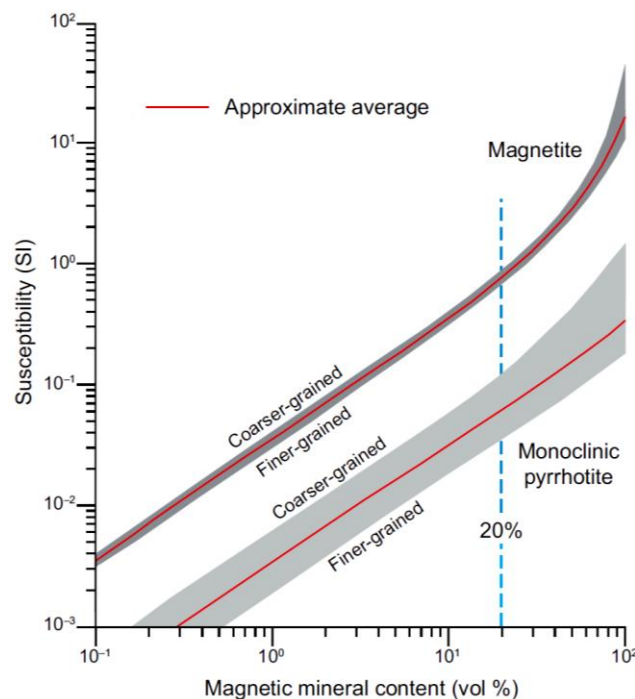
5.2.2 Magnetometria

O campo magnético da Terra apresenta outra propriedade física que pode ser estudada, como a maior parte do campo magnético não é originado na crosta terrestre, as pequenas variações geradas pelo magnetismo das rochas e materiais magnéticos da crosta se tornam alvos prospectivos e por ser relativamente barata (Figura 6) e possuir um caráter de medição direta para vários tipos diferentes de depósitos minerais, a aeromagnetometria se torna um componente indispensável dos programas de exploração.

A intensidade ou a força do magnetismo de um objeto é definido em termos de corrente elétrica. No SI as unidades são amperes/metro (A/m), já a intensidade ou força de um campo magnético no SI sistema é medido em tesla (T), porém esta unidade é muito grande para demonstrar os campos magnéticos muito fracos medidos na geofísica, então o nano tesla (nT) é mais comumente utilizado. A intensidade média do campo magnético terrestre é cerca de 50.000 nT e as variações de origem geológicas ao todo, podem exceder 10.000 nT, no entanto essa amplitude é muito rara e as variações locais são extremamente pequenas em comparação e estas, e comumente ficam na casa de dezenas ou centenas de nano teslas (DENTITH & MUDGE, 2014).

A susceptibilidade magnética das rochas, além da quantidade, também depende do tamanho e formato dos minerais magnéticos. De acordo com Clark (1997, apud Dentith & Mudge, 2014), para uma rocha que tenha menos de 10% do seu volume composta por minerais fortemente magnéticos, a relação entre a susceptibilidade e a fração volumétrica é linear em um gráfico log-log, porém quando sobe-se para 20% do volume, a susceptibilidade torna-se não linear, crescendo exponencialmente (Figura 4). Esse fenômeno ocorre pois os grãos estão mais próximos, aumentando a interação entre si.

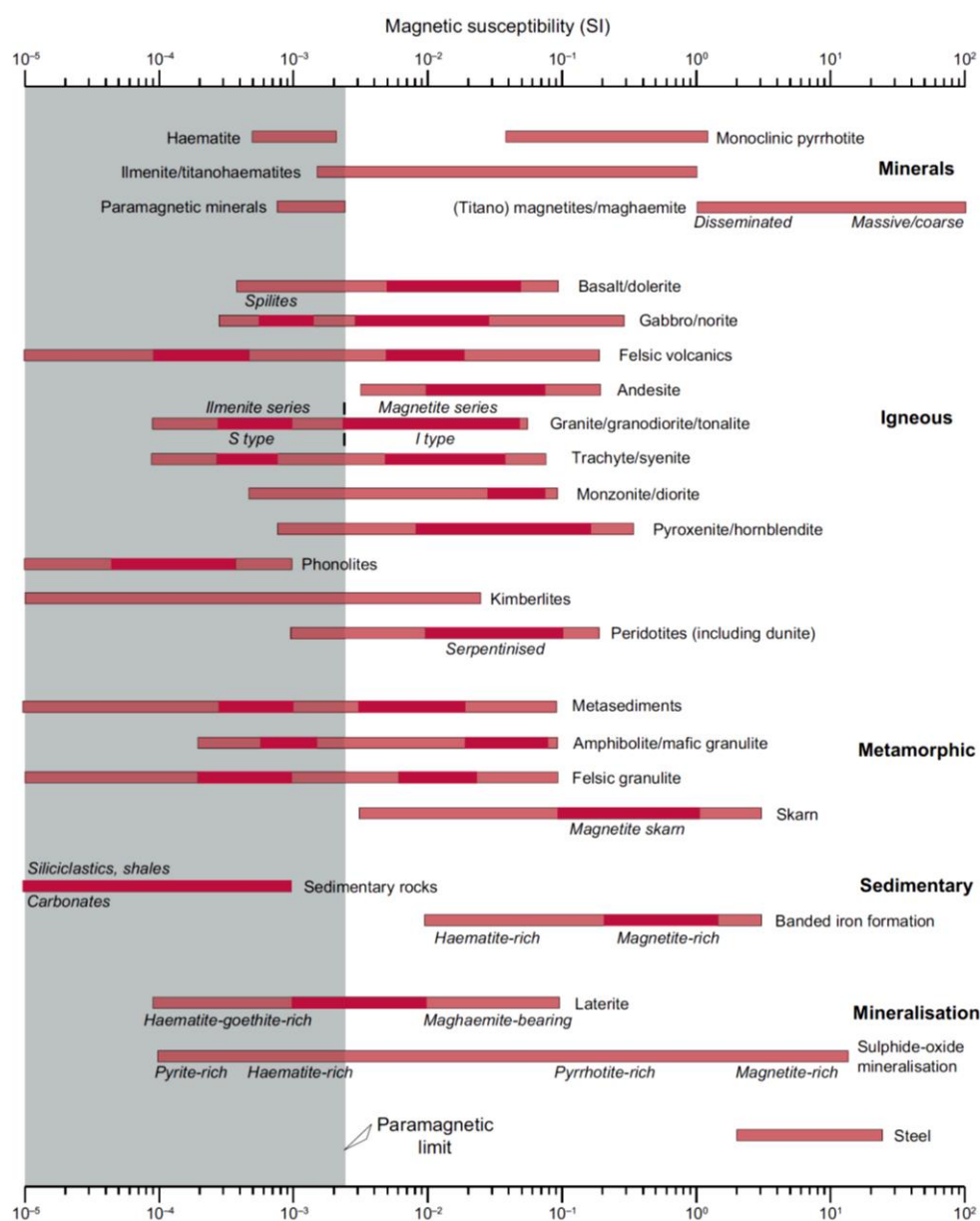
Figura 4 - Relação entre conteúdo mineral e susceptibilidade.



Fonte: Clark (1997, apud Dentith & Mudge, 2014).

A grande maioria dos minerais significativamente magnéticos são acessórios, sua presença é amplamente desconsiderada ao atribuir nome a uma determinada rocha e na maior parte dos casos o magnetismo das rochas reflete o conteúdo de magnetita devido seu forte magnetismo e as anomalias magnéticas não apresentam correlação com os limites litológicos mapeados geologicamente. A susceptibilidade magnética varia amplamente em todos os principais grupos de rochas e frequentemente a distribuição é bimodal altas e baixas susceptibilidades, refletindo a presença ou ausência, respectivamente, de minerais ferromagnéticos e paramagnéticos (Figura 5).

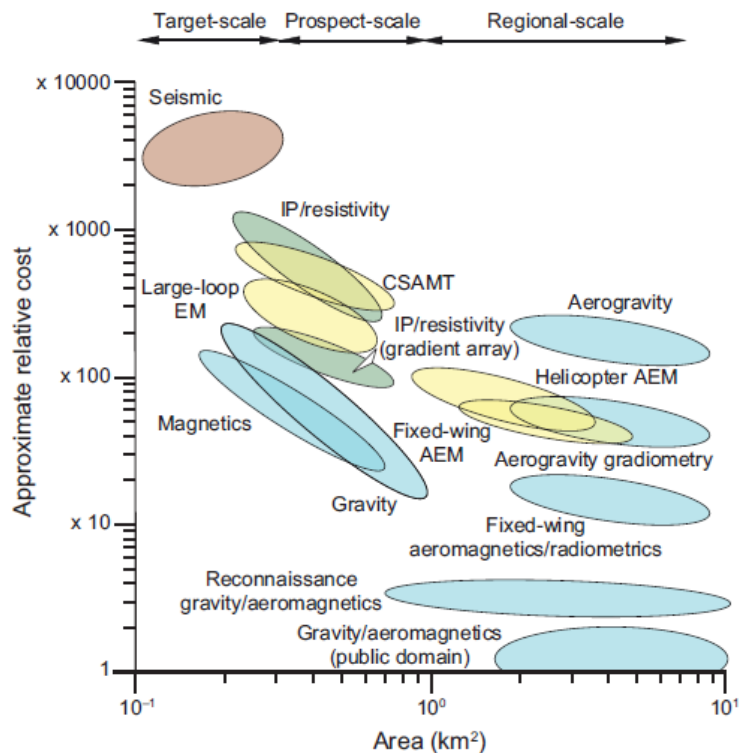
Figura 5 - Susceptibilidade magnética média para os minerais e rochas.



Fonte: Clark (1997, apud Dentith & Mudge, 2014)

As propriedades físicas podem ser detectadas através de sensores passivos ou ativos denominando-se, desta, forma os diferentes métodos geofísicos hoje utilizados. Estes, consistem em equipamentos terrestres ou aerotransportados (aerogeofísica). A aerogeofísica, por exemplo, possui menor custo por quilometro e maior rapidez na execução de levantamento. Em geral a relação custo *versus* benefício, é mais vantajosa que a geofísica terrestre (Figura 6).

Figura 6 - Relação custo x área de cobertura dos métodos geofísicos.



Fonte: Fritz (2000, apud Dentith & Mudge, 2014).

Podem-se citar como exemplos, levantamentos aerogeofísicos da área do Baú-Gandarela no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil, que exemplificam a importância da ferramenta para fins prospectivos. Na região do levantamento, dos 109 furos de sondagem pré-programados pela geologia clássica, 60 foram descartados e 49 realocados, gerando uma economia de aproximadamente 2,5 milhões de dólares ao projeto (PEREIRA, 2003; BRAGA et al., 2010).

Considerando os elementos apresentados, é evidente a importância dessas ferramentas no âmbito prospectivo. Consistem em eficientes métodos quando utilizados em conjunto ao mapeamento geológico básico. Além disso, permitem otimizar resultados remotamente, de forma econômica e competente.

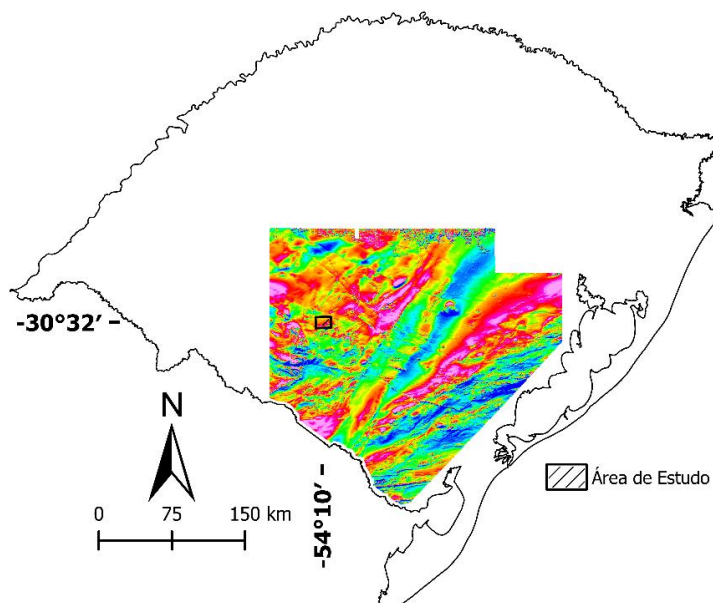
5.3 Trabalhos anteriores

Em Pascholati et al. (2003), a partir da superposição de SR, geofísica e geologia, delimitou-se lineamentos a partir da banda 4 do satélite Landsat 5 e de campo magnético residual, que aliados aos mapas litológicos e aerogamaespectrométricos apontaram ocorrências de Urânio em Lagoa Real, BA.

O emprego do SR aliado a geofísica também apresenta resultados satisfatórios em Kazmierczak (2006) no reconhecimento e caracterização de lineamentos e estruturas da Bacia do Camaquã, Escudo Sul-Riograndense, estado do Rio Grande do Sul. No estudo, a finalidade foi compreender a evolução da bacia e a geologia local a partir de mapas, perfis e bloco diagramas 3D confeccionados a partir de dados geológicos, geofísicos e de SR.

Entre 20 de fevereiro de 2010 e 10 de agosto de 2010 o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) realizou levantamentos aerogeofísicos no estado do Rio Grande do Sul para o Projeto Aerogeofísico do Escudo do Rio Grande do Sul Serviço Geológico do Brasil. Este levantamento foi realizado com emprego de 3 aeronaves, dois Cessna modelo C-208B Caravan (prefixos PR-SSB e PT-MEP), Opiper, modelo PA31-310 Navajo (prefixo PT-WOT) percorrendo linhas de voo em sentido Norte - Sul a uma altitude média de 100m e espaçadas lateralmente por 500 metros gerando um total de 159.789,21km de perfis que cobriu a área de cerca de 75.600 km² (Figura 7).

Figura 7 - Área a de abrangência do projeto com os dados de aeromagnetometria.



Fonte: Modificado CPRM - Serviço geológico do Brasil (2010).

A aquisição aerogamaespectrométrica foi realizada utilizando gamaespectrômetros *EXPLORANIUM* GR-820 nas aeronaves PT-MEP e PT-WOT e *Radiation Solutions Inc.* RS500 na PR-SSB e para a aeromagnetometria o magnetômetro *Scintrex* CS-2 acoplado a um sensor de vapor de césio instalado na cauda das aeronaves. A medição das variações diárias do campo magnético, foram efetuadas utilizando dois magnetômetros GEM GSM-19 nos aeroportos de Santa Maria (RS) e Pelotas (RS).

Laux et al., (2012) apresenta importantes contribuições geológicas para a compreensão da estratigrafia do Arco de São Gabriel, seu embasamento paleoproterozoico e sequências vulcanosedimentares neoproterozoicas assim como indica diversas ocorrências na região da Folha Lagoa da Meia Lua na escala de 1:100.000.

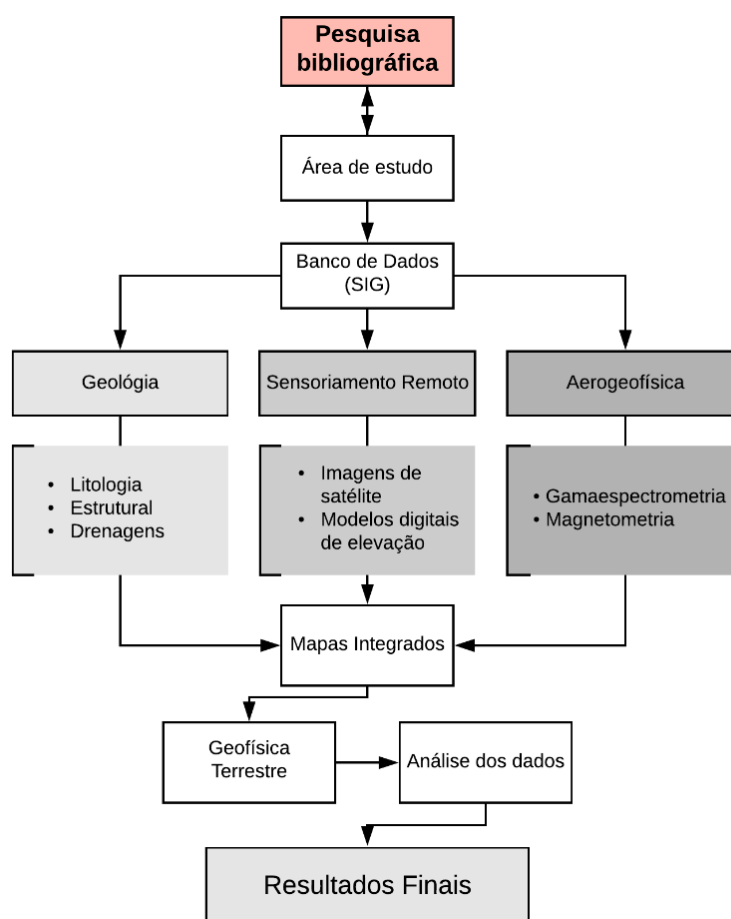
Recentemente Toniolo et al., (2016) publicou a descoberta de uma nova ocorrência de Pb-Zn-Cd (Ag) na região de Cabeceiras do Lajeado, entre os municípios de São Gabriel e Santa Margarida do Sul no Rio Grande do Sul, na área de estudo. Este trabalho, além de apontar a possibilidade de um depósito, ressalta a importância do uso da geofísica como ferramenta prospectiva no Escudo Sul-Rio-Grandense.

Mais recentemente, o estudo de Gamalho (2018) traz hipóteses acerca da evolução geológica da região, assim como os mecanismos que originaram a concentração de Pb e Zn, sugerindo o modelo metalogênico de características compatíveis para VMS tipo Besshi.

6 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do estudo e objetivos propostos foram adotadas as seguintes etapas de acordo com a Figura 8.

Figura 8 - Fluxograma de atividades.



Fonte: Autor.

6.1 Pesquisa e material bibliográfico

O material teórico de estudo é formado especialmente por livros sobre prospecção, sensoriamento remoto, geoprocessamento e geofísica que, aliados a artigos e teses, servem de base para definição da metodologia utilizada, auxiliando na formulação de hipóteses acerca de prováveis zonas com novas ocorrências minerais, controle estrutural e o comportamento superficial dos elementos na região.

Através da pesquisa bibliográfica de ocorrências minerais, o trabalho de Toniolo et al. (2016) ressaltou a importante oportunidade de pesquisa aplicando a integração

de diversas fontes de dados, devido a acessibilidade ao local e a conveniência em refinar o conhecimento geológico regional em função da recente descoberta de uma ocorrência de Zn-Pb-Cd (Ag).

6.2 Softwares e base de dados

Levando em consideração a abrangência espacial do trabalho de Toniolo et al., (2016), onde foi realizada a demarcação da área de estudo e identificação dos principais acessos com auxílio do *software Google Earth Pro*. A base cartográfica em SIG utilizada, é inteiramente digital e disponível de forma online pela UFRGS através do material “Base Cartográfica Vetorial Contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000” de Hasenack e Weber (2010).

As etapas seguidas para a realização do estudo foram efetuadas através do *QGIS software* para integração e interpretação de mapas em ambiente SIG, *Geosoft Oasis montaj* no processamento e correções dos dados geofísicos aéreos e terrestre e *Golden Software Surfer* na confecção de blocos de visualização em 3D.

6.2.1 Geologia

Aspectos litológicos, estruturais e hidrográficos foram embasados no importante trabalho nomeado “Geologia e Recursos Minerais da Folha Lagoa da Meia Lua SH.21-Z-B-VI” por Laux et al. (2012), disponibilizada inteiramente em ambiente SIG e integrada aos demais produtos para correlação entre o conhecimento existente e as novas pesquisas.

6.2.2 Sensoriamento Remoto

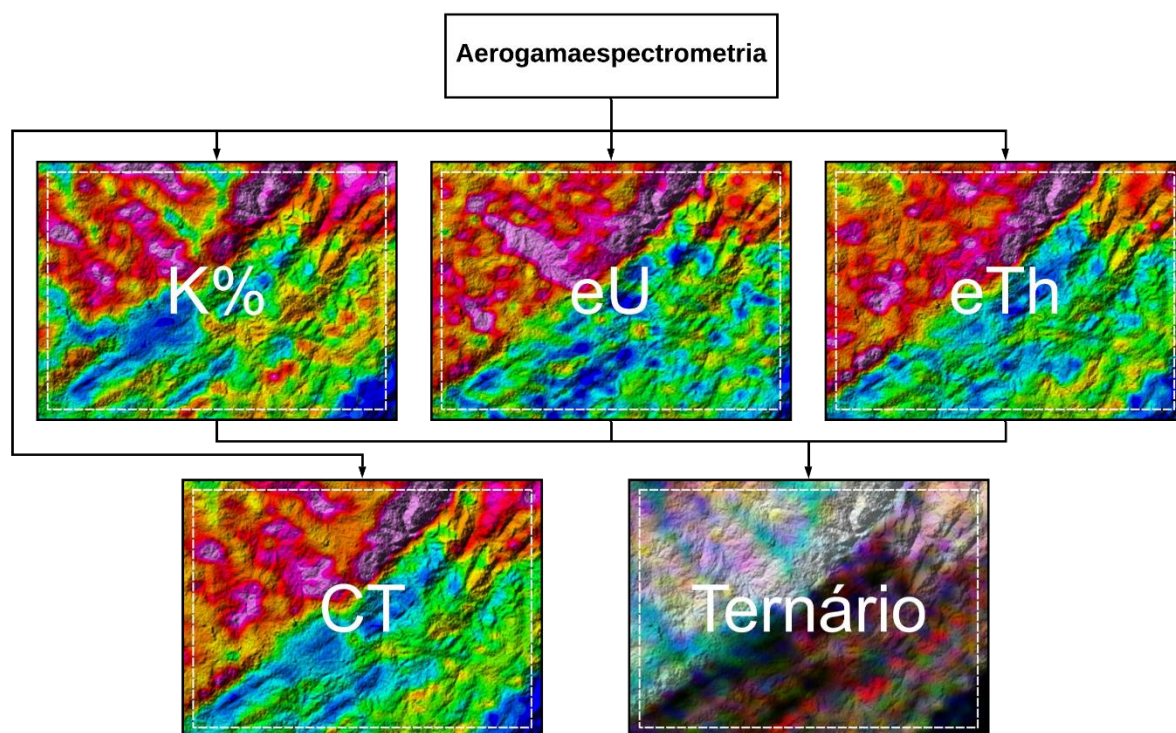
O SR foi efetuado através das imagens de satélite Sentinel 2B cedidas pela ESA através do portal *Copernicus* <<https://www.copernicus.eu/en>> e MDEs liberados pela NASA por meio do portal *Alaska Satellite Facility* <<https://www.asf.alaska.edu/>> o que permitiu fazer o reconhecimento geral da área, vegetação, geomorfologia e demarcar as estradas e trilhas de maneira precisa.

6.2.3 Aerogeofísica

A aerogeofísica regional foi processada com os dados públicos de aerogamaespectrometria e aeromagnetometria do “Projeto Aerogeofísico do Escudo do Rio Grande do Sul Serviço Geológico do Brasil” por CPRM (2010) que são concedidos através de portal próprio.

A partir das concentrações dos elementos radioativos Potássio, Urânio e Tório em superfície, foram confeccionados os mapas de seus respectivos canais individuais, contagem total e composição em cores RGB - *Red*, *Green* e *Blue* (ternária). Um exemplo da sequência adotada no processamento, análise e interpretação é apresentado na Figura 9.

Figura 9 - Mapas de aerogamaespectrometria dos canais de Potássio, Urânio, Tório, Contagem Total e Imagem Ternária RGB dos Elementos.

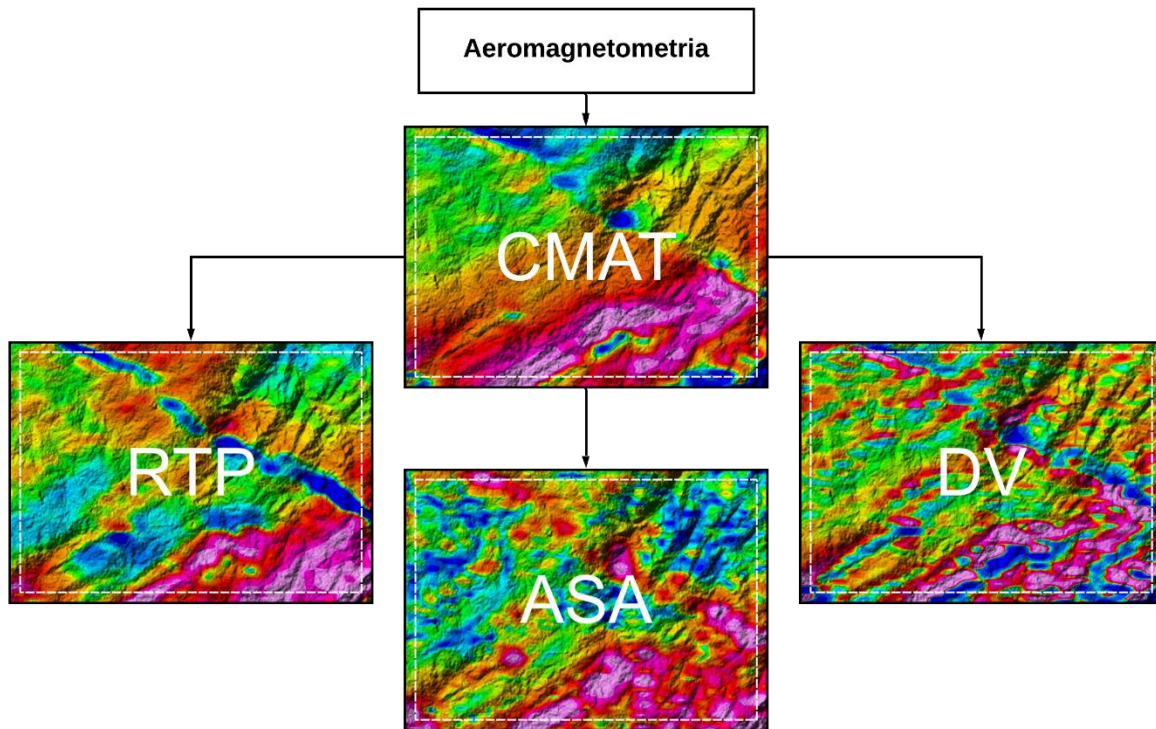


Fonte: Autor.

Com os dados das anomalias magnéticas foram gerados os mapas de campo magnético anômalo total (CMAT), que serve como base para o mapa de redução ao polo (RTP) que transforma o sinal magnético de regiões não polares na resposta equivalente onde o magnetismo dos corpos é vertical. Além disso, os dados serviram

como base para o mapa de amplitude do sinal analítico (ASA), útil para localizar as bordas de corpos, e por fim, para a produção do mapa de derivada vertical (DV) que resalta fontes geológicas anômalas rasas (Figura 10).

Figura 10 - Mapas das anomalias magnéticas obtidas a partir da aeromagnetometria



Fonte: Autor.

6.3 Geofísica Terrestre

A fim de aumentar a resolução da região próxima a ocorrência mineral, foi realizado o levantamento magnetométrico terrestre utilizando dois magnetômetros da GEM SYSTEM modelo GSM-19 (móvel e base). Foram determinados dois perfis (A – B e C – D) com espaçamento médio entre os pontos medidos de 50 metros. Para efeito da variação diurna adotou-se para o magnetômetro Base medidas automáticas a cada 60 segundos. O Perfil A – B foi definido por seccionar as principais litologias da área na direção Norte-Sul e o Perfil C-D, de direção Leste – Oeste situa-se localizado próximo a ocorrência mineral identificada no local (Figura 11).

Para os dados brutos obtidos e respectiva correção diurna, foi empregado a metodologia de acordo com o fabricante do equipamento (GEM Systems, 2008). Os processamentos subsequentes consistiram em aplicar aos dados magnéticos de campo anômalo total i) redução ao polo (RTP), ii) sinal analítico (AS) e iii) derivada

vertical (DV) e para a geração dos mapas de isovalor o método da mínima curvatura proposto por Briggs (1974).

Redução Total ao Polo (RTP)

Essa transformação é melhor empregada em regiões de baixa latitude e simplificam a interpretação. Os dados de caráter dipolar que são convertidos para suas respostas como se estivessem no polo magnético norte (monopolar) aproximando, desta forma, as anomalias magnéticas para acima das fontes causativas (Whitehead & Musselman, 2005).

Sinal Analítico (AS)

A AS pode apresentar picos acima de contatos verticais ou ligeiramente deslocados quando os contatos possuem mergulho inclinado. Esse processamento é muito aplicado para a delimitação de limites geológicos ou corpos pequenos (Whitehead & Musselman, 2005).

Derivada Vertical (DV)

A derivada vertical de primeira ordem constitui uma técnica de processamento para salientar feições próximas a superfícies, sensível a bordas de corpos que podem ser visualizados através de grandes amplitudes de onda (Whitehead & Musselman, 2005).

Estas técnicas encontram-se descritas pormenorizadamente no Anexo A.

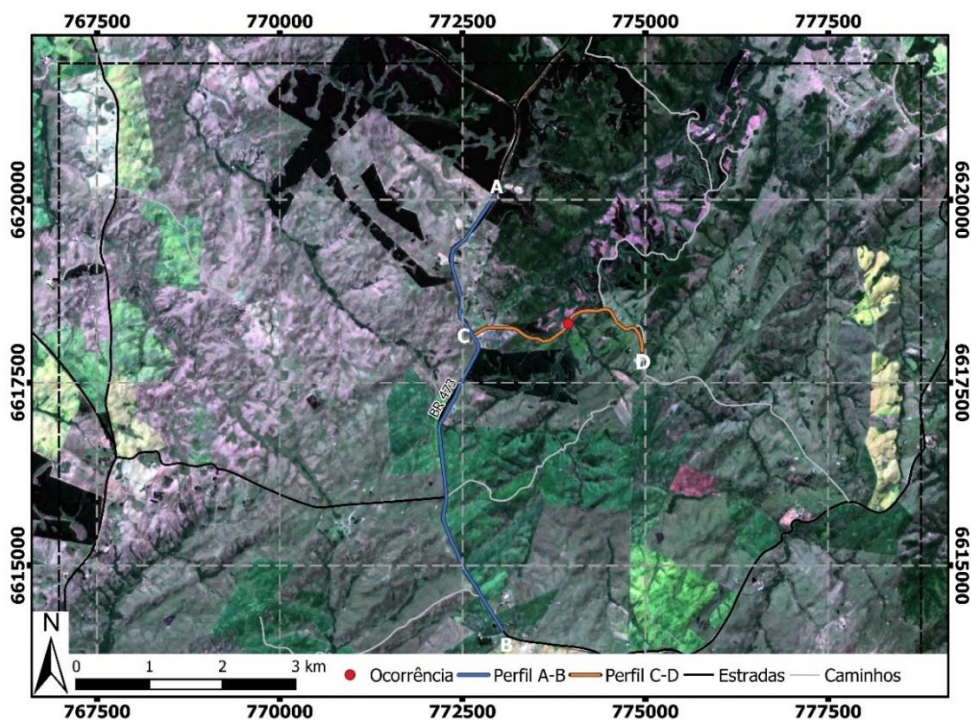
7 RESULTADOS

Baseado nos dados obtidos, que, processados e integrados a geologia local descrita por Laux et al. (2012), foram gerados os resultados descritos nos tópicos a seguir:

7.1 Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto foi importante fonte de informações acerca da fisiografia da área, permitindo a caracterização da cobertura vegetal e morfológica da região. Além disso, o SR apresenta-se como importante base a ser integrada e correlacionada as demais fontes de informações. A imagem de satélite de composição cor verdadeira RGB, gerada a partir das bandas 04, 03 e 02 (vermelho, verde e azul respectivamente) do satélite Sentinel 2B com relevo sombreado, serviu como importante suporte para a demarcação de acessos e trilhas, sendo utilizados no planejamento do trabalho de campo (Figura 11).

Figura 11 - Imagem de satélite Sentinel 2B em cor verdadeira, relevo sombreado ALOS Palsar, perfis geofísicos realizados (em azul e laranja) e estradas.

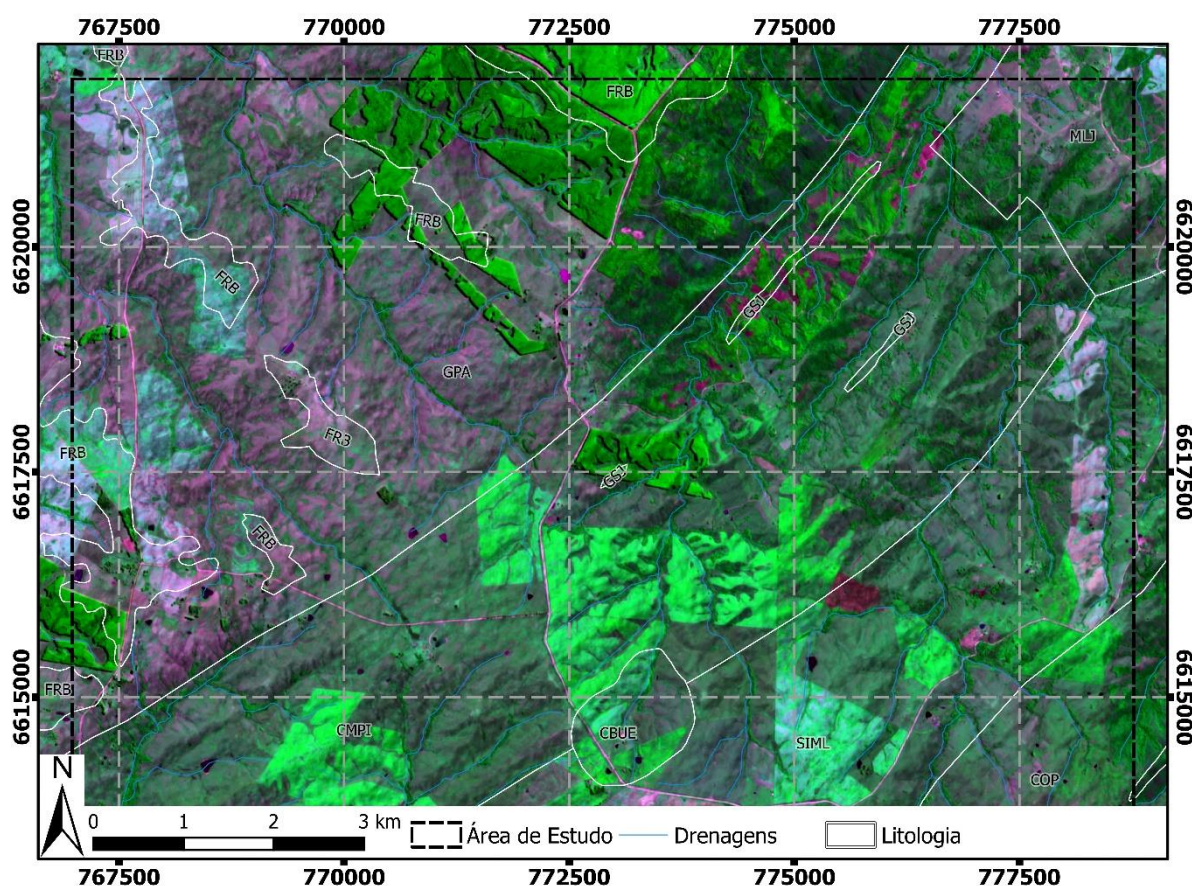


Fonte: Imagem de satélite Sentinel 2B (European Space Agency - ESA, 2019) relevo sombreado ALOS Palsar (ASF DAAC, 2011).

7.1.1 Vegetação

A composição em falsa cor RGB das bandas 04, 08 e 03 (Vermelho, Infravermelho próximo e verde respectivamente) do satélite Sentinel 2B (Figura 12) tem o objetivo de facilitar a visualização da cobertura vegetal. Em vista disso, nota-se que a maior parte da área é coberta por vegetação rasteira, marcada pela coloração arroxeadada quando seca (NW), e esverdeada quando úmida (SE). Em uma pequena região ao centro e outra ao norte da região, exibe uma coloração verde claro, bem destacada das demais, onde estão dispostas culturas de eucalipto crescidas e novas culturas com um tom de verde mais claro ao centro – sul. Nota-se que a mata nativa é concentrada essencialmente próxima às drenagens em algumas encostas íngremes, visualizada em tons de verde escuro, além disso, pequenas manchas avermelhas também são encontradas e indicam solo exposto.

Figura 12 - Imagem de satélite Sentinel 2B em falsa cor, relevo sombreado ALOS Palsar e litologia.



Fonte: Imagem de satélite Sentinel 2B (European Space Agency - ESA, 2019) relevo sombreado ALOS Palsar (ASF DAAC, 2011) e limites litológicos (Laux et al., 2012).

7.1.2 Relevo

A partir do MDE radar do satélite ALOS Palsar foi gerado o mapa de altimétrico (Figura 13) e bloco 3D com exagero vertical de 8 vezes (Figura 14). O relevo local, varia de 148m até 332m em relação ao nível, ou seja, com amplitude topográfica de 184m, que foi subdividida em domínios para melhor compreensão da geomorfologia.

As regiões B, C e E apresentam as maiores altitudes em relação ao nível do mar, passando dos 300m, a leste de C como um pico não muito extenso e em B e E na maior parte de seus territórios.

Nas áreas A, G e F o relevo apresenta altitudes intermediárias ao entorno da média regional de 250m, sem importantes quebras altimétricas.

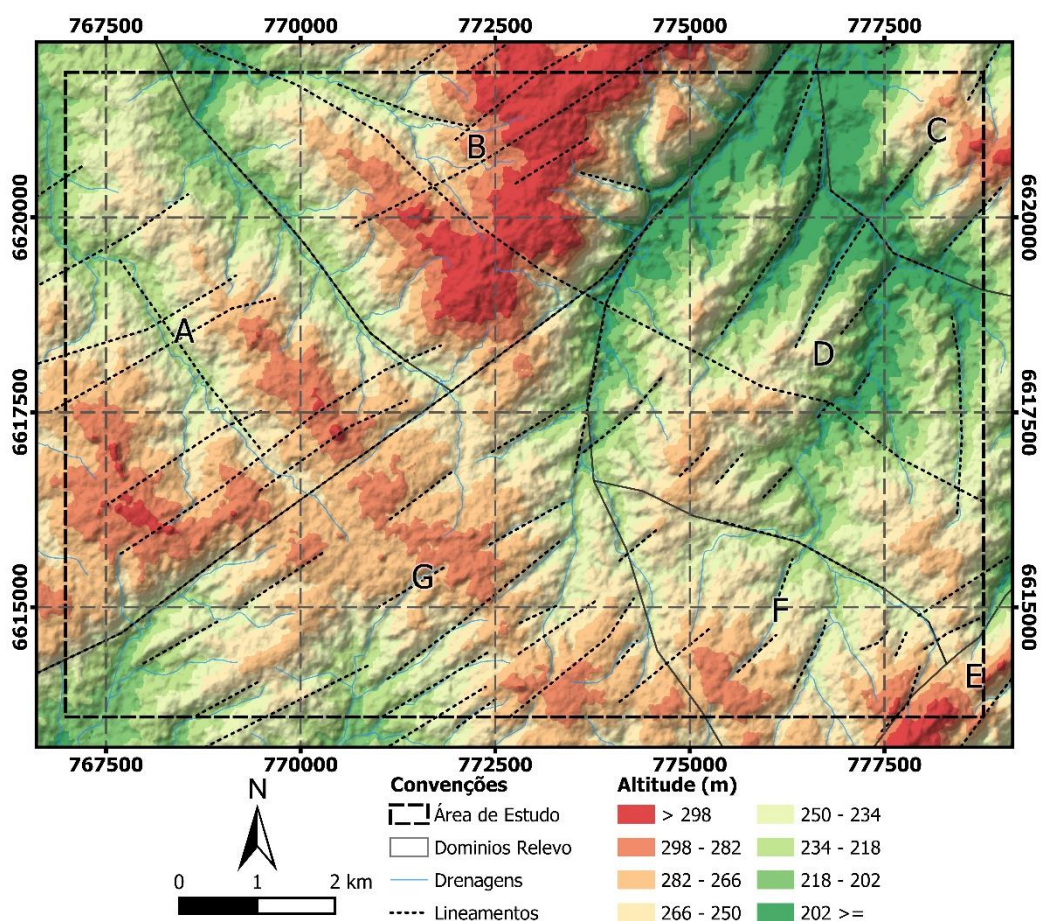
A porção D e a oeste de C são as faixas de menor altimetria, chegando a menos de 200m.

Entre B-D e A-G, a quebra de relevo acentuada indica a presença de um grande lineamento, assim como nas divisões de A-B e C-D. A divisão de G com D e F também apresenta quebra notável na topográfica com orientação N-S, podendo ser também fruto de falha ou fratura.

7.1.3 Drenagens

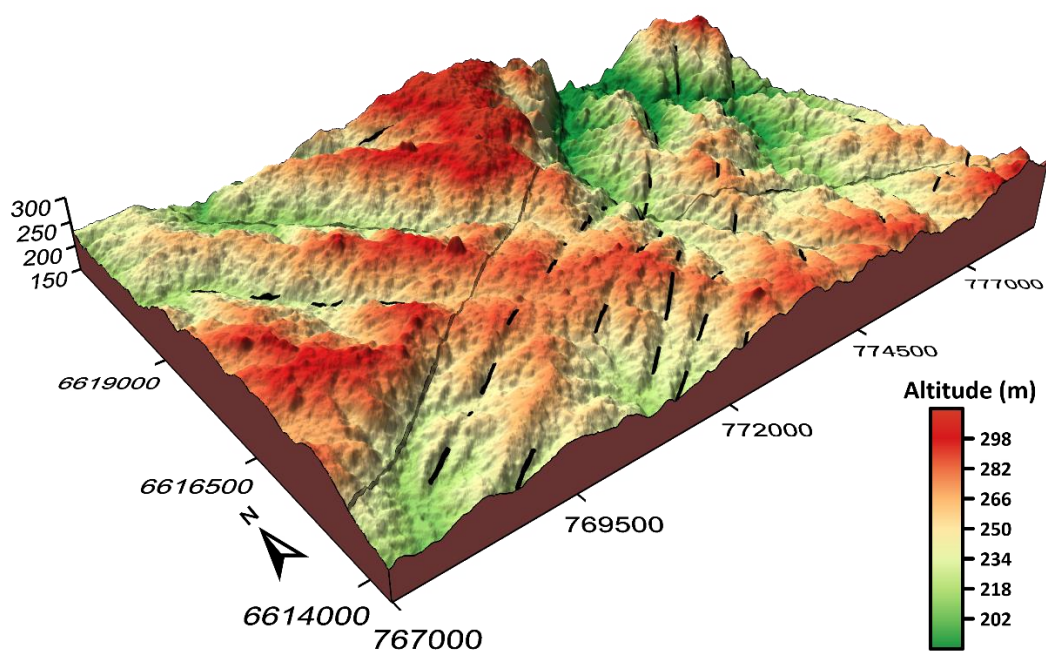
Segundo classificação proposta por Soares & Fiori (1976), as drenagens (Figura 13) se distribuem com média densidade, tendência retilínea, coincidindo com a direção dos principais lineamentos, alta angularidade, distribuição tridirecional, além de forte simetria, com presença de meandros e cotovelos ao longo dos principais cursos d'água.

Figura 13 – Mapa altimétrico com os domínios geomorfológicos, relevo sombreado e drenagens.



Fonte: Autor.

Figura 14 – Visualização 3D dos domínios geomorfológicos, modelo digital de terreno, relevo sombreado e drenagens com exagero vertical de 8x.



Fonte: Autor.

7.2 Aerogeofísica

Dados aerogeofísicos e respectivos mapas de isocontornos obtidos (malhas interpoladas), foram integradas as informações geológicas da área. Adotou-se realce de relevo por meio de sombreamento a fim de otimizar a visualização, análise e interpretação das litologias, topografia e anomalias geofísicas.

7.2.1 Aerogamaespectrometria

A gamaespectrometria dos elementos descreve a geoquímica indireta superficial, apontando diversas informações acerca da composição e mobilidade dos radio elementos na área.

Altos valores de K (Figura 15a) são observados demarcando o MLJ e o GPA, porém é notável a maior redução K nas porções de maior altitude do que os demais elementos, onde está situado a FRB, o que pode ter sido causado pela menor resistência do arenito no topo em relação ao granito na base, aliado à maior mobilidade que o K possui em relação aos demais elementos, demarcando muito bem o contato entre ambos melhor visto no mapa de K.

O eU e eTh são elementos de menor mobilidade, portanto tendem a manter suas concentrações próximas da área fonte. Em contraste, a NE, o K aparece além dos limites do MLJ, isso ocorre provavelmente devido a acentuada variação topográfica no local (Figura 13 e Figura 14 Domínio C) fazendo com que o K migre do topo para a base, enriquecendo superficialmente o CMPI que é caracterizado no restante da área por conter concentrações menores de K.

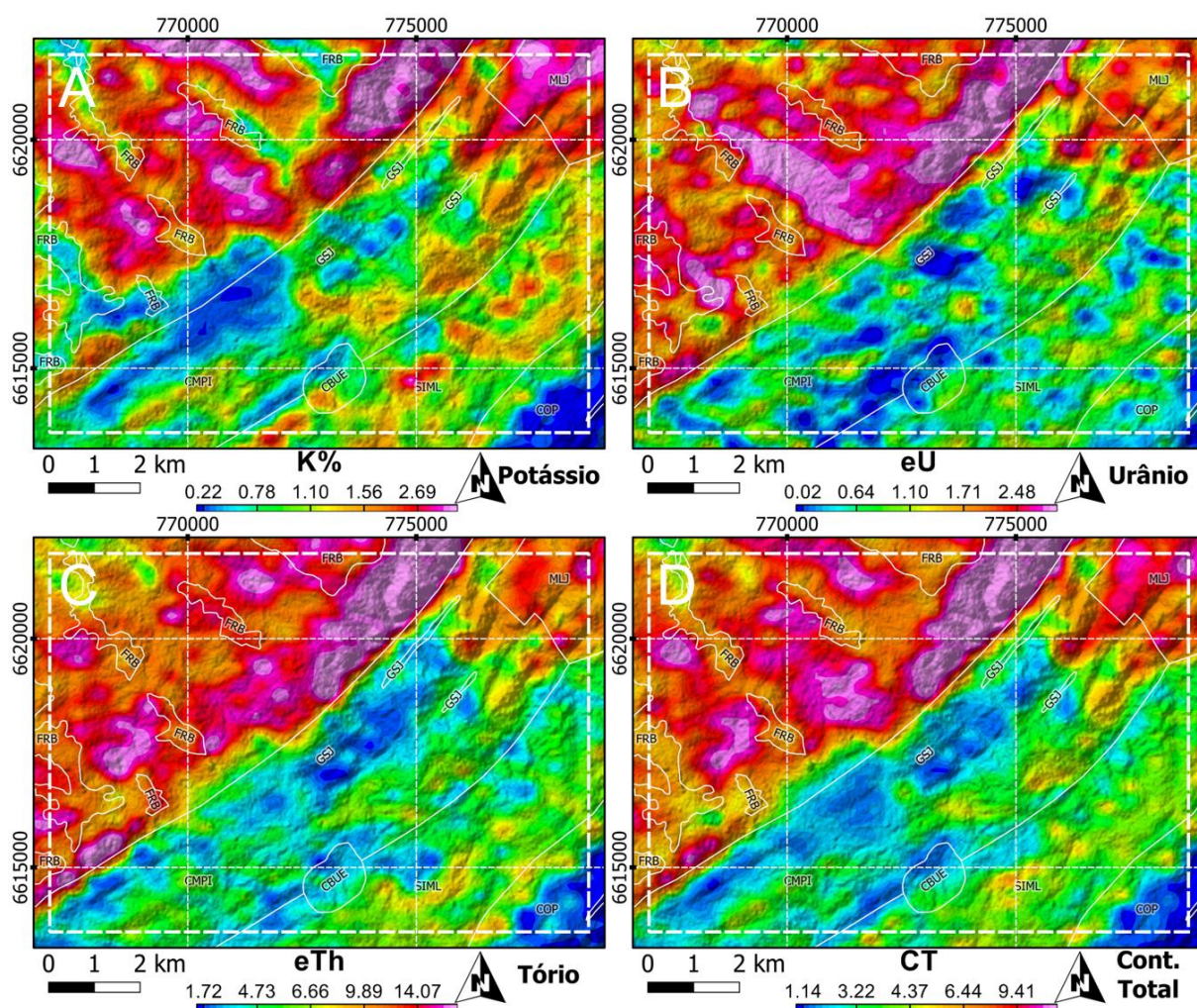
O CMPI, exibe leve variação lateral NW-SE, perpendicular a orientação de seus lineamentos. Quanto às concentrações dos elementos, o CMPI apresenta maior razão de K para a região próxima a SIML, e maior razão para eU e eTh no contato com o GPA. Importante destacar que no ponto da ocorrência, as quantidades são de aproximadamente 0,9%, 2,0 ppm e 0,03 ppm para K, eU e eTh respectivamente ficando próxima a classificada entre Anfibolito e Xisto-verde de conforme Tabela 1 de Galbraith and Saunders (1983).

No extremo SE, o COP aparece fortemente demarcado pela coloração escura (Figura 16) devido a baixas concentrações de todos os três elementos.

O mapa ternário com os radio elementos (Figura 16) e o mapa de contagem total (Figura 15) observa-se uma distribuição heterogênea de K, eU e eTh possibilitando definir uma divisão local, onde altas concentrações encontram-se na porção NW e as menores dispostas na SE.

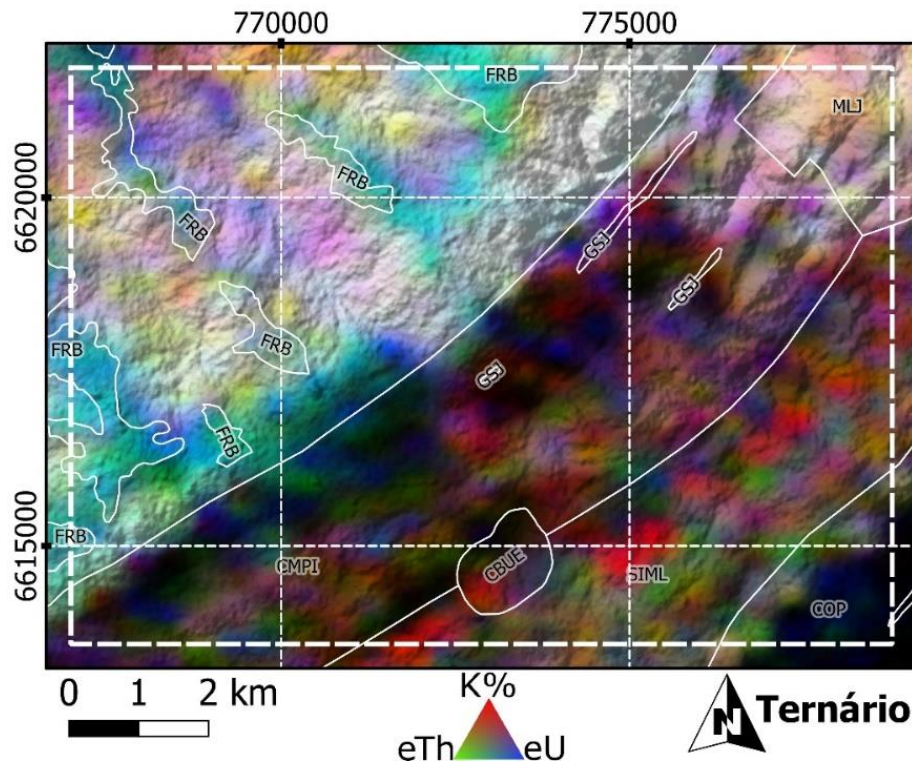
Na faixa da SIML, variações pontuais com acréscimos e decréscimos dos três elementos, preferencialmente orientados NE-SW são observadas. Essas alterações possuem associação com as diferenciações na sequencia plutônica de que varia de dioritos a monzogranitos.

Figura 15 - Concentrações individuais e d) total dos radio elementos a) K, b) eU.e c) eTh.



Fonte: Autor.

Figura 16 - Mapa de composição ternária RGB para os elementos K, eTh e eU na área de estudo.



Fonte: Autor.

7.2.2 Aeromagnetometria

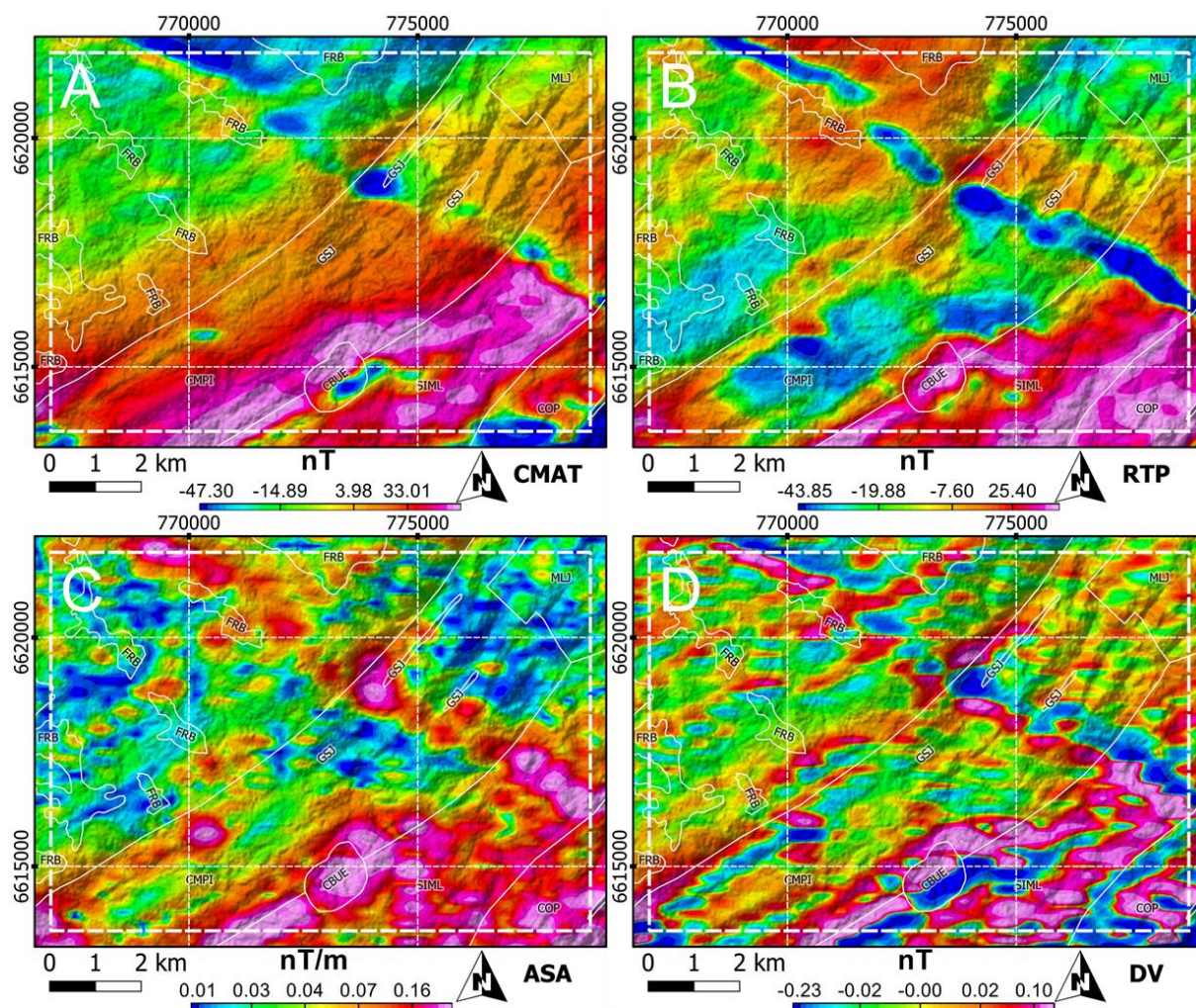
Os mapas de aeromagnetometria descrevem as perturbações magnéticas causados pela composição das rochas, minerais formadores e material superficial de alteração distribuídos ao longo da região de estudo. Ao se observar os dados de Campo Magnético Anômalo Total (CMAT), uma significativa amplitude dos valores dividindo a área em duas regiões é observada tendo-se valores negativos na porção NW e positivos na SE.

Quanto a resposta obtida da intensidade magnética a partir dos mapas magnetométricos (Figura 17) os valores submetidos a Redução Total ao Polo (RTP) para as litologias na porção SE exibem consideráveis anomalias magnéticas, enquanto a faixa ao longo do CMPI, e a região W do GPA exibem anomalias intermediárias a baixas. Desta forma, as maiores amplitudes (altos positivos) de intensidade magnética entre as litologias apontam para um condicionante estrutural que define estes contatos.

Quanto à amplitude do sinal magnético referentes a Sinal Analítico (ASA) são observadas amplitudes menores na maior parte da região. Em contrapartida para o CBUE, SIML e a sudeste de COP, as amplitudes tendem a ser reduzidas.

Uma orientação de direção NW-SE é visivelmente marcada por um contraste negativo para CMAT, RTP e DV. Para os valores de ASA, nota-se valores positivos com significativa diferença em comparação aos demais contrastes. Essa feição secciona todas as litologias da área. Quanto aos demais contrastes anômalos observados, os valores apresentados para a Primeira Derivada Vertical (DV) encontram-se orientados na direção NE-SW, concordantes com os lineamentos e falhas observados pela litologia e topografia, destacando-se o CBUE e o contato entre GPA e CMPI.

Figura 17 - Mapas dos valores das anomalias magnéticas para a) CMAT, b) RTP, c) ASA e d) DV.



Fonte: Autor.

7.3 Magnetometria terrestre

Os perfis magnetométricos terrestres e valores medidos na área possuem os seguintes representantes litológicos em superfície;

a) Perfil A-B possui direção N-S e secciona as principais litologias na área, sendo:

GPA – Granito Passo da Areia;

CMPI – Complexo Metamórfico Passo do Ivo;

CBUE – Corpos Básicos-ultrabásicos estratiformes.

b) Perfil C-D possui direção E-W e encontra-se ao longo da ocorrência mineral de Zn-Pb-Cd (Ag) (Figura 18B).

A área de instalação do magnetômetro base para o estudo e ponto de ocorrência mineral de Zn-Pb-Cd (Ag) (Toniolo, 2016) encontram-se ilustradas na Figura 18.

Figura 18 – Foto mosaico com o **a)** magnetômetro base sendo instalado e **b)** ponto da ocorrência mineral.



Fonte: Autor.

Os dados magnetométricos de campo anômalo total e anomalias observadas são associadas aos materiais em subsuperfície causadas pela variação do Campo magnético anômalo terrestre (campo magnético induzido). Estes, possuem significativo aumento na resolução em contraste com os dos dados aéreos, possibilitando identificar anomalias associadas a altas frequências e não detectáveis pelas respostas aerogeofísicas. Para definição e análise das anomalias observadas, respectivos mapas e perfis, foram adotadas técnicas de processamento e realce como

a redução dos dados ao polo (RTP), amplitude do sinal analítico (ASA) e derivada vertical (DV) de primeira ordem (vide item 6.3).

7.3.1 Perfis

Para otimização da análise e interpretação, os perfis apresentados nas Figura 19 e 20, o preenchimento de fundo corresponde as cores respectivas ao mapa geológico deste estudo. A variação de terreno (topografia) é apresentada no eixo com valores em metros (m). O exagero vertical adotado é de 18x para o Perfil A-B e de 8x para o Perfil C-D.

Em ambos os perfis as anomalias magnéticas estão em nT para CMAT, RTP e DV e em nT/m para AS. Foram definidos três domínios anômalos para cada perfil (A, B e C para o Perfil A-B e D, E e F para o Perfil C-D), marcados por maiores amplitude (altas frequências de onda) em relação ao restante dos dados. Os limites espaciais estão marcados por linhas pontilhadas (Figura 19 e 20).

No Perfil A-B (Figura 19) o Domínio A está totalmente situado no GPA e se estende por 910 metros e varia na porção de 360 metros até 1.270 metros à sul. O Domínio B inicia no contato entre o GPA e o CMPI (2179 metros do perfil) e estende-se por 1.226 metros até 3.405 metros. O Domínio C situa-se próximo ao contato entre o CMPI e o CBUE, estendendo-se até o final do perfil (de 5.583 metros a 6.583 metros).

No Perfil C-D (Figura 20), o Domínio D está próximo ao contato entre o GPA e o CMPI se estende por 210 metros de comprimento e variando de 83 metros até 293 metros à leste. Os Domínios E e F estão localizados no CMPI. O Domínio E abrange 627 metros de comprimento e varia de 1129 metros à 1756 metros. Já o Domínio F, com 418 metros, aparece ao final do perfil entre 2342 metros à 2760 metros.

7.3.1.1 Topografia:

i) Perfil A-B

O Perfil A-B (Figura 19) possui comprimento total de aproximadamente 6,5 quilômetros e uma altitude média de 281 metros com variação altimétrica de 67 metros

(de 261 metros a 328 metros). O contato do GPA encontra-se a 2,1 quilômetros onde pode ser visualizada uma abrupta declividade no relevo no limite com o CMPI. Esta litologia encontra-se ao longo de 3,5 quilômetros do perfil e seu contato com o CBUE é marcado por um alto topográfico.

ii) Perfil C-D

O Perfil C-D (Figura 20) se estende por de 3 quilômetros à uma altitude média de 243 metros com variação de 84m, (de 199 metros até 283 metros). O contato do GPA encontra-se a 145 metros e na porção mais elevada. O CMPI ocupa o restante do perfil por 2825 metros.

7.3.1.2 Campo Magnético Anômalo Total:

i) Perfil A-B

Para o Perfil A-B, os dados de CMAT (Figura 19), apresentam intensidade magnética média de 22444,45nT. No Domínio A a média é de 22423,71nT, com intensidades magnéticas variando de 22368,75nT à 22480,10nT e uma amplitude de 111,35nT. Para o Domínio B o valor médio das anomalias é de 22446,55nT com variação de 22393,89nT à 22555,24nT e uma amplitude de 161,35nT. No Domínio C o valor médio das anomalias é de 22473,27nT com variação de 22352,60nT à 22751,95nT e uma amplitude de 399,35nT. Nota-se que os valores máximos das anomalias magnéticas estão situados no contato entre CMPI e CBUE.

ii) Perfil C-D

Para o Perfil C-D, os dados de CMAT (Figura 20), intensidade magnética média de 22452,46nT. No domínio D, a média é 22460,32nT, com a intensidade magnética variando de 22525,31nT à 22392,38nT e amplitude 130nT. Para o Domínio E a média das anomalias é 22438,96nT e varia de 22421,38nT à 22534,68nT com amplitude de 113,3nT. Nos metros finais, para o Domínio C o valor médio das anomalias é 224552,55nT e varia de 22508,08nT à 22380,21nT, o que marca uma amplitude 127,87nT.

7.3.1.3 Redução ao Polo:

i) Perfil A-B

As anomalias magnéticas de CMAT ao serem submetidas a redução ao polo (RTP) no Perfil A-B (Figura 19) indicam a intensidade magnética média é de 22418,28nT. Para o Domínio A, a média da intensidade magnética é de 22405,76nT, que varia de 22355,45nT à 22429,34nT e com amplitude de 123,3nT. No Domínio B a intensidade média é 22412,83nT, varia de 22294,55nT à 22452,01nT e possui amplitude de 157,46nT. O Domínio C exibe a média de 22371,77nT, que varia de 22146,10nT à 22552,64nT e amplitude de 406,54nT.

ii) Perfil C-D

Os dados de CMAT submetidos a RTP para o Perfil C-D (Figura 20) apontam a intensidade magnética média de 22418,28nT. No Domínio D a intensidade média é de 22449,2nT, varia de 22348,11nT à 22474,68nT e com amplitude de 126,57nT. Para o Domínio E, a média da identidade é de 22457,15nT que varia de 22407,00nT à 22506,00nT e amplitude de 99nT. Para o Domínio F essa intensidade tem média de 22438,07nT, varia de 22388,24nT até 22498,57nT e amplitude de 110,33nT.

7.3.1.4 Sinal Analítico:

i) Perfil A-B

As anomalias magnéticas de Campo Anômalo Total submetidas a Amplitude do Sinal Analítico (AS) conforme a Figura 19 apresentaram uma média dos valores anômalos de 0,26nT/m. No Domínio A a média é 0,46nT/m com maior valor de 1,58nT/m. No Domínio B a média apresentada é de 0,61nT/m com maior valor de 3,12nT/m. Para o Domínio C a média é de 2,05nT com valor máximo de 4,94nT/m.

ii) Perfil C-D

No Perfil C-D, o CMAT submetido a AS expõem, conforme Figura 20, média de 0,32nT/m para os valores anômalos. No Domínio D, a média é 1,18nT/m com maior valor chegando a 3,11nT/m. Para o Domínio E, a média dos valores anômalos é 0,19nT/m com máximo de 1,58nT/m. No Domínio F, a média é 1,07nT/m e valor mais elevado é 3,8nT/m.

7.3.1.5 Derivada Vertical:

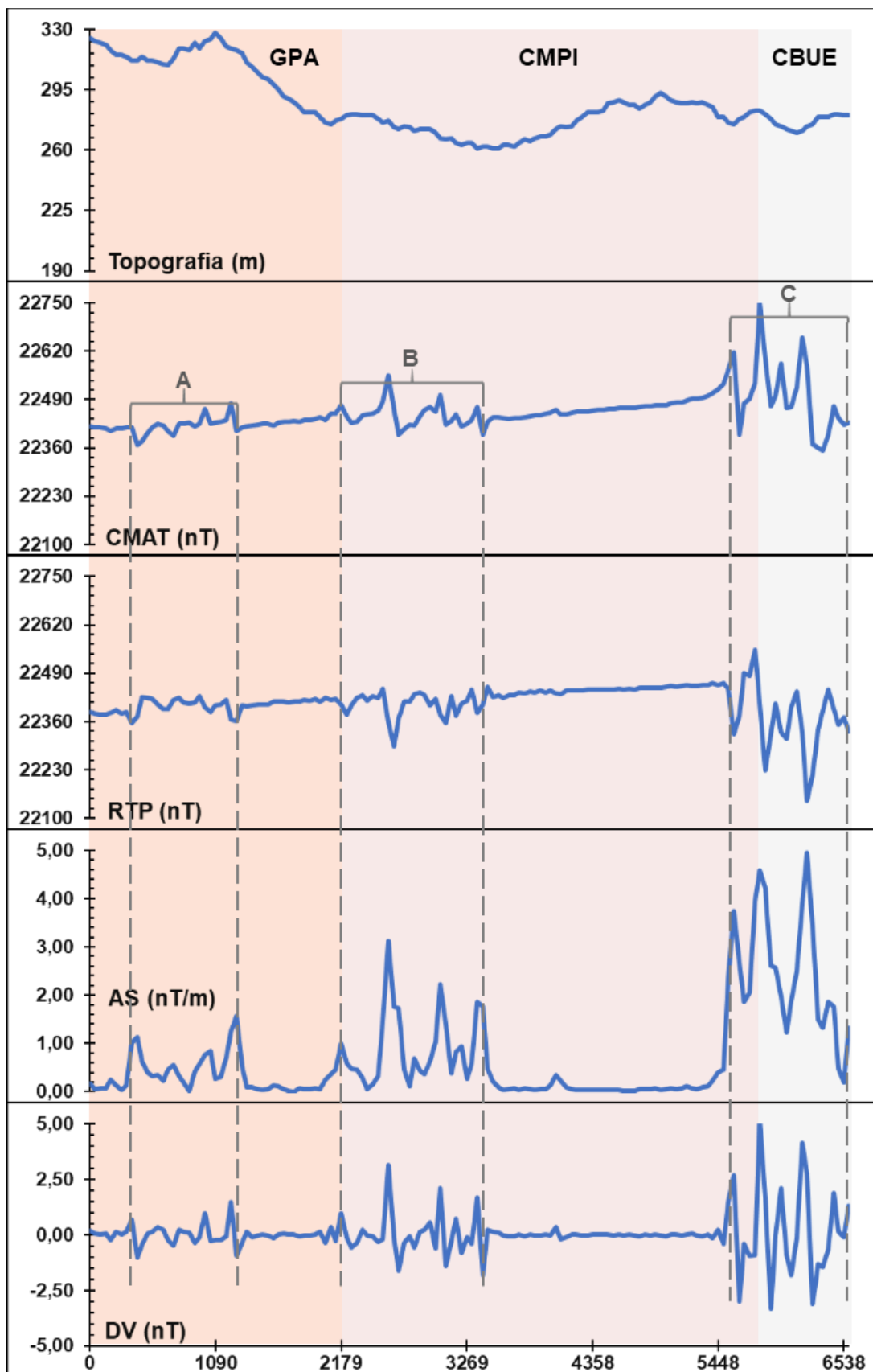
i) Perfil A-B

Ao submeter-se os valores de campo magnético anômalo total (CMAT) a derivada vertical de primeira ordem (DV) no Perfil A-B (Figura 19), obteve-se uma média de -0,01nT. Para o Domínio A, que possui média de -0,05nT, as anomalias variam, de -1,02nT à 1,46nT e amplitude de 2,48nT. No Domínio B, onde a média é média de -0,1nT, varia de -1,84nT à 3,14nT e amplitude de 4,98nT. E no Domínio C a média é -0,16nT, varia de -3,32nT à 5,25nT e amplitude de 8,57nT dos valores anômalos.

ii) Perfil C-D

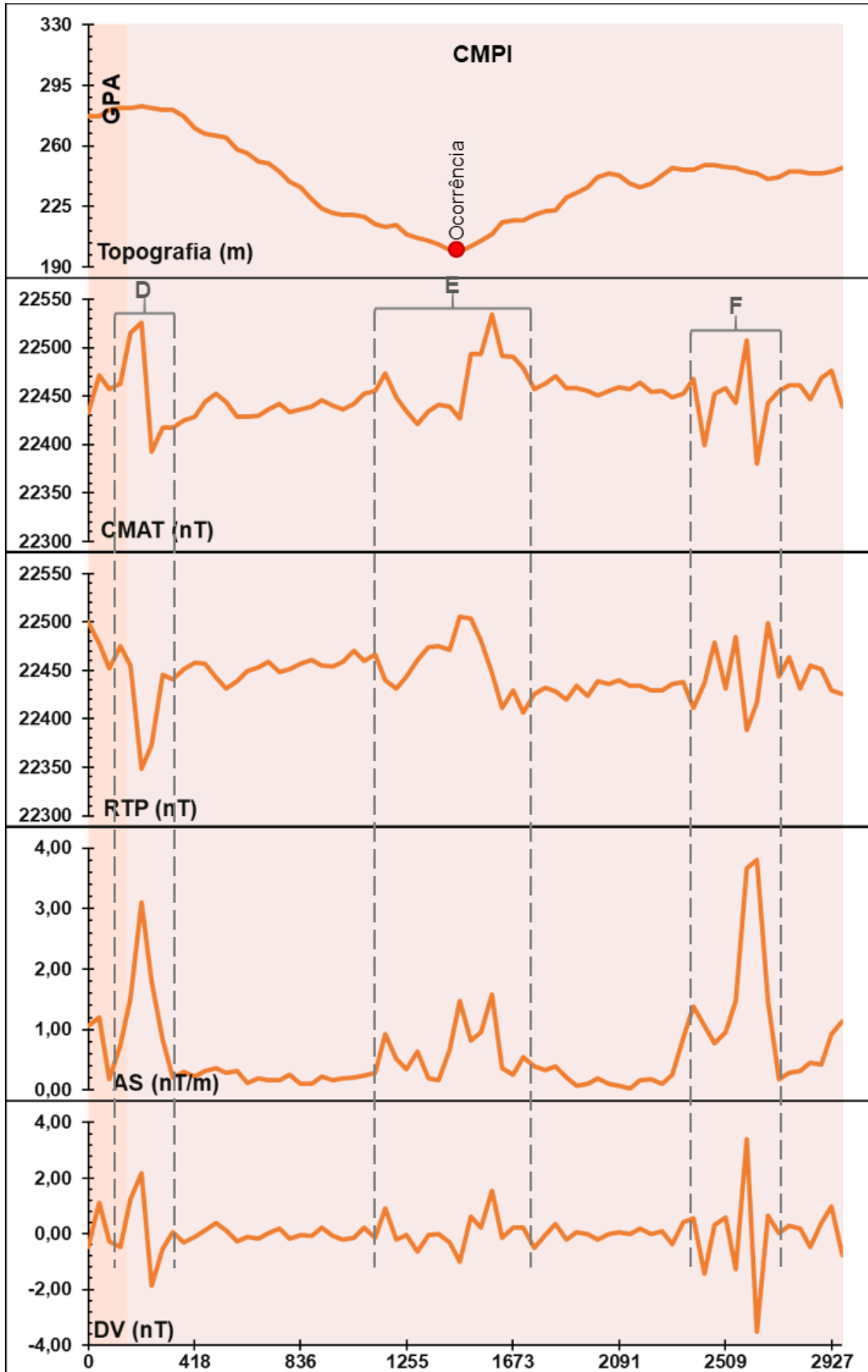
Para os dados de CMAT submetidas a DV de primeira ordem do Perfil C-D (Figura 20), a média dos valores anômalos é -0,02nT. O Domínio D, têm média de -0,36nT para os valores anômalos que varia de -1,88nT à 2,18nT e amplitude de 4,06nT. Para o Domínio E a média das anomalias é -0,07nT, varia de -1,02nT à 1,56nT com amplitude de 2,56nT. No Domínio F, a média é 0,31nT, varia de -3,51nT à 3,40nT e amplitude de 6,91nT.

Figura 19 - Perfil A-B com as anomalias magnéticas (CMAT, RTP, AS e DV), litologias e variação topográfica da área.



Fonte: Autor.

Figura 20 - Perfil C-D com o ponto de ocorrência, anomalias magnéticas (CMAT, RTP, AS e DV), litologias e variação topográfica da área.



Fonte: Autor.

7.3.2 Mapas geofísicos

Os mapas apresentados nas Figura 21, Figura 22 e Figura 23, foram gerados a partir dos dados dos perfis (Figura 19 e Figura 20). O método interpolador e respectivos isocontornos gera uma superfície suave com pouca distorção dos dados nos pontos amostrados.

Foi adotado no estudo a apresentação dos mapas em seções restritas ao longo do perfil considerando o efeito de borda gerado (*edge effect*). Desta forma, os dados são visualizados de forma mais precisa. A rampa de cores foi definida aplicando o realce nos dados a partir do corte de contagem cumulativa onde os limites iniciam desconsiderando os valores extremos abaixo de 2% e acima de 98% destacando as variações intermediárias onde estão contidos 94% dos dados.

i) Perfil A-B

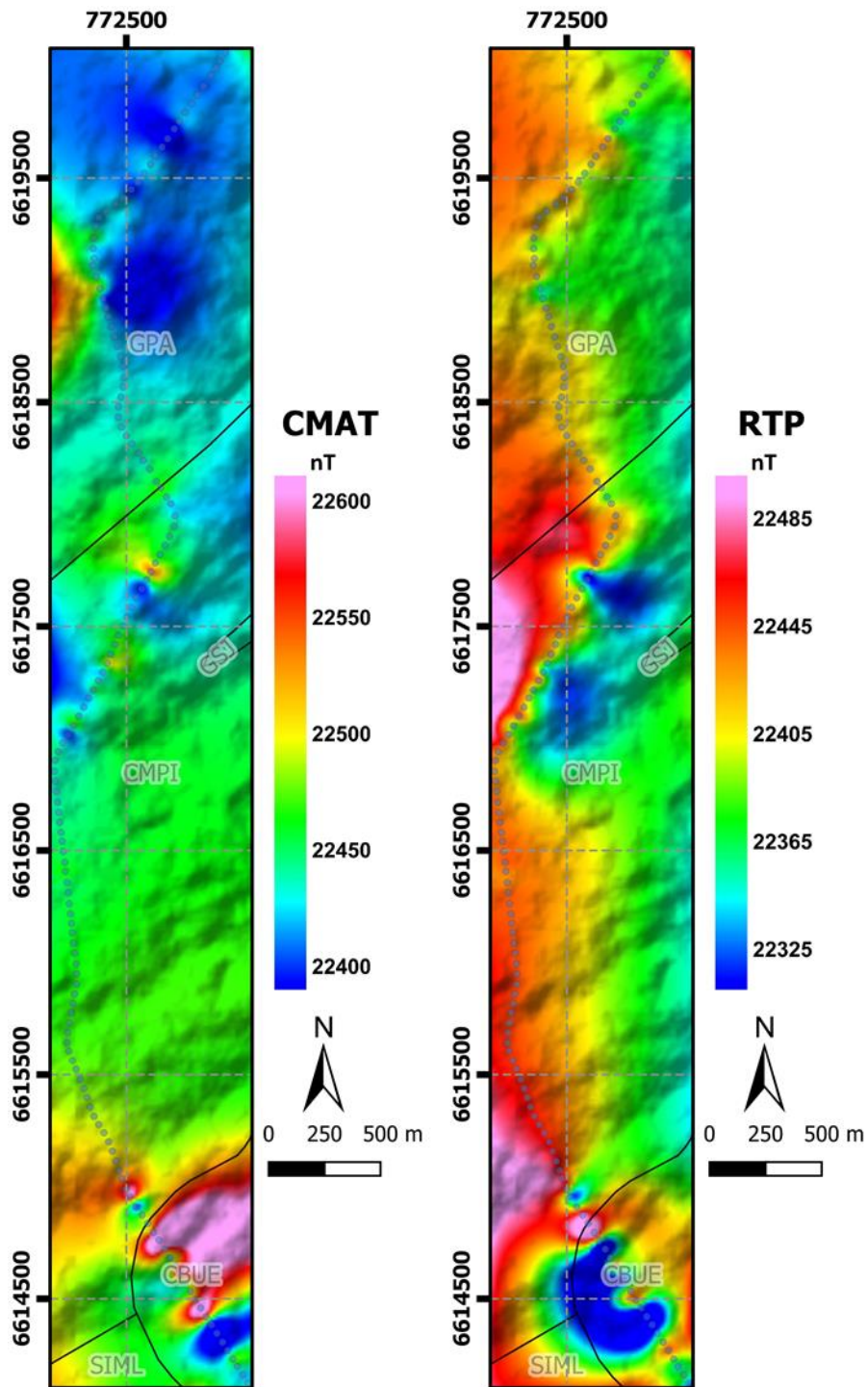
A análise dos mapas para o Perfil A-B para os valores de CMAT (Figura 21) apontam para o GPA caracterizado por um Domínio de baixos valores magnéticos considerando que o CMPI, em geral apresenta valores intermediários. O CBUE apresenta anomalias de maior variação magnética (susceptibilidade) apresentando uma anomalia de significativa amplitude contrastando com o restante da área.

Para os dados Reduzidos ao Polo (RTP) (Figura 21) as anomalias magnéticas observadas possuem valores intermediários com exceção ao contato do CMPI com o CBUE onde há visível contraste entre as anomalias negativas e positivas.

Os dados de Sinal Analítico (AS) (Figura 22) há uma visível distribuição dos valores anômalos (intensidades) semelhante ao observado no mapa de CMAT com baixos valores nas litologias do GPA, variações no contato com o CMPI e valores altos para o CBUE.

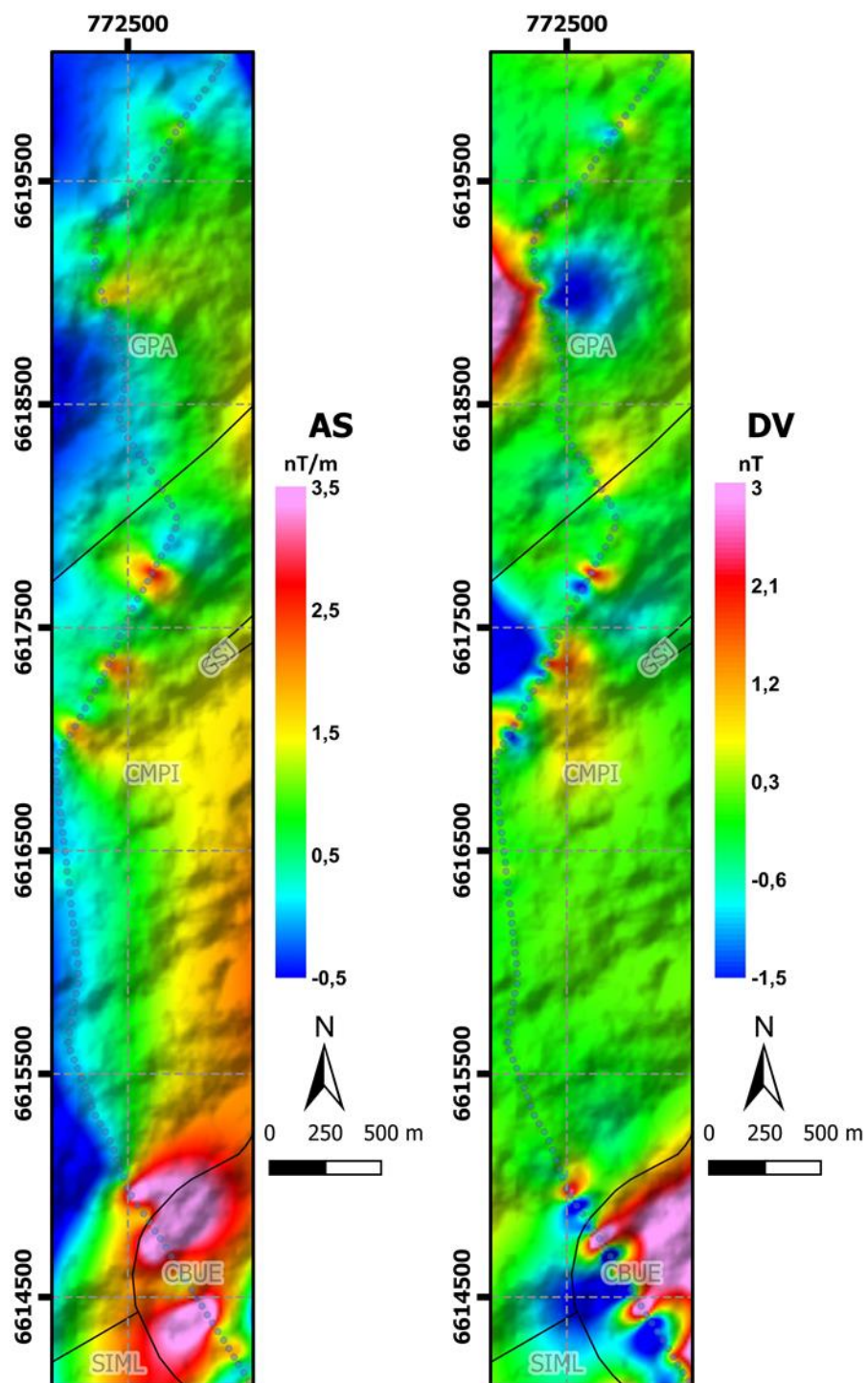
Para o mapa com os valores magnéticos submetidos a primeira Derivada Vertical (DV) (Figura 22) os valores e suas variações mantem-se intermediários e constantes ao longo do perfil. Apresenta pequenas variações no GPA e no início do contato com o CMPI. É observado apenas no CBUE uma significativa oscilação dos valores anômalos.

Figura 21 - Mapas dos valores anômalos de CMAT e RTP obtidos no Perfil A-B.



Fonte: Autor.

Figura 22 - Mapas dos valores anômalos de CMAT submetidos a AS e DV no Perfil A-B.



Fonte: Autor.

ii) Perfil C-D

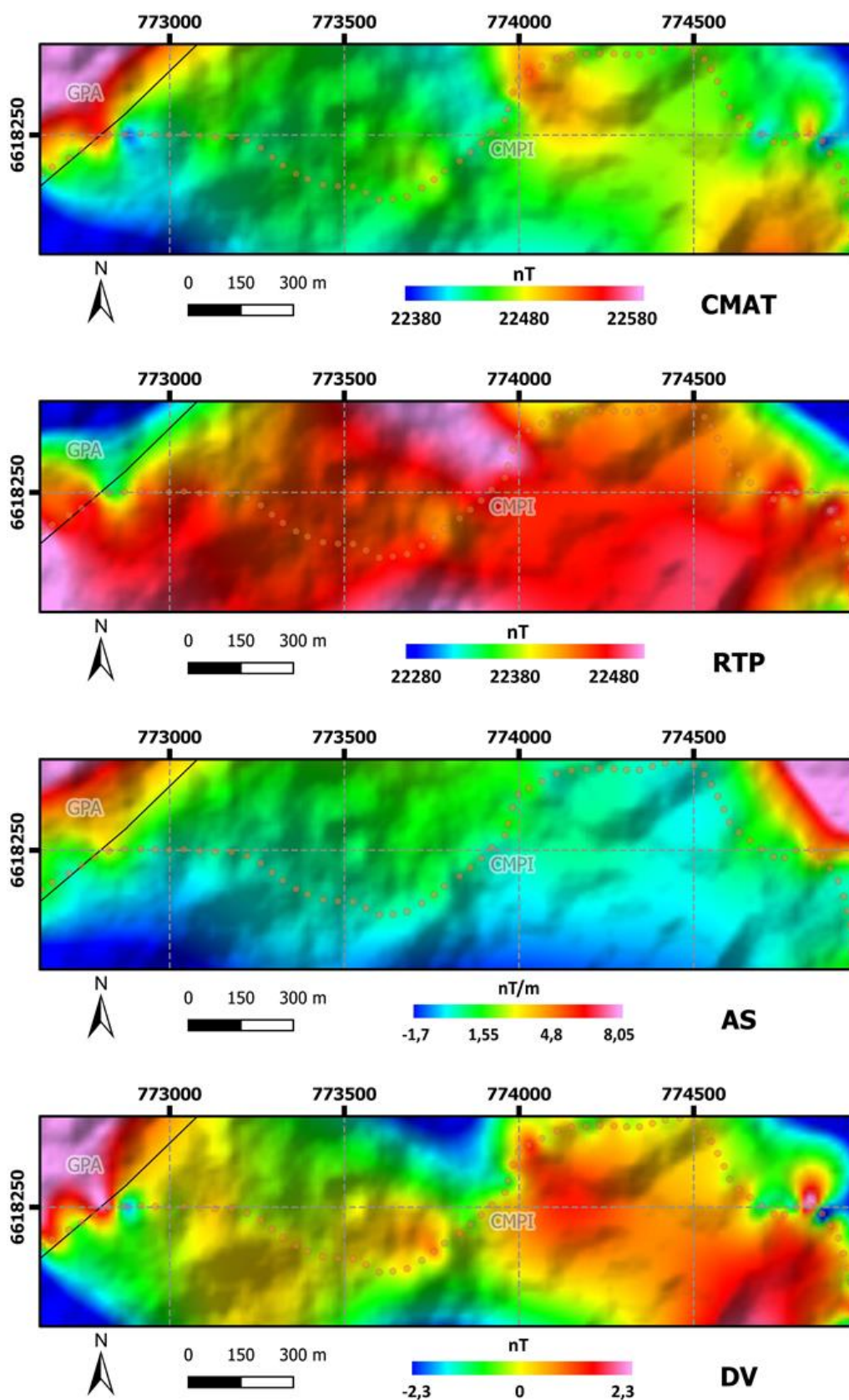
A partir da análise dos mapas para o Perfil C-D dos valores de CMAT (Figura 23) apontam para o GPA caracterizado por um domínio de altos marcando o contato com o CMPI. Esta litologia em geral apresenta valores magnéticos intermediários com apenas dois pontos (aos 1,5 quilômetros e 2,6 quilômetros) com valores acima da média.

Para os dados Reduzidos ao Polo (RTP) (Figura 23) as anomalias magnéticas observadas possuem valores acima da média, com exceção no contato entre o GPA e CMPI onde é visível contraste entre as anomalias negativas e positivas.

Nos dados de Sinal Analítico (AS) (Figura 23) é observado altos valores anômalos na porção NE do CMPI, o restante do mapa apresenta distribuição das intensidades semelhante ao observado no mapa de CMAT com altos valores para litologias do GPA e variações no contato com o CMPI.

Para o mapa com os valores magnéticos submetidos a primeira Derivada Vertical (DV) (Figura 23) os valores e suas variações mantem-se intermediários a altos. Apresenta altos valores no GPA em contato com o CMPI. É observado ao longo da faixa regiões com significativa oscilação dos valores anômalos espaçadas a cada 500 metros.

Figura 23 - Mapas dos valores anômalos de CMAT, RTP, AS e DV no Perfil C-D.



Fonte: Autor.

7.4 Integração dos dados aerogeofísicos e terrestres

Para correlacionar as informações das diversas fontes que indicam características distintas da geologia ao longo dos perfis A-B e C-D, além demonstrar o ganho em detalhe obtido da geofísica terrestre em relação a aerogeofísica, optou-se por realizar a integração gráfica destes dados.

7.4.1 Gamaespectrometria

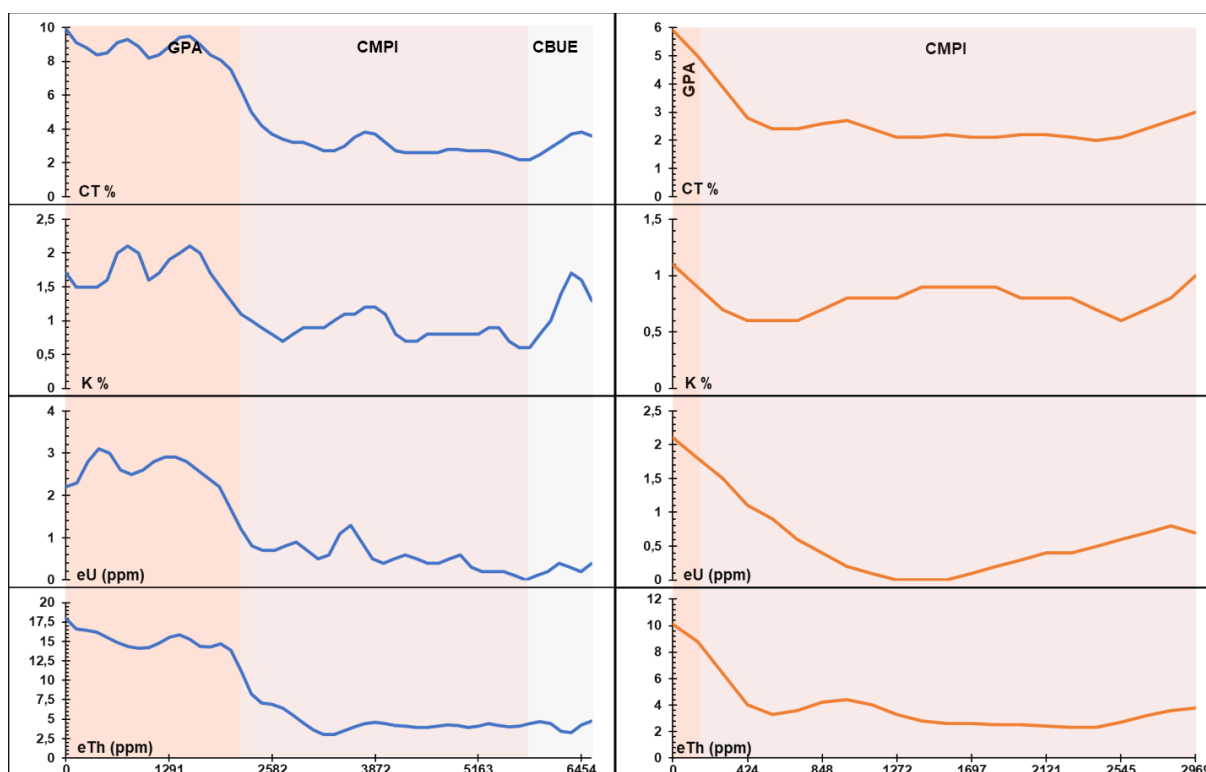
i) Perfil A-B

Para os valores da contagem total, e dos elementos K, eU e eTh, ao longo do Perfil A-B (Figura 24), é possível observar forte correlação dos canais com as litologias presentes na área. Altas valores dos radio elementos são observadas para o GPA, que decresce no contato com o CMPI. Um sutil aumento dos valores pode ser observado na porção situada a 3.800 metros no perfil. Uma provável interpretação aponta para a presença de um pequeno corpo granitóide do GSJ, situado a cerca de 600 metros na direção leste. O canal de K% é o único que difere positivamente dos demais na porção final do perfil marcando uma influência do CBUE.

ii) Perfil C-D

A partir dos dados de contagem, e dos elementos K, eU e eTh, no decorrer do Perfil C-D (Figura 24), é notável forte ligação entre os valores dos canais e as litologias existentes na área. Altas concentrações dos radio elementos são observadas para o GPA no início do perfil, que decresce abruptamente após o contato com o CMPI. Nesta litologia o canal de K% apresenta um suave e amplo aumento no centro. Uma possível explicação para este fenômeno também seria a presença do pequeno corpo granitóide do GSJ que é cortado a montante pela drenagem que passa nesse ponto, carregando minerais ricos em potássio.

Figura 24 – Valores observados para os dados aerogamaespectrométricos para Contagem Total (CT) e canais de K, eU e eTh no Perfil A-B (azul) e Perfil C-D (Laranja).



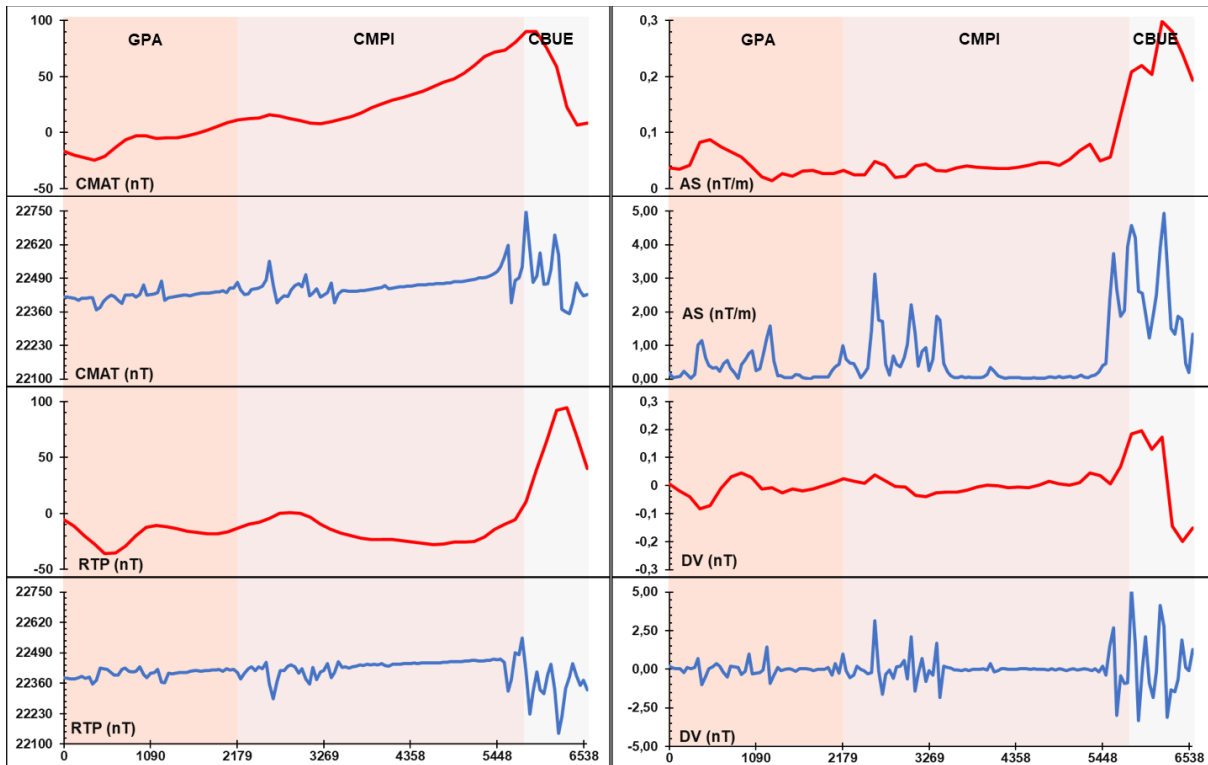
Fonte: Autor.

7.4.2 Magnetometria

i) Perfil A-B

A integração dos dados aerogeofísicos e terrestres para o Perfil A-B pode ser observado na Figura 25. Nota-se visível correlação com os contrastes do sinal magnético *versus* litológicos. Observa-se o significativo ganho de resolução nos dados terrestres especialmente nas altas frequências (ausentes nos dados aéreos). Há uma variação tênue no começo do perfil para o GPA e na transição para o CMPI. Observa-se um contrastante gradiente vertical (amplitude) associada a transição entre o CMPI e o CBUE. Essas variações marcam estruturas que demarcam o contato entre as litologias e lineamentos que ocorrem pela possível presença de falhas ou fraturas em subsuperfície causando o acúmulo de minerais magneticamente suscetíveis.

Figura 25 - Integração dos valores magnéticos anômalos aéreos (vermelho) e terrestres (azul) para o Perfil A-B.

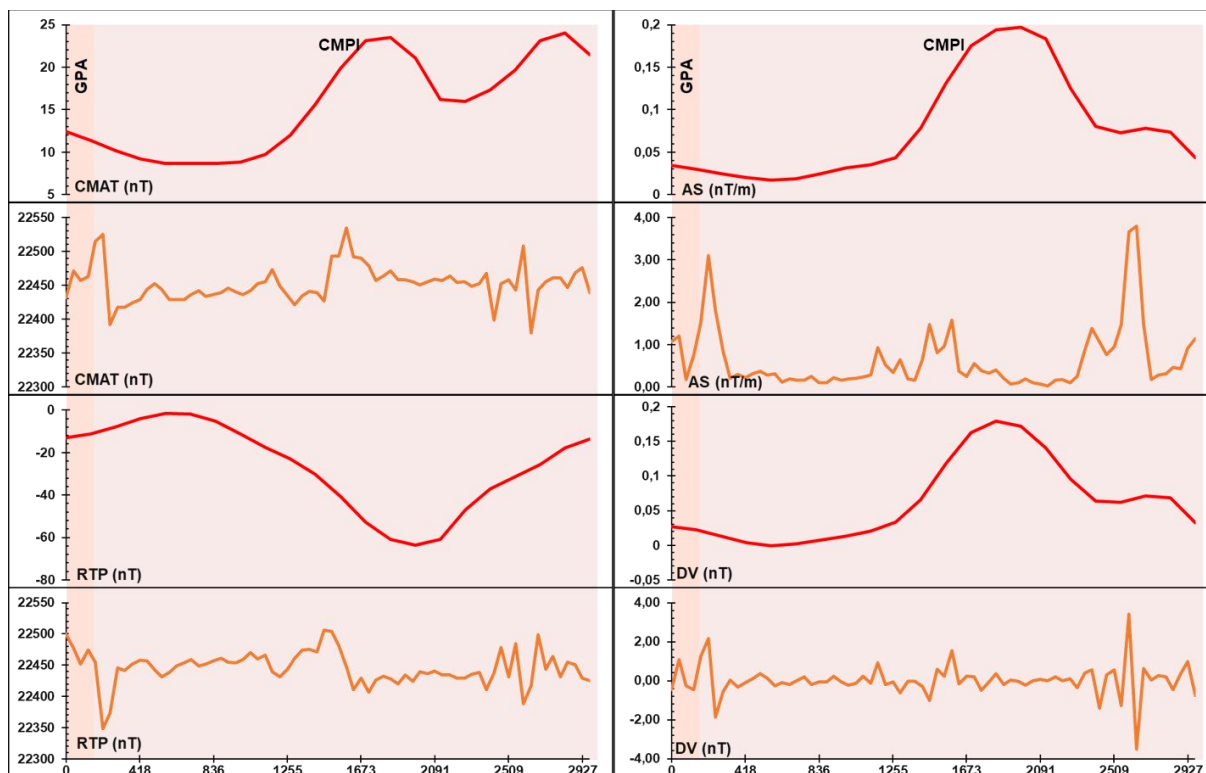


Fonte: Autor.

ii) Perfil C-D

A integração dos dados aerogeofísicos e terrestres para o Perfil C-D pode ser observado na Figura 26. Da mesma forma ao que ocorre para o Perfil A-B, nota-se considerável melhoria de resolução nos dados terrestres principalmente nas altas frequências (ausentes nos dados aéreos) porém correlação com os contrastes do sinal magnético *versus* litológicos melhor observada nos dados terrestres.

Figura 26 - Integração dos valores magnéticos anômalos aéreos (vermelho) e terrestres (laranja) para o Perfil C-D.

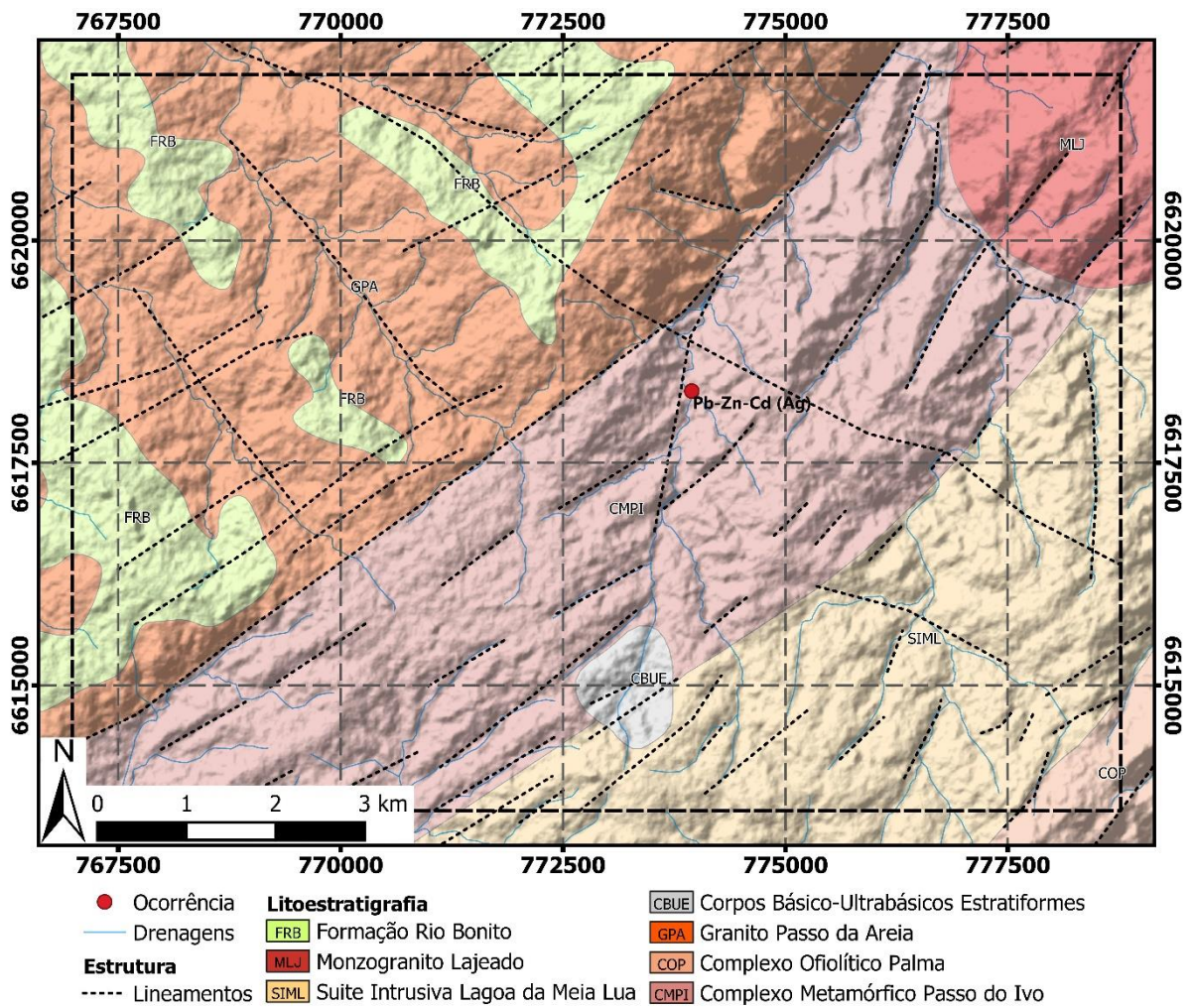


Fonte: Autor.

7.5 Mapa Litogeofísico proposto a partir dos resultados

Após análise dos dados de distribuição dos teores dos elementos radioativos K, eU, eTh da Figura 16 integrados ao sensoriamento remoto e magnetometria (aérea e terrestre) foram delimitados os limites para os respectivos domínios neste estudo. Os valores anômalos do campo magnético anômalo total submetidos a primeira derivada vertical (DV), proporcionaram os melhores contrastes na determinação destes limites (Figura 17 D). Desta forma, estas feições identificadas oferecem uma proposição e revisão dos limites geológicos a partir de um mapa lito-geofísico interpretado conforme apresentado na Figura 27. As nomenclaturas das respectivas litologias da área foram mantidas de acordo com (Laux et al., 2016)

Figura 27 - Mapa lito-geofísico interpretado a partir das anomalias geofísicas e geologia reconhecida para o local.



Fonte: Autor.

8 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

A partir da proposta deste estudo, o emprego das diversas fontes de dados prévios disponíveis permitiu realizar correlações entre a variação de terreno (topografia), litologia e estruturas em escala regional que subsidiaram as análises e interpretações a partir da aquisição geofísica em escala de semi-detalhe no local. Além disso, ofereceu uma contribuição acerca das principais estruturas em superfície e subsuperfície e das distribuições das principais rochas reconhecidas na região.

O presente estudo contribuiu para o reconhecimento em maior detalhe da geologia local através da geração de um mapa lito-geofísico interpretado que apresenta uma nova configuração para os limites litológicos e detalhamento estrutural, com a delimitação de lineamentos de direções preferencias NE-SW. Uma anomalia magnética de gradiente contrastante pode ser observada ao norte da área e que secciona toda a região área de estudo com sentido preferencial NW-SE. Adicionalmente, uma estrutura de sentido preferencial N-S foi também detectada. Esta é caracterizada pelo abrupto contraste topográfico observado e confirmado, também, pelas anomalias magnéticas de campo anômalo total submetidas a redução ao polo (RTP) e observadas no Domínio E do Perfil C-D.

Deve-se salientar que uma considerável falta de resolução dos dados aéreos disponíveis do projeto 1100 (densidades de linhas de voo de 500 metros de espaçamento) constitui um elemento que deve ser levado em conta na análise e interpretação. Em especial, atendendo a escala de estudo (1:20.000). Desta forma a realização de uma aquisição terrestre representa um significativo ganho em resolução possibilitando a detecção de contrastes litológicos e estruturais à escala do estudo. Além disso, os resultados obtidos ofereceram importante relevância para os resultados obtidos na região.

Essa pesquisa apresentou importante relevância para o conhecimento geológico da região a partir de uma nova abordagem de estudo no local através da integração de dados de sensoriamento remoto e aerogeofísica de fácil acesso e sem custos e que são subaproveitadas em grande parte dos projetos. Desta forma este estudo também buscou despertar o interesse a pesquisas análogas empregando os dados disponíveis, reconhecendo o trabalho realizados pelos órgãos responsáveis em gerar e compartilhar o acesso à informação. E a base de dados ponto a ponto do levantamento de campo disponibilizada nos Apêndices A e B, que fornecem

informações inéditas e de alta resolução que servem como material de apoio a novos estudos da região.

Sugere-se, a fim de maximizar os resultados na área e oferecer maior detalhamento, uma aquisição magnetométrica adicional paralela aos perfis realizados aumentando lateralmente a resolução das informações apenas resultantes do interpolador usado e enriquecer a definição das feições reconhecidas. A realização de uma aquisição gamaespectrométrica associada a um mapeamento geológico/estrutural, geoquímica e descrições petrográfica (micro e macro) são sugeridas a fim de definir com melhor acuracidade os limites de corpos menores e definir com precisão os contatos não detectados pela aerogamaespectrometria disponível.

REFERÊNCIAS

ANTUNES, Fernando de Souza; NEVES, Luciana Viana; SANTOS, Kairo da Silva; GRAÇA, Alan José Salomão. **Análise da integração entre Sensoriamento Remoto e SIG na classificação da Cobertura da terra em Duque de Caxias/RJ**. Revista Brasileira de Geomática, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 82-102, 2017.

ASF DAAC, 2011, **ALOS PALSAR Radiometric Terrain Corrected high res**; Includes Material © JAXA/METI 2007. Disponível em <<https://www.asf.alaska.edu>>. Acesso em: 09 mai. 2019. DOI: 10.5067/Z97HFCNKR6VA

ASSESSORIA DE COMUNICAÇÃO Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2017. **CPRM libera gratuitamente dados brutos e processados (XYZ) de aerolevantamentos geofísicos**. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Noticias/CPRM-libera-gratuitamente-dados-brutos-e-processados-%28XYZ%29-de-aerolevantamentos-geofisicos-4622.html>>. Acesso em: 10 abr. 2019.

BEDINI, Enton; RASMUSSEN, Thorkild M. **Use of airborne hyperspectral and gamma-ray spectroscopy data for mineral exploration at the Sarfartoq carbonatite complex, southern West Greenland**. Geosciences Journal, v. 22, n. 4, p. 641-651, 2018.

BRAGA, Marco Antonio et al. **Exploração de minério de ferro utilizando dados de aerogravimetria gravimétrica 3D-FTG e aeromagnetometria no quadrilátero ferrífero, Minas Gerais, Brasil**. Revista Brasileira de Geofísica v. 28, n. 4, p. 495-514, 2010.

BRIGGS, Ian C., **Machine contouring using minimum curvature**, Society of Exploration Geophysicists, v. 39, n. 1, p 39-48, 1974.

CÂMARA, G. & DAVIS, C. Introdução. In: CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V.; MEDEIROS, J. S. de. **Introdução à ciência de geoinformação**. São José dos Campos, SP: INPE, 2004.

CARDOSO, Eliezer de Moura. **Radioatividade**. Comissão Nacional de Energia Nuclear-CNEN, p. 5, 2000.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul**: relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. Rio de Janeiro, RJ: Lasa Prospecções, v. 27. Programa Geologia do Brasil - PGB, 2010.

DENTITH, Michael & MUDGE, Stephen T. **Geophysics for the Mineral Exploration Geoscientist**. New York, NY: Cambridge University Press, 2014.

Equipe de Desenvolvimento do QGIS (2019). **Sistema de Informações Geográficas do QGIS**. Projeto Código Aberto Geospatial Foundation. <<http://qgis.osgeo.org>>

European Space Agency - ESA, 2019, **S2B_OPER_MSI_L1C_TL_SGS_20190526T183505_A011590_T21JYG_N02.07**; © Copernicus data 2019. Disponível em: <<https://scihub.copernicus.eu/>>. Acesso em: 22 abr. 2019.

GALBRAITH, James H. and SAUNDERS, Donald F. **Rock classification by characteristics of aerial gamma-ray measurements**. J. Geochem. Explor., v. 18, p. 49-73, 1983.

GAMALHO, Brenda da Rocha. **Caracterização da mineralização de Pb e Zn no Complexo Passo do Ivo, São Gabriel RS. Implicações para metalogenia**. Porto Alegre, RS: IGEO/UFRGS, 2018.

GRANEMANN, Daniel Carvalho; CARNEIRO, Gerson Luiz. **Monitoramento de Focos de Incêndio e Áreas Queimadas com a Utilização de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Revista de Engenharia e Tecnologia. v. 1, n. 1, p. 55-62, 2009.

GEM Systems, Inc. Advanced Magnetometers. **GSM19 v7.0 Instruction Manual**. v. 7.4, p. 148 Markham, ON, Canadá, 2008.

HASENACK, H.; WEBER, E.(org.) Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2010. 1 DVD-ROM. (Série Geoprocessamento n.3). **ISBN 978-85-63483-00-5** (livreto) e **ISBN 978-85-63843-01-2** (DVD).

HEILBRON, Monica da Costa P. Lavalley et al. Província Mantiqueira. In: MANTESSO-NETO, Virginio et al. (Org.). **Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. Beca Produções Culturais Limitada, p. 203-234, 2004.

HOFF, Rosemary; ROLIM, Silvia Beatriz Alves; NETO, Artur Cezar Bastos. **Mapeamento aerogamaespectrométrico da alteração hidrotermal associada à mineralização no distrito fluorítico de Santa Catarina, Brasil**. Revista Brasileira de Geofísica, v. 22, n.1, p. 45-55, 2004.

IAEA. **Airborne gamma ray spectrometer surveying. Technical Reports Series nº 323**. Viena: International Atomic Energy Agency, 1991.

IAEA. **Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data**. Viena: Internaticonal Atomic Energy Agency, p. 179, 2003.

KAZMIERCZAK, Thais de Souza. **Mapeamento da Bacia do Camaquã com a utilização de dados geofísicos, geologia e sensoriamento remoto**. Porto Alegre: URGs, Programa de Pós-Graduação em Geociências, 2006.

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

LAUX, Jorge Henrique; BONGIOLO, Everton Marques; KLEIN, Carla; IGLESIAS, Carlos Moacyr da Fontoura. **Geologia e Recursos Minerais da Folha Lagoa da Meia Lua, SH.21-Z-B-VI, Estado do Rio Grande do Sul, escala 1:100.000**. Porto Alegre: CPRM, Programa Geologia do Brasil, 2012.

MENEZES, Paulo de Tarso L.; ROIG, Henrique L.; SILVA, Gustavo B.; MANE, Miguel A. **Prospecção mineral no Grupo Paranoá. Reprocessamento de dados aerogamaespectrométricos e interpretação integrada a imagens TM- LANDSAT 5**. Revista Brasileira de Geofísica, v. 24, n. 3, p. 343-355, 2006.

MOREIRA, Maurício Alves. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 4. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2011.

PASCHOLATI, Elisabete Maria; et al. **Novas ocorrências de Urânio na região de Lagoa Real, a partir da superposição de dados geofísicos, geológicos e de sensoriamento remoto**. Revista Brasileira de Geociências, v. 33, n. 2, p. 91-98, 2003.

PEREIRA, Ronaldo Mello. **Fundamentos de prospecção mineral**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2003.

POUR, Amin Beiranvand; HASHIM, Mazlan. **Structural mapping using PALSAR data in the Central Gold Belt, Peninsular Malaysia**. Ore Geology Reviews. v. 64, p. 13-22, 2015.

REUL, N., B. CHAPRON, T. LEE, C. DONLON, J. BOUTIN, G. ALORY. **Sea surface salinity structure of the meandering Gulf Stream revealed by SMOS sensor**. Geophysics Research Letters, 41, p. 3141–3148, 2014.

RIBEIRO, Vanessa Biondo; MANTOVANI, Marta SM; LOURO, Vinicius Hector Abud. **Aerogamaespectrometria e suas aplicações no mapeamento geológico**. Terræ Didática, v. 10, n. 1, p. 29-51, 2014.

SILVA, Ardemirio de Barros. **Sistemas de informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos**. 1. ed. Campinas, SP: Editora Unicamp, 2003.

SOARES, P. C., FIORI, A. P. **Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia**. Not. Geomorfol., Campinas. v. 16. n. 32, p. 71-104, 1976.

TONIOLO, João Angelo et al. **Ocorrência de Pb-Zn-Cd (Ag) em Cabeceiras do Lajeado**. Informe técnico nº 5, CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Rio Grande do Sul-Brasil. 2016.

WHITEHEAD, Nancy and MUSSELMAN, Chris. **montaj Geophysics v.6.1 Tutorial and User Guide**. Toronto, Canadá, Geosoft Incorporated, 2005.

XAVIER, Allan Moreira et al. **Marcos da história da radioatividade e tendências atuais**. Química Nova, p. 83, 2007.

APÊNDICE A – Dados magnetométricos adquiridos na área de estudo - Perfil A - B

Ponto	X	Y	CMAT (nT)	RTP (nT)	AS (nT/m)	DV (nT)	Altitude (m)
1	772943	6620061	22416,84	22384,59	0,18	0,18	325
2	772920	6620025	22416,14	22379,91	0,05	0,07	323
3	772902	6619994	22414,26	22378,36	0,07	0,03	322
4	772879	6619961	22412,76	22377,4	0,08	0,05	321
5	772846	6619911	22404,36	22384,08	0,24	-0,22	318
6	772819	6619872	22412,53	22389,8	0,14	0,12	315
7	772792	6619834	22412,53	22380,55	0,03	0,03	315
8	772763	6619794	22415,99	22385,52	0,14	0,13	314
9	772738	6619755	22415,57	22355,45	1,02	0,70	312
10	772715	6619721	22368,75	22372,09	1,14	-1,02	312
11	772685	6619677	22376,46	22425,1	0,63	-0,46	314
12	772660	6619640	22399,55	22423,23	0,41	0,04	312
13	772630	6619599	22415,34	22419,85	0,32	0,15	312
14	772608	6619563	22425,71	22404,58	0,35	0,35	311
15	772581	6619523	22419,36	22393,74	0,23	0,21	310
16	772551	6619483	22405,24	22394,05	0,46	-0,22	309
17	772522	6619450	22393,39	22418,71	0,56	-0,50	313
18	772484	6619414	22423,71	22424,09	0,32	0,21	319
19	772452	6619387	22423,82	22411,72	0,19	0,16	319
20	772410	6619354	22426,31	22407,31	0,02	0,11	318
21	772377	6619326	22418,04	22411,67	0,42	-0,35	322
22	772361	6619282	22426,05	22429,34	0,58	-0,12	319
23	772353	6619234	22464,17	22398,31	0,77	0,97	323
24	772352	6619187	22425,68	22384,58	0,84	-0,29	324
25	772356	6619143	22426,27	22403,46	0,26	-0,25	328
26	772351	6619112	22429,29	22405,76	0,30	-0,22	325
27	772365	6619061	22435,13	22419,34	0,71	-0,05	320
28	772382	6619008	22480,1	22364,81	1,25	1,46	319
29	772394	6618963	22405,11	22361,65	1,58	-0,93	318
30	772408	6618921	22413,91	22402,9	0,54	-0,38	316
31	772419	6618883	22418,24	22400,48	0,10	0,12	311
32	772432	6618838	22420,44	22403,91	0,09	-0,09	308
33	772447	6618793	22422,16	22405,28	0,05	-0,01	305
34	772459	6618750	22424,14	22406,86	0,04	0,03	302
35	772474	6618704	22423,78	22405,5	0,05	-0,01	301
36	772485	6618662	22421,13	22412,18	0,14	-0,14	298

37	772489	6618611	22427,72	22414,3	0,12	0,03	295
38	772485	6618569	22430,45	22413,38	0,05	0,05	291
39	772476	6618524	22431,11	22411,86	0,02	0,02	290
40	772465	6618481	22431,69	22412,98	0,00	0,01	288
41	772465	6618434	22430,93	22413,95	0,07	-0,07	285
42	772479	6618389	22433,82	22417,7	0,06	-0,01	282
43	772500	6618351	22435,91	22415,76	0,06	-0,01	282
44	772524	6618316	22437,47	22419,74	0,07	0,00	282
45	772555	6618274	22442,22	22412,52	0,06	0,12	279
46	772576	6618241	22434,39	22422,23	0,25	-0,36	276
47	772605	6618202	22451,88	22417,84	0,36	0,35	275
48	772635	6618147	22452,29	22419,95	0,45	-0,27	277
49	772654	6618119	22473,6	22404,75	1,00	0,99	278
50	772680	6618078	22443,96	22377,87	0,59	-0,09	280
51	772699	6618048	22427,12	22402,24	0,48	-0,56	281
52	772719	6617994	22428,78	22422,45	0,46	-0,38	281
53	772714	6617947	22448,16	22431,5	0,29	0,21	280
54	772693	6617903	22450,05	22415,17	0,05	-0,01	280
55	772673	6617862	22452,9	22429,19	0,16	-0,07	280
56	772651	6617820	22458,81	22422,95	0,33	-0,31	278
57	772630	6617783	22483,71	22449,37	1,48	-0,21	276
58	772610	6617744	22555,24	22357,77	3,12	3,14	277
59	772590	6617707	22465,07	22294,55	1,76	-0,10	273
60	772569	6617668	22393,89	22368,7	1,72	-1,62	272
61	772545	6617628	22410,64	22412,89	0,45	-0,35	274
62	772522	6617585	22421,7	22412,77	0,12	-0,06	273
63	772503	6617542	22419,34	22433,81	0,68	-0,57	271
64	772484	6617502	22444,94	22438,57	0,44	0,14	272
65	772466	6617461	22461,1	22429,6	0,36	0,22	272
66	772450	6617420	22469,19	22403,71	0,63	0,56	272
67	772430	6617376	22456,25	22421,84	1,04	-0,63	270
68	772414	6617336	22503,38	22379,42	2,22	2,12	267
69	772395	6617295	22422,85	22356,06	1,39	-1,40	266
70	772375	6617258	22431,94	22428,52	0,39	-0,29	267
71	772351	6617215	22450,55	22375,84	0,83	0,71	264
72	772332	6617181	22417,19	22407,97	0,93	-0,81	263
73	772309	6617139	22425,29	22414,79	0,26	-0,10	264
74	772287	6617100	22435,79	22445,36	0,59	-0,40	264
75	772263	6617057	22470,6	22383,61	1,86	1,70	261

76	772240	6617017	22394,37	22406,82	1,76	-1,84	262
77	772216	6616980	22429,28	22452,01	0,47	0,21	262
78	772195	6616941	22441,43	22426,35	0,21	0,13	261
79	772182	6616902	22441,79	22431,1	0,10	0,08	261
80	772178	6616854	22440,38	22424,22	0,04	-0,03	263
81	772182	6616810	22438,48	22431,5	0,05	-0,06	263
82	772187	6616763	22438,69	22431,72	0,08	-0,07	262
83	772192	6616715	22441,1	22437,43	0,04	0,00	264
84	772198	6616670	22442,41	22436,39	0,07	-0,07	266
85	772202	6616625	22445,55	22440,63	0,05	0,00	265
86	772208	6616580	22447,23	22437,82	0,04	-0,01	267
87	772213	6616542	22448,5	22442,12	0,05	-0,02	268
88	772218	6616495	22451,52	22439,37	0,06	0,02	268
89	772225	6616447	22454,38	22444,26	0,13	-0,04	269
90	772228	6616407	22462,79	22434,69	0,35	0,36	272
91	772235	6616357	22450,62	22432,12	0,23	-0,19	274
92	772240	6616311	22450,7	22442,28	0,10	-0,09	273
93	772245	6616262	22455,02	22442,17	0,06	0,02	274
94	772250	6616217	22456,32	22442,56	0,03	0,02	277
95	772255	6616174	22456,66	22443,32	0,04	-0,01	279
96	772258	6616134	22458,46	22444,86	0,04	-0,02	282
97	772263	6616086	22460,14	22444,84	0,04	0,00	282
98	772269	6616041	22461,91	22445,46	0,04	0,02	282
99	772275	6615993	22463,1	22445,23	0,03	0,02	283
100	772278	6615949	22464,46	22445,64	0,03	0,02	287
101	772277	6615903	22464,78	22445,94	0,03	-0,02	288
102	772268	6615859	22466,86	22447	0,04	0,03	289
103	772261	6615818	22467,31	22446,07	0,02	-0,01	288
104	772253	6615776	22468,39	22447,55	0,02	0,01	286
105	772245	6615730	22468,44	22446,87	0,02	-0,02	286
106	772238	6615686	22468,86	22450,74	0,06	-0,06	284
107	772235	6615641	22472,26	22450,01	0,06	0,02	286
108	772243	6615604	22472,05	22451,44	0,05	-0,04	288
109	772259	6615562	22475,68	22451,49	0,08	0,03	291
110	772275	6615525	22475,99	22450,87	0,04	-0,01	293
111	772294	6615478	22475,91	22453,44	0,06	-0,07	291
112	772310	6615437	22479,99	22455,65	0,08	0,01	289
113	772324	6615397	22482,17	22454,06	0,05	0,02	288
114	772338	6615355	22483,37	22456,48	0,07	-0,04	287

115	772355	6615313	22487,72	22456,86	0,11	0,01	287
116	772377	6615276	22491,95	22455,91	0,07	0,04	288
117	772400	6615239	22492,34	22454,41	0,05	-0,02	287
118	772421	6615199	22494,9	22458,5	0,10	-0,08	288
119	772437	6615157	22499,89	22457,83	0,12	0,02	286
120	772454	6615113	22506,04	22463,78	0,22	-0,17	285
121	772469	6615071	22516,71	22459,17	0,41	0,22	279
122	772481	6615036	22532,83	22462,69	0,46	-0,40	279
123	772498	6614987	22570,23	22449,23	2,35	1,48	276
124	772516	6614954	22617,57	22326,33	3,73	2,67	275
125	772544	6614909	22395,25	22374,78	2,66	-2,97	278
126	772571	6614872	22480,77	22491,39	1,86	-0,41	279
127	772596	6614835	22492,71	22481,86	2,05	-0,93	282
128	772622	6614795	22534,07	22552,64	3,95	-0,89	283
129	772646	6614760	22751,95	22408,04	4,58	5,25	283
130	772672	6614720	22600,08	22228,58	4,22	1,66	281
131	772696	6614681	22473,27	22324,98	2,61	-3,32	278
132	772719	6614644	22499,59	22408,62	2,56	-0,01	275
133	772741	6614607	22587,64	22331,37	1,97	2,10	274
134	772763	6614570	22467,2	22314,18	1,22	-0,89	272
135	772787	6614532	22469,79	22398,03	1,88	-1,84	271
136	772810	6614493	22522,91	22440,66	2,50	-0,16	270
137	772833	6614458	22656,52	22332,06	3,89	4,13	271
138	772857	6614419	22581,49	22146,1	4,94	2,76	274
139	772881	6614382	22370,34	22215,23	3,43	-3,11	275
140	772905	6614344	22360,35	22337,79	1,50	-1,33	279
141	772931	6614305	22352,6	22387,69	1,33	-1,45	279
142	772954	6614268	22395,68	22445,14	1,86	-0,65	279
143	772977	6614230	22472,13	22392,77	1,77	1,88	281
144	772997	6614196	22438,75	22349,73	0,47	0,12	281
145	773022	6614159	22422,55	22371,77	0,20	-0,11	280
146	773045	6614122	22428,29	22333,06	1,33	1,29	280

APÊNDICE B – Dados magnetométricos adquiridos na área de estudo - Perfil C-D

Ponto	X	Y	CMAT (nT)	RTP (nT)	AS (nT/m)	DV (nT)	Altitude (m)
1	772635	6618138	22432,12	22499,71	1,07	-0,47	277
2	772664	6618158	22471,14	22477,76	1,20	1,10	277
3	772712	6618185	22457,51	22452,33	0,18	-0,27	281
4	772748	6618206	22463,13	22474,68	0,75	-0,46	282
5	772785	6618229	22514,98	22455,41	1,52	1,26	282
6	772826	6618249	22525,31	22348,11	3,11	2,18	283
7	772870	6618252	22392,38	22372,98	1,80	-1,88	282
8	772917	6618254	22417,54	22446,07	0,84	-0,54	281
9	772959	6618252	22417,34	22441,34	0,21	0,04	281
10	772998	6618251	22424,63	22451,76	0,30	-0,31	277
11	773041	6618253	22428,89	22457,55	0,23	-0,10	270
12	773087	6618248	22444,31	22457,08	0,32	0,11	267
13	773130	6618245	22452,44	22442,8	0,37	0,38	266
14	773177	6618245	22443,9	22431,05	0,29	0,12	265
15	773222	6618234	22428,67	22438,92	0,32	-0,27	258
16	773261	6618213	22429,17	22449,1	0,12	-0,11	256
17	773293	6618187	22429,41	22453,58	0,19	-0,18	251
18	773324	6618163	22436,24	22458,9	0,17	0,01	250
19	773362	6618139	22441,89	22448,95	0,17	0,20	245
20	773395	6618124	22433,45	22451,67	0,26	-0,19	239
21	773439	6618108	22436,09	22457,15	0,11	-0,05	236
22	773482	6618104	22438,96	22461,19	0,11	-0,07	229
23	773525	6618103	22445,84	22454,72	0,22	0,22	224
24	773562	6618085	22440,03	22453,85	0,16	-0,07	221
25	773600	6618064	22436,6	22459,23	0,20	-0,21	220
26	773639	6618067	22441,86	22470,13	0,21	-0,13	220
27	773680	6618074	22452,67	22459,9	0,24	0,22	219
28	773722	6618098	22455,13	22466,13	0,29	-0,14	215
29	773757	6618123	22473,15	22439,98	0,93	0,92	213
30	773787	6618147	22448,39	22431,11	0,52	-0,20	214
31	773830	6618176	22434,52	22443,3	0,35	-0,06	209
32	773861	6618201	22421,38	22461,09	0,64	-0,63	207
33	773892	6618227	22434,55	22474,36	0,20	-0,04	205
34	773922	6618257	22441,26	22475,09	0,16	-0,02	203
35	773960	6618293	22438,97	22471,8	0,66	-0,30	200
36	773969	6618326	22426,73	22506	1,48	-1,02	199

37	773982	6618372	22493,19	22503,74	0,82	0,61	202
38	773998	6618409	22493,39	22481,14	0,96	0,22	205
39	774028	6618428	22534,68	22447,85	1,58	1,56	209
40	774066	6618447	22491,87	22410,99	0,37	-0,15	216
41	774109	6618469	22490,64	22429,71	0,25	0,23	217
42	774150	6618479	22479,25	22407	0,55	0,21	217
43	774193	6618482	22456,8	22425,96	0,39	-0,50	220
44	774231	6618484	22463,41	22432,57	0,33	-0,05	222
45	774272	6618483	22470,92	22428,18	0,40	0,35	223
46	774308	6618480	22458,02	22420,36	0,21	-0,20	230
47	774345	6618480	22458,48	22434,46	0,07	0,04	233
48	774382	6618490	22455,28	22424,22	0,10	-0,02	236
49	774419	6618500	22450,42	22439,12	0,20	-0,21	242
50	774461	6618505	22455,02	22436,52	0,11	-0,01	244
51	774501	6618493	22458,72	22440,36	0,07	0,07	243
52	774531	6618466	22457,53	22434,13	0,03	-0,01	238
53	774550	6618438	22463,73	22434,19	0,16	0,19	236
54	774569	6618404	22454,78	22429,54	0,18	-0,01	238
55	774587	6618367	22454,96	22429,52	0,11	0,09	243
56	774603	6618330	22448,84	22435,99	0,25	-0,37	247
57	774630	6618301	22452,55	22438,07	0,87	0,41	246
58	774662	6618278	22467,74	22411,33	1,39	0,55	246
59	774695	6618254	22399,16	22437,13	1,07	-1,42	249
60	774729	6618231	22452,49	22478,86	0,77	0,31	249
61	774761	6618229	22458,38	22430,99	0,95	0,57	248
62	774793	6618250	22443,26	22484,86	1,48	-1,28	247
63	774836	6618252	22508,08	22388,24	3,66	3,40	245
64	774868	6618232	22380,21	22417,36	3,80	-3,51	244
65	774891	6618198	22442,68	22498,57	1,47	0,64	241
66	774914	6618162	22455,41	22443,7	0,18	0,03	242
67	774929	6618118	22461,27	22464,07	0,28	0,28	245
68	774942	6618077	22460,79	22431,56	0,32	0,19	245
69	774950	6618035	22446,49	22455,08	0,46	-0,47	244
70	774957	6617991	22468,51	22450,95	0,43	0,38	244
71	774954	6617960	22476,4	22429,07	0,92	0,98	245
72	774958	6617915	22439,5	22425,75	1,14	-0,76	247

ANEXO A – Técnicas de processamento aplicadas aos dados geofísicos.

- i) Correção da variação magnética diurna do campo magnético terrestre dos dados foi efetuada aplicando a fórmula:

$$nT = M - B + D$$

Onde:

M = Dados do magnetômetro móvel;

B = Dados do magnetômetro base;

D = Datum magnético local.

O valor do datum magnético local, foi obtido através da calculadora de campo magnético, disponibilizada pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* em seu site <<https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/>> a partir das coordenadas e elevação da área. O valor do datum calculado para este trabalho foi de 22.378,7 nT.

- ii) A redução ao polo (RTP), foi processada seguindo a fórmula:

$$L(\theta) = \frac{1}{(\sin I_a + i \cos I \cdot \cos(D - \theta))^2}$$

Onde:

I = Inclinação magnética;

I_a = Inclinação para correção de amplitude;

D = Declinação magnética.

Junto ao processo ao realizado para a obtenção *Datum*, são calculados também os valores para a inclinação magnética, -38,56° e para a declinação magnética, -14,53°. O valor da inclinação para correção de amplitude por padrão é de 20 se “I” for maior que zero e -20 se “I” menor que zero, logo, a inclinação utilizada foi de -20.

- iii) Para gerar os dados de sinal analítico (AS), foi empregada a equação:

$$as = \sqrt{dz \cdot dz + dx \cdot dx}$$

Onde:

dz = Derivada vertical;

dx = Derivada Horizontal.

- iv) Os dados da derivada vertical (DV) foram obtidos através da equação:

$$L(\omega) = \omega^n$$

Onde:

n = Ordem da diferenciação.