

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**JULIANA GIMENES DE OLIVEIRA**

**A PORÇÃO NE DO GRANITO SANTO FERREIRA E SUA ARTICULAÇÃO COM O  
EMBASAMENTO A PARTIR DE DADOS AEROGEOFÍSICOS E GRAVIMÉTRICOS  
TERRESTRES**

**Caçapava do Sul  
2019**

**JULIANA GIMENES DE OLIVEIRA**

**A PORÇÃO NE DO GRANITO SANTO FERREIRA E SUA ARTICULAÇÃO COM O  
EMBASAMENTO A PARTIR DE DADOS AEROGEOFÍSICOS E GRAVIMÉTRICOS  
TERRESTRES**

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

Orientador: Prof. Dr. 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) .

Oliveira, Juliana Gimenes de

A PORÇÃO NE DO GRANITO SANTO FERREIRA E SUA ARTICULAÇÃO COM O EMBASAMENTO A PARTIR DE DADOS AEROGEOFÍSICOS E GRAVIMÉTRICOS TERRESTRES / Juliana Gimenes de Oliveira .

89 p.

O48p Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2019.  
"Orientação: Maximilian Fries".

1. Gravimetria. 2. Aerogeofísica. 3. Granito Santo Ferreira . 4. Geologia. I. Título.

**JULIANA GIMENES DE OLIVEIRA**

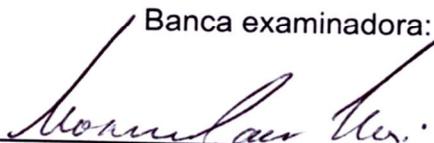
**A PORÇÃO NE DO GRANITO SANTO FERREIRA E SUA ARTICULAÇÃO COM O  
EMBASAMENTO A PARTIR DE DADOS AEROGEOFÍSICOS E GRAVIMÉTRICOS  
TERRESTRES**

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

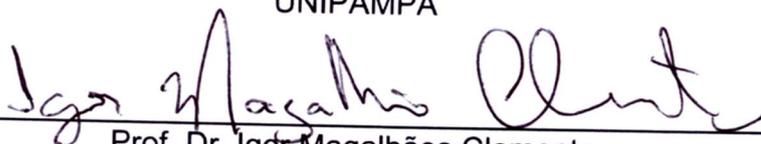
Orientador: Prof. Dr. Maximilian Fries

Trabalho defendido e aprovado em: 11 de dezembro de 2019

Banca examinadora:



Prof. Dr. Prof. Dr. Maximilian Fries  
Orientador  
UNIPAMPA



Prof. Dr. Igor Magalhães Clemente  
UNIPAMPA



Geólogo Ram Horizonte Seixas Betancourt  
Nexa Resources

*In Memoriam* a Soneli Nabarro Gimenes de Oliveira, que se faz presente todos os dias da minha vida.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, por jamais me abandonar e carregar-me em seus braços quando não consegui caminhar sozinha. Agradeço a minha mãe, Soneli, que me deu força no começo desta etapa da minha vida, me dando coragem e me incentivando. Mãe, você foi a pessoa que mais acreditou no meu potencial. Infelizmente você partiu sem poder finalizar esta etapa comigo, mas aqui se cumpre a primeira promessa que te fiz. Saiba que o seu exemplo de determinação, fé e coragem me guiará pelo resto da vida.

Agradeço a pessoa mais importante da minha vida, meu pai Julio, por tudo que fez e continua fazendo por mim. Sei que não foi fácil ficar sozinho, mas saiba que te amo muito e reconheço todo esforço que fez para que fosse possível a realização deste sonho.

Agradeço aqueles que na hora da dificuldade mostraram o poder da amizade verdadeira: Clélia Marques e Sandra Souza.

Agradeço a toda minha família, em especial, Nely Sônia, José Nabarro filho (*in memoriam*), Izabel Gimenes (*in memoriam*), Anselmo, João, Dilza e José Oliveira filho. Agradeço também ao Issacar por sempre me apoiar, nos momentos onde faltava forças com incentivo palavras de ânimo e companheirismo.

Agradeço ao meu orientador Maximilian Fries, por sempre acreditar no meu trabalho, pela paciência nas correções e dedicação. Obrigado pelo apoio e compreensão nos momentos difíceis, essenciais para a realização deste trabalho.

Aos amigos de infância que estão sempre comigo: Aline Laís e Lênin Balbino.

Agradeço a Ísis, uma irmã que ganhei nessa jornada, obrigada pelos conselhos nos momentos difíceis e pela amizade verdadeira.

Agradeço as minhas amigas Ana Luiza, Fernanda, Camila, Ana Paula Mathias, Tatiana e Tamires. Tenho muito orgulho de vocês e sinto muita saudade. Obrigada por todos momentos que passei com vocês.

Aos amigos de faculdade André Ramalho, Gabriel, Renê, Jean, Saulo, Hernanes, Ronisson, Fabiano, Ana Tavares, William, Guilherme Madrid, Ladislau, Bruno Gomes, Gilberto, Pedro, Paula, Renato, Bruna, Samara.

Agradeço a professora Cristiane Heredia Gomes, por todas as oportunidades e ensinamentos, e pela amizade. Obrigada por ter acreditado em meu potencial; sou

muito grata e levarei para vida todos os ensinamentos. Agradeço a todos professores que apoiaram durante a graduação, em especial, Ângela Hartmann, Samuel Silva e Felipe Caron.

“Penso que cumprir a vida seja simplesmente compreender a marcha e ir tocando em frente como um velho boiadeiro levando a boiada eu vou tocando os dias pela longa estrada, eu vou, estrada eu sou”.

Almir Sater

## RESUMO

No Escudo Sul-rio-grandense, ocorrem diversos corpos graníticos intrusivos referidos na bibliografia como relacionados ao estágio pós-colisional, inclusive o Granito Santo Ferreira, alvo deste estudo. O presente trabalho consiste em identificar heterogeneidades litológicas, delinear estruturas, limites laterais e em profundidade do Granito Santo Ferreira a partir da integração de dados aerogeofísicos e gravimétricos terrestres. A aquisição gravimétrica foi realizada ao longo de um perfil de três quilômetros, com um espaçamento de 50 metros entre as 56 estações gravimétricas adquiridas no total. Analisando os lineamentos regionais utilizando banco de dados SIG foi observado estruturas regionais em uma direção preferencial NW/SE e NE/SW, porém, mapas de anomalias magnéticas apresentam uma direção preferencial NE. Isto se deve a provável proximidade da Sutura de Caçapava do Sul que se localiza a leste da área de estudo. Foi possível concluir, a partir deste estudo, que o perfil realizado NW-SE possui dois marcantes domínios com distintos valores anômalos para os dados da anomalia Bouguer, Continuação para Cima (200 metros), Resíduos e 1ª e 2ª Derivada Vertical. Sugere-se, portanto, uma estrutura regional NE em sub superfície seccionando o corpo e causando, desta forma, a intrusão do material magmático em diferentes pulsos corroborados pela contrastante anomalia apresentada. Outros valores das anomalias gravimétricas apresentadas possuem provável correlação com as rochas metamórficas do Complexo Metamórfico Passo Feio.

Palavras Chave: Gravimetria, Aerogeofísica, Técnicas de processamento, Granito Santo Ferreira.

## **ABSTRACT**

In the Sul-rio-grandense Shield, there are several intrusive granite bodies referred to in the bibliography as related to the post-colisional stage, including Santo Ferreira Granite, the target of this study. The present work consists of identifying lithological heterogeneities, delinating structures, lateral and depth limits of the Santo Ferreira Granite from the integration of terrestrial aerogeophysical and gravimetric data. Gravimetric acquisition was performed over a three-kilometer profile, with a spacing of 50 meters between the 56 gravimetric stations acquired in total. Analyzing regional lineaments using GIS database, regional structures were observed in a preferred direction NW/SE and NE/SW, but magnetic anomaly maps have a preferred NE direction. This is due to the probable proximity of the Caçapava do Sul Suture that is located east of the study area. It was possible to conclude, from this study, that the profile performed NW-SE has two striking domains with different anomalous values for data from the anomaly Bouguer, Continuation Upwards (200 meters), Waste and 1st and 2nd Vertical Derivative. Therefore, a regional structure NE on sub surface sectioning the body is suggested and thus causing the intrusion of magmatic material into different pulses corroborated by the contrasting anomaly presented. Other values of the gravimetric anomalies presented are likely to correlate with the metamorphic rocks of the Passo Feio Metamorphic Complex.

**Keywords:** Gravimetry, Aerogeophysics, Processing Techniques, Santo Ferreira Granite.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.....	18
Figura 2. Campo vetorial definido pela atração (força ou aceleração) da massa da Terra.....	21
Figura 3. Representação esquemática da posição do geoide e do esferoide em relação a superfície terrestre. ....	22
Figura 4. (A) Correção de ar livre para uma observação numa altura $h$ acima do datum; (B) A correção Bouguer. A região sombreada corresponde a uma placa de rocha de espessura $h$ estendendo-se ao infinito ambas as direções horizontais; (C) A correção do terreno.....	29
Figura 5. Uma curva de deriva de um gravímetro construída a partir de repetidas leituras numa posição fixa. A correção de deriva $d$ deve ser subtraída de uma leitura obtida no tempo.....	30
Figura 6. Método de posicionamento DGPS.....	32
Figura 7. A) Mapa de localização Província Mantiqueira Sul. B) Mapa geológico do Escudo Sul-Brasileiro e Uruguaio. Zonas de cisalhamento dúcteis: 1 - Itajai-Perimbó, 2 - Major Gercino, 3 - Caçapava do Sul, 4 - Dorsal de Canguçu, 5 -Passo do Marinheiro, 6 – Ibaré, 7 – Sarandí del Yí, 8 – Sierra Ballena, 9 – Cerro Amaro, 10 – Arroio Grande.....	38
Figura 8. Complexo Granítico Caçapava do Sul e litologias adjacentes. ....	41
Figura 9. Mapa Geológico do Granito Santo Ferreira com perfil A'-B' de aquisição gravimétrica.....	42
Figura 10. Mapa geológico do Supergrupo Camaquã e áreas adjacentes.....	44
Figura 11. Fluxograma das atividades realizadas.....	45
Figura 12. Estações gravimétricas.....	47
Figura 13. a) Gravímetro Autograv da Scintrex realizando a primeira leitura no campus da Universidade Federal do Pampa (Estação Base). b) Última aquisição do levantamento realizada na Estação Base. c) Aquisição realizada em campo.....	48
Figura 14. Mapa de isocontorno sombreado dos valores de altitude de elevação de terreno a partir dos dados gravimétricos medidos.....	50
Figura 15. Composição de mapas em a) mapa geológico da área b) MDT Alos Palsar c) Lineamentos regionais aferidos a partir de MDT d) integração de a, b e c .....	51
Figura 16. Estereogramas com as principais estruturas. A) Foliações; B) Fraturas.....	52
Figura 17. Integração de dados gamaespectrométricos .....	53
Figura 18. Composição ternária canais K, eU, eTh: Em a) mapa na escala 1.40.000 evidenciando limites do Granito Santo Ferreira. Em b) mapa na escala 1.25.000 evidenciando a área em detalhe. ....	54
Figura 19. Composição de mapas magnéticos visualização do campo anômalo magnético total.....	55

Figura 20. Composição de mapas magnéticos com a técnica de realce amplitude do sinal analítico.....	56
Figura 21. Composição mapas magnéticos com a técnica de realce primeira derivada vertical.....	57
Figura 22. Perfil gravimétrico A-B.....	60
Figura 23. Mapa dos valores de Anomalia Bouguer.....	61
Figura 24. Mapa da continuação para cima (200 metros) dos valores de anomalia bouguer.....	62
Figura 25. Mapa dos valores da primeira derivada da anomalia bouguer na vertical.....	63
Figura 26. Mapa dos valores da segunda derivada da anomalia bouguer na vertical.....	64
Figura 27. Mapa dos valores de resíduo da anomalia bouguer.....	65
Figura 28. Perfil lito-geofísico A -B apresentando a integração das litologias, estruturas principais e valores da anomalia Bouguer.....	67
Figura 29. Perfil geofísico e geológico, valores de continuação para cima (200 metros) a anomalia bouguer.....	68
Figura 30. Perfil geofísico e geológico, valores da primeira derivada da anomalia bouguer.....	69
Figura 31. Perfil geofísico e geológico, valores da segunda da anomalia bouguer....	70
Figura 32. Perfil geofísico e geológico, valores do resíduo da anomalia bouguer.....	71

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Densidade dos minerais não metálicos.....	24
Tabela 2. Densidade de minerais metálicos óxidos, carbonatos, sulfetos e arsenídeos. .....	25
Tabela 3. Densidade de rochas ígneas e metamórficas e sedimentares.....	26
Tabela 4. Principais minerais radioativos, segundo Telford (1990). ....	35

## Sumário

1. INTRODUÇÃO .....	16
2. OBJETIVOS .....	16
2.1 Geral .....	16
2.2 Específicos .....	17
3. JUSTIFICATIVA .....	17
4. ÁREA DE ESTUDO.....	18
5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	19
5.1 Gravimetria – Fundamentos Teóricos.....	19
5.1.1 Lei da gravitação universal.....	20
5.1.2 Aceleração da gravidade.....	20
5.1.3 Potencial gravitacional .....	21
5.1.4 Contribuição dos materiais para o valor da gravidade .....	23
5.1.5 Densidade de rochas e minerais .....	23
5.2 Gravimetria – Redução dos valores da gravidade .....	27
5.2.1 Correção de Latitude.....	27
5.2.2 Correção de elevação (ar-livre).....	28
5.2.3 Correção Bouguer .....	28
5.2.4 Correção Topográfica.....	28
5.2.5 Correção de maré .....	29
5.2.6 Correção da variação drift instrumental.....	29
5.3 Planialtimetria – georreferenciamento das estações gravimétricas medidas...30	
5.3.1 Método de Posicionamento GPS diferencial (DGPS).....	31
5.4 Aerogeofísica.....	32
5.4.1 Magnetometria .....	32
5.4.2 Gamaespectrometria.....	33
5.5 Técnicas de realce das anomalias observadas .....	36
5.5.1 Derivada Vertical.....	36
5.5.2 Amplitude do Sinal Analítico (ASA) .....	36
5.5.3 Continuação para cima .....	36
6. CONTEXTO GEOLÓGICO DA ÁREA.....	37
6.1 Complexo Metamórfico Passo Feio .....	38
6.2 Granitos Ocidentais do Escudo-Sul-Rio-Grandense (ERSG) .....	39
6.2.1 Complexo Granítico Caçapava do Sul .....	40
6.2.2 Granito Santo Ferreira.....	41

6.3 A Bacia do Camaquã .....	43
7. MATERIAIS E MÉTODOS.....	44
7.1 Revisão Bibliográfica .....	46
7.2 Integração em ambiente SIG .....	46
7.3 Levantamento geológico e estrutural.....	46
7.4 Aquisição gravimétrica.....	46
7.5 Georreferenciamento – aquisição de dados planialtimétricos.....	49
7.6 Redução dos dados gravimétricos.....	49
7.7 Mapas geofísicos.....	49
8. RESULTADOS .....	50
8.1 Litologia, estruturas e relevo.....	50
8.2 Aerogamaespectrometria.....	52
8.3 Aeromagnetometria .....	54
8.4 Gravimetria .....	57
8.4.1 Análise das anomalias gravimétricas observadas.....	58
8.4.2 Mapas Gravimétricos .....	60
9. INTEGRAÇÃO DOS DADOS, ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO .....	65
10. DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	72
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	75
APÊNDICE 1- MAPA DE PONTOS GEOLÓGICOS .....	80
APÊNDICE 2- MAPA DE FRATURAS .....	81
APÊNDICE 3- MAPA DE FOLIAÇÕES .....	82
APÊNDICE 4 – PONTOS GEOLÓGICOS.....	83

## 1. INTRODUÇÃO

A área de estudo está inserida no Escudo-Sul-Rio-Grandense (ESRG), que corresponde ao sistema orogênico Mantiqueira no Rio Grande do Sul, representado pelo cinturão Tijucas que é constituído de rochas arqueanas e neoproterozoicas (Hasui, 2013). No Escudo sul rio grandense ocorrem diversos corpos intrusivos como por exemplo o granito Lavras do Sul a suíte granítica Caçapava do Sul e o granito Santo Ferreira que é a área alvo desse estudo.

As rochas graníticas da região de Caçapava do Sul constituem um corpo de aproximadamente 250 km<sup>2</sup> de extensão aflorante, intrusivo em metamorfitos de baixo grau (Nardi e Bitencourt 1989, p.1). A sudeste do granito Caçapava encontra-se um corpo granítico menor, denominado de granito Santo Ferreira por Ribeiro (1970). Devido as características desse corpo menor serem parecidas com o granito Caçapava do Sul, o granito Santo Ferreira é considerado a mesma unidade (Bitencourt 1983).

Os plútons graníticos individuais afloram em áreas de diversos tamanhos, desde menos de 10 km<sup>2</sup> até mais de 1000 km<sup>2</sup>. A maior parte do conhecimento sobre a forma e o volume de plútons graníticos se fundamenta em investigações geofísicas (Gill, 2014). Os levantamentos geofísicos, proporcionam um meio relativamente rápido e barato de se obter informações geológicas distribuídas em subsuperfície (Kearey *et al.* 2002).

A geofísica (por ex. gravimetria) e os estudos de alteração são essenciais para detectar corpos intrusivos em profundidade, os quais podem ter potencial para depósitos do estilo Cu-Au-Pórfiro (Remus 1999, p.38).

Neste contexto, foi realizado um estudo que delineou estruturas e limites laterais em profundidade do Granito Santo Ferreira a partir da integração de dados aerogeofísicos e gravimétricos terrestres.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Geral

O objetivo geral desse estudo consiste em identificar heterogeneidades litológicas, delinear estruturas, limites laterais e em profundidade do Granito Santo Ferreira a partir da integração de dados aerogeofísicos e gravimétricos terrestres.

## 2.2 Específicos

- Realizar uma aquisição gravimétrica em escala de detalhe a fim de realçar estruturas e contrastes geológicos ao longo de um perfil;
- Identificar as principais estruturas e direções preferenciais (falhas/juntas) em escala de detalhe 1:500 por meio de mapeamento geológico ao longo de um perfil;
- Integrar os resultados locais a dados aerogeofísicos a fim de detectar principais descontinuidades associadas a estruturas em caráter regional;
- Detectar e propor, partir de técnicas de análise semi-qualitativa e semi-quantitativa os limites, variações litológicas e profundidades estimadas do corpo intrusivo (granito).

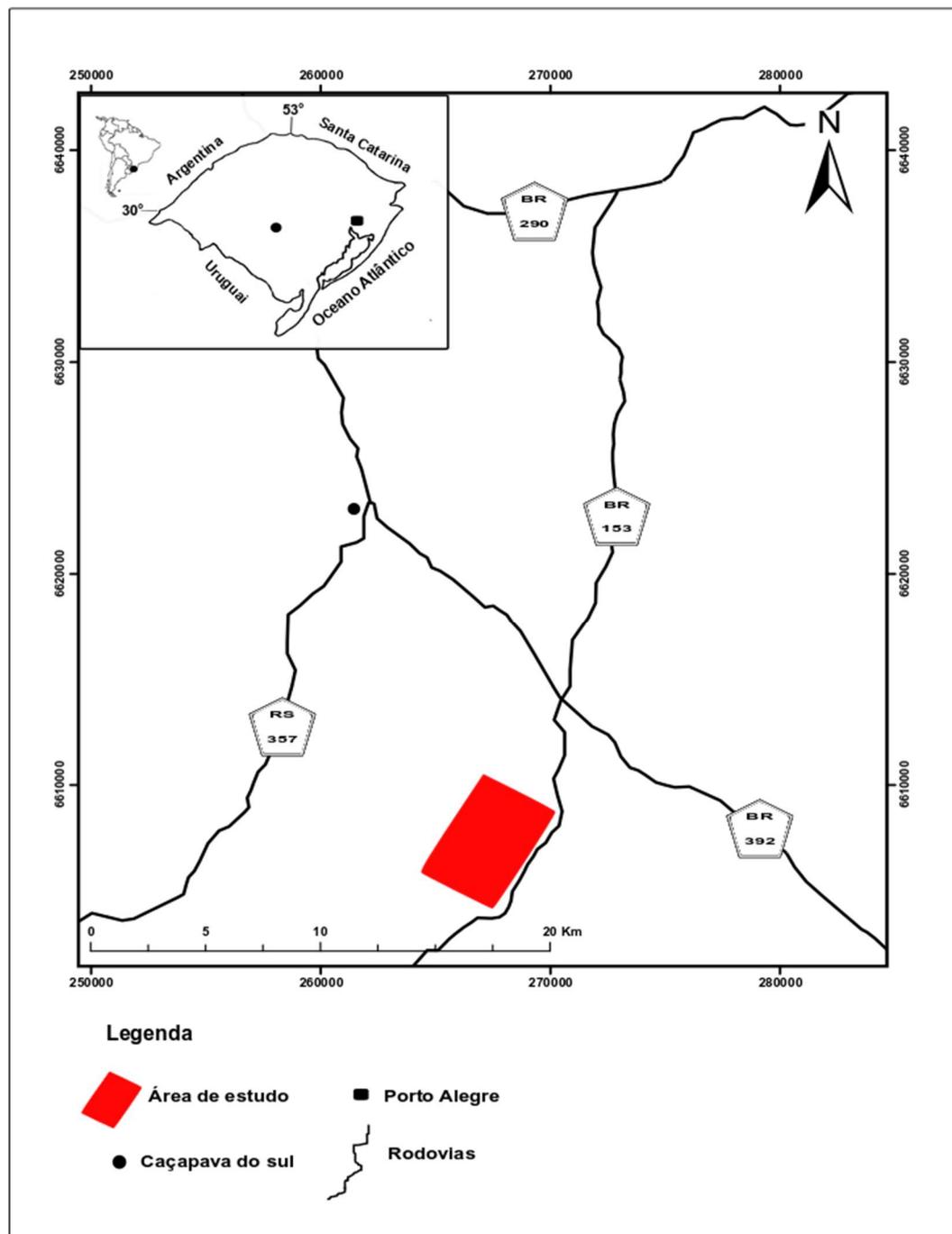
## 3. JUSTIFICATIVA

Considerando estudos realizados na área (Ribeiro 1970; Bitencourt 1983 b; Nardi e Bitencourt 1989; Machado 2017) ainda há muitas questões a serem discutidas sobre o granito Santo Ferreira. Uma delas é a continuidade de estruturas em subsuperfície, geometria e limites do corpo. Esses elementos são essenciais no entendimento das ocorrências minerais de Fe (hematita) descritas na área e a articulação destas com a rocha encaixante (granito). Apesar da proposta deste estudo não ter como objetivo principal as mineralizações, uma gravimetria terrestre em escala de detalhe oferecerá um entendimento tendo a geofísica como método de investigação. Portanto, o estudo é justificado além de proporcionar complementos a os estudos existentes e proposições futuras de investigação.

#### 4. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada a sudeste do município de Caçapava do Sul – RS, dista aproximadamente 20 km da cidade. Os principais acessos são pela BR-153 (Caçapava a Bagé) e BR-392, ambas ligadas a norte com a BR-290, que possibilita o acesso a capital do estado Porto Alegre (Figura 1).

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Autora.

## 5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Considerando a proposta deste estudo foi necessária uma extensa revisão do método gravimétrico, processamentos, dados geológicos e estruturais. A área de estudo, no Granito Santo Ferreira, possui poucos estudos no âmbito geofísico, sendo mais escassos ainda trabalhos voltados em escala de detalhe. Os mais comuns são levantamentos de escala regional utilizado como base inicial dos estudos.

Segundo Lesquer *et al.* (1981), Haralyi & Hasui, (1982), Molina & Ussami (1999), os métodos geofísicos foram empregados na modelagem crustal a partir da década de 1980 com trabalhos voltados a levantamento gravimétricos que sucedem até os anos 1990. Os trabalhos citados anteriormente são voltados para obtenção de modelos geológicos/geofísicos em escala ampla com foco na estruturação regional de terrenos.

A integração de dados magnéticos e gravimétricos de satélite e avaliações geotermiais feitas por Alexandrino & Hamza (2008), Oliveira et al (2012), Marangoni & Mantovani, (2013), Guimarães & Hamza, (2013), contribuíram para o entendimento de questões como o fluxo geotérmico e a distribuição de corpos alcalinos no entorno da Bacia Sedimentar do Paraná.

Estudos realizados por Fries *et al.* (2017) demonstram a efetividade da gravimetria quando relacionados a estruturas geológicas e padrões geomorfológicos. A articulação do alto estrutural (Domo Pitanga) inserido na Bacia Sedimentar do Paraná e inter-relação das estruturas presentes na base da crosta continental (elevação do moho).

Barroso (2018) em estudo realizado na Bacia Sedimentar o Camaquã mostra a eficiência de levantamento gravimétrico de detalhe no contexto geológicos de intrusões basálticas/andesíticas em bacia sedimentar, detectando fontes rasas e profundas além da delimitação de estruturas.

### 5.1 Gravimetria – Fundamentos Teóricos

Segundo Luiz & Silva (1995) o estudo da subsuperfície terrestre com o uso do método gravimétrico baseia-se nas diferentes distribuições de densidades abaixo da superfície, o que provocam distorções no campo gravitacional normal que envolve a Terra.

Ainda de acordo com Luiz & Silva (1995), o método gravimétrico é utilizado na prospecção geológica obtendo a atração que o material da subsuperfície exerce sobre uma massa de prova localizada no instrumento de medidas. A atração é registrada em termos da aceleração com que a massa de prova é atraída. As distorções de valores normais são chamadas de anomalias e são então interpretadas como o resultado de variações laterais na densidade dos materiais da subsuperfície, provocadas por estruturas geológicas ou depósitos de minérios.

### 5.1.1 Lei da gravitação universal

A lei da gravitação foi proposta por Newton. No universo, as partículas e materiais atraem-se com uma força de intensidade diretamente proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que separa seus centros de massa, segundo Luiz & Silva (1995), como demonstrado na equação 1.

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} r_1 \quad (1)$$

Onde:

F= Força

G=  $6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{Kg}^2$  (Constante gravitacional universal)

r1= Vetor unitário da distância entre m1 e m2.

### 5.1.2 Aceleração da gravidade

Sendo G a constante gravitacional universal, a aceleração com que m2 é atraída por m1 é calculada empregando-se a segunda lei do movimento proposta por Newton, conforme equação 2.

$$g = \frac{M}{r^2} \quad (2)$$

Segundo Luiz & Silva (1995), quando as massas são distribuídas continuamente sobre volumes de grandes dimensões, deve-se dividi-las em pequenos

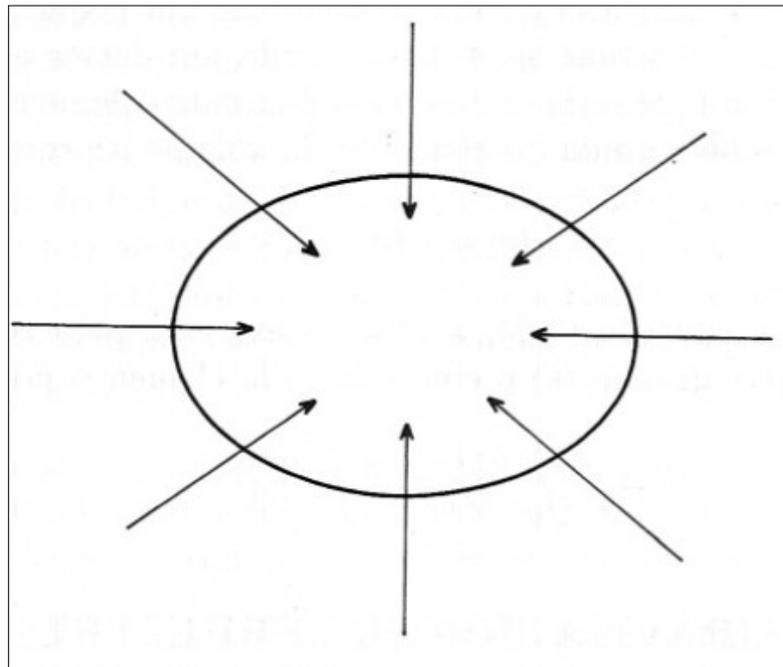
elementos de dimensões infinitesimais e somar os efeitos de cada um desses elementos, conforme equação 3:

$$g = G \int \frac{dm}{r^2} \quad (3)$$

### 5.1.3 Potencial gravitacional

A Terra não é perfeitamente esférica, sendo assim, a força e aceleração exercidas sobre o corpo variam ao longo da superfície. Tanto a força de atração como a aceleração são quantidades vetoriais que definem campos, segundo Luiz & Silva (1995).

Figura 2. Campo vetorial definido pela atração (força ou aceleração) da massa da Terra.



Fonte: Luiz & Silva (1995).

Na representação da Terra por uma esfera, o potencial gravitacional é uma constante para um determinado valor de  $r_1$  e a equação (4) define uma superfície equipotencial (superfície em que todos os pontos possuem o mesmo valor de potencial) que envolve a terra, segundo Luiz & Silva (1995).

$$U = -G \int_V \frac{dM}{r} + \frac{\omega^2}{2} r^2 \cos^2 \phi \quad (4)$$

Sendo:

$G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{Kg}^2$  (Constante Gravitacional Universal)

$M$  = Massa do corpo

$\omega$  = Velocidade angular de rotação

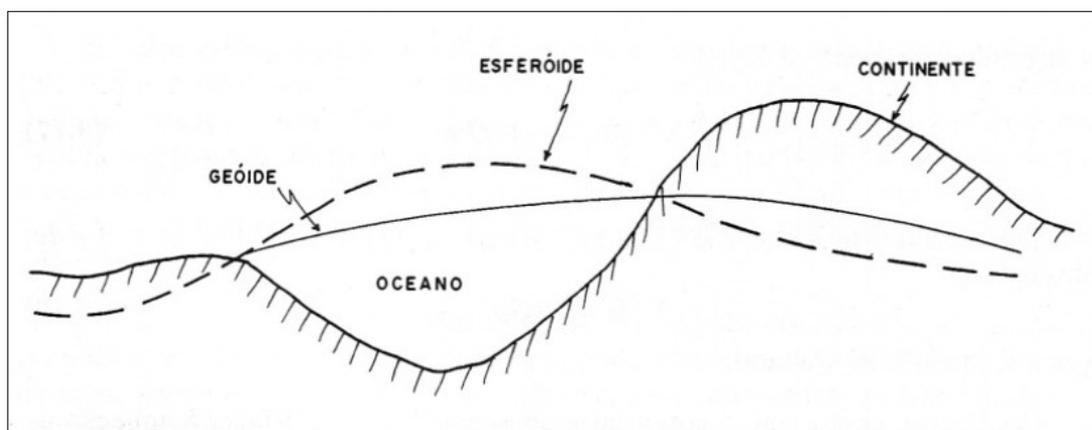
$\phi$  = Latitude

$r_1$  e  $r$  = Distâncias entre os corpos

Conforme Luiz & Silva (1995), quando  $r_1$  é tomado como a distância entre o centro da Terra e o nível médio dos mares, a superfície equipotencial definida acompanha as grandes feições fisiográficas sem coincidir com elas, afastando-se do centro da Terra nas elevações e aproximando-se nas depressões. Essa superfície equipotencial é denominada geóide.

Ainda segundo Luiz & Silva (1995), o valor exato do potencial gravitacional para o geóide não pode ser calculado, pois se desconhece a distribuição exata de massa da Terra. As medidas geodésicas demonstram, entretanto, que a forma da Terra é melhor representada por um elipsoide. Esta forma pode ser aproximada tomando-se os três primeiros termos da série, obtendo-se assim a superfície equipotencial denominado esferoide.

Figura 3. Representação esquemática da posição do geóide e do esferoide em relação a superfície terrestre.



Fonte: Luiz & Silva (1995).

#### **5.1.4 Contribuição dos materiais para o valor da gravidade**

Todos os materiais na Terra influenciam o valor da gravidade. A maior contribuição vem do manto e do núcleo e a menor parte é dada pelos materiais da crosta (0,3 % do valor de g) segundo Luiz & Silva (1995).

O objeto da prospecção gravimétrica são as estruturas e corpos geológicos que produzem variações nos valores de g da ordem de 0,001%. Na prospecção de petróleo, as anomalias estão em volta de 10 mGal. Entretanto, em corpos mineralizados, as anomalias raramente são superiores a 5 mGal segundo Luiz & Silva (1995).

#### **5.1.5 Densidade de rochas e minerais**

Segundo Luiz & Silva (1995), as anomalias de gravidade detectadas nos levantamentos para prospecção estão relacionadas às variações laterais das densidades dentro do ambiente geológico. O conhecimento dos valores de densidade isoladamente, não permite a identificação das rochas e minerais. Cada tipo de rocha é caracterizado por faixas de valores densidades que podem se sobrepor (Luiz & Silva, 1995). As tabelas 1, 2 e 3 podem demonstrar isso.

Tabela 1. Densidade dos minerais não metálicos.

	<b>Minerais</b>	<b>Variação da densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidade média (g/cm<sup>3</sup>)</b>
	<b>Minerais não metálicos</b>	Petróleo	0.60 - 0.90
Gelo		0.88 - 0.92	*****
Água do mar		1.01 - 1.05	*****
Grafite		1.90 - 2.30	2.15
Caulinita		2.20 - 2.63	2.53
Ortoclásio		2.50 - 2.60	*****
Quartzo		2.50 - 2.70	2.65
Calcita		2.60 - 2.70	*****
Anidrita		2.29 - 3.0	2.93
Biotita		2.70 - 3.20	2.92
Magnesita		2.90 - 3.12	3.03
Fluorita		3.01 - 3.25	3.14
Barita	4.30 - 4.70	4.47	

Fonte: Modificado Telford (1990).

Tabela 2. Densidade de minerais metálicos óxidos, carbonatos, sulfetos e arsenídeos.

	<b>Minerais</b>	<b>Variação da densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidade média (g/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>Minerais metálicos óxidos e carbonatos</b>	Bauxita	2.30 - 2.55	2.45
	Limonita	3.50 - 4.00	3.78
	Siderita	3.70 - 3.90	3.83
	Rutilo	4.18 - 4.30	4.25
	Manganita	4.20 - 4.40	4.32
	Cromita	4.30 - 4.60	4.36
	Ilmenita	4.30 - 5.00	4.67
	Pirolosita	4.70 - 5.00	4.82
	Magnetita	4.90 - 5.20	5.12
	Franklinita	5.00 - 5.22	5.12
	Hematita	4.90 - 5.30	5.18
	Cuprita	5.70 - 6.15	5.92
	Cassiterita	6.80 - 7.10	6.92
	Wolframita	7.10 - 7.50	7.32
<b>Sulfetos, Arsenídeos</b>	Esfarelita	3.50 - 4.00	3.75
	Malaquita	3.90 - 4.03	4.00
	Calcopirita	4.10 - 4.30	4.20
	Estanito	4.30 - 4.52	4.40
	Estibina	4.50 - 4.60	4.60
	Pirrotita	4.50 - 4.80	4.65
	Molibidenita	4.40 - 4.80	4.70
	Marcasita	4.70 - 4.90	4.85
	Pirita	4.90 - 5.20	5.00
	Bornita	4.90 - 5.40	5.10
	Calcocita	5.50 - 5.80	5.65
	Cobaltita	5.80 - 6.30	6.10
	Arsenopirita	5.90 - 6.20	6.10
	Bismutinita	6.50 - 6.70	6.57
	Galena	7.40 - 7.60	7.50
	Cinábrio	8.00 - 8.20	8.10

Fonte: Modificado Telford (1990).

Tabela 3. Densidade de rochas ígneas e metamórficas e sedimentares.

	<b>Rochas</b>	<b>Variação da densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidade média (g/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>Ígneas</b>	Riolito	2.35 - 2.70	2.52
	Andesito	2.40 - 2.80	2.61
	Granito	2.50 - 2.81	2.64
	Granodiorito	2.67 - 2.79	2.73
	Quartzo diorito	2.62 - 2.96	2.79
	Diorito	2.72 - 2.99	2.85
	Lavas	2.80 - 3.00	2.90
	Diabásio	2.50 - 3.20	2.91
	Basalto	2.70 - 3.30	2.99
	Gabro	2.70 - 3.50	3.03
	Peridotito	2.78 - 3.37	3.15
	Acidas	2.30 - 3.11	2.61
	Básicas	2.09 - 3.17	2.79
<b>Metamórficas</b>	Quartzito	2.50 - 2.70	2.60
	Xistos	2.39 - 2.90	2.64
	Graywacke	2.60 - 2.70	2.65
	Mármore	2.60 - 2.90	2.75
	Ardósia	2.70 - 2.90	2.79
	Serpentinito	2.40 - 3.10	2.78
	Gnaisse	2.59 - 3.00	2.80
	Anfibolito	2.90 - 3.04	2.96
	Eclogito	3.20 - 3.54	3.37
<b>Sedimentares</b>	Sedimentos molhados sobrecarga	*****	1.92
	Solo	1.20 - 2.40	1.92
	Argila	1.63 - 2.60	2.21
	Cascalho	1.70 - 2.40	2.00
	Areia	1.70 - 2.30	2.00
	Arenito	1.61 - 2.76	2.35
	Xisto	1.77 - 3.20	2.40
	Calcário	1.93 - 2.90	2.55
	Dolomita	2.28 - 2.90	2.70
	Rochas sedimentares	*****	2.50

Fonte: Modificado Telford (1990).

## **5.2 Gravimetria – Redução dos valores da gravidade**

Sabe-se que o valor da gravidade terrestre varia com a latitude, com a distância até o centro da Terra (relacionada as elevações) e com a quantidade de massa que existe até o centro da Terra (relacionada a topografia: maior quantidade de massa nas elevações) segundo Luiz & Silva (1995). A gravidade varia ainda devido ao efeito de atração produzido pelo Sol e pela Lua (marés) e uma variação adicional é introduzida pelos instrumentos de medida, a qual é inerente ao seu funcionamento (variação ou drift instrumental). Para determinar as anomalias de gravidade é necessário introduzirem-se correções que eliminam os efeitos descritos (Luiz & Silva 1995).

Após as correções, é possível observar que os valores da gravidade apresentam algumas variações que estão relacionadas à distribuição irregular da densidade na superfície, devido à presença de estruturas geológicas de várias amplitudes, como concentrações de minerais e minérios e intrusões (Luiz & Silva 1995). Existem diferenças no procedimento de redução dos dados gravimétricos que depende do objetivo do levantamento. Na prospecção de minérios, por exemplo, as anomalias são definidas comparando-se cada medida com a medida obtida em uma estação comumente definida de estação base, que é escolhida geralmente em local onde supõe-se não haver anomalias de densidade (Luiz & Silva, 1995).

### **5.2.1 Correção de Latitude**

Sabe-se que o valor da gravidade natural na Terra aumenta à medida que nos afastamos do equador em direção aos polos, ao longo dos meridianos. Conseqüentemente, valores obtidos em latitudes diferentes não podem ser comparados, sem que antes sejam corrigidos (Luiz & Silva, 1995).

A correção de latitude é adicionada quando as estações estão mais próximas dos polos do que a latitude de referência. A correção de latitude deve ser subtraída do valor da gravidade normal calculado para a latitude de referência, sempre que as estações estiverem mais próximas do equador do que a latitude de referência o que implica transportar a latitude de referência para a latitude de observação conforme Luiz & Silva (1995).

### **5.2.2 Correção de elevação (ar-livre)**

Para compensar os efeitos da diferença de altitude das estações em relação ao geóide ou a um nível de referência arbitrário, é utilizada a correção de elevação, que é também denominada de correção ar-livre ou redução de Faye. Esta correção desconsidera a massa de material que porventura existir entre as estações e o geóide segundo Luiz & Silva (1995).

### **5.2.3 Correção Bouguer**

Conforme foi explicado no item anterior, é necessário eliminar o efeito da massa localizada entre as estações tomadas em um terreno acidentado e o nível do geóide. Isso é realizado através da correção Bouguer, que consiste em adicionar, ao valor normal da gravidade, a atração de um cilindro de raio infinito e altura igual à utilizada na correção ar-livre. O cilindro deve ter densidade igual à do material que repousa entre o geóide e a estação conforme Luiz & Silva (1995).

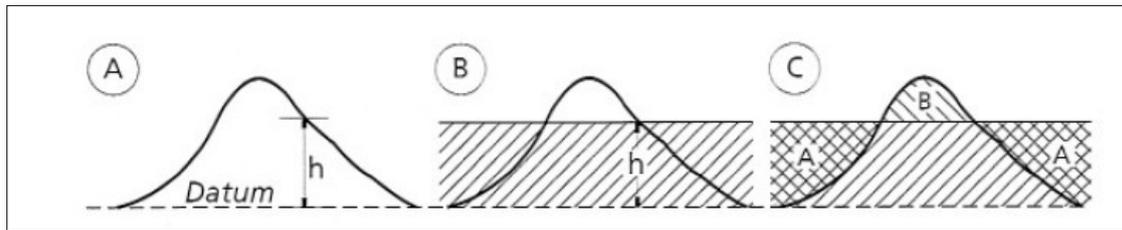
### **5.2.4 Correção Topográfica**

Correção topográfica ou correção de terreno deve ser feita para tratar os desníveis topográficos nas proximidades da estação gravimétrica. Essa correção é sempre positiva (Figura 4; Kearey *et al.* 2002).

Segundo Luiz & Silva (1995), após as correções ar-livre e Bouguer, o nível de  $G_N$  foi elevado até o terreno e o vazio entre o geóide e o terreno preenchido com a massa de um cilindro de raio infinito.

Através da correção Bouguer, adiciona-se massa onde na realidade ela fisicamente não existe. Esse efeito de massa adicionada deve ser subtraído do valor da gravidade normal reduzida ou somado no valor medido no terreno (Luiz & Silva, 1995). Os efeitos de terreno são baixos em áreas de topografia suave, em áreas de topografia acidentada os efeitos do terreno são consideravelmente maiores, chegando a um máximo em vales profundos, na base ou no topo de despenhadeiros e nos cumes de montanhas (Kearey *et al.* 2002).

Figura 4. (A) Correção de ar livre para uma observação numa altura  $h$  acima do datum; (B) A correção Bouguer. A região sombreada corresponde a uma placa de rocha de espessura  $h$  estendendo-se ao infinito ambas as direções horizontais; (C) A correção do terreno.



Fonte: (Kearey *et al.* 2002)

### 5.2.5 Correção de maré

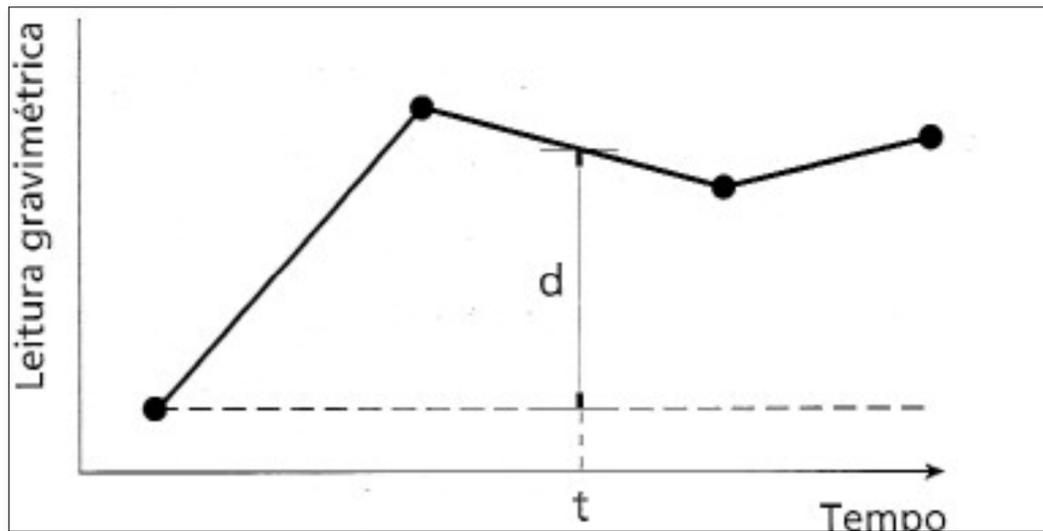
A gravidade medida num local fixo varia com o tempo, por causa da variação periódica dos efeitos gravitacionais do sol e da lua associados a seus movimentos orbitais. Essas variações são conhecidas como variações de maré, elas tem uma variação de 3  $\mu\text{g}$  e um período mínimo de 12 horas (Kearey *et al.* 2002). Em um levantamento de alta precisão devem ser feitas correções para essas variações.

### 5.2.6 Correção da variação drift instrumental

Ao se realizarem medidas gravimétricas em um ponto fixo durante certo período, é possível notar que persiste uma variação aproximadamente linear após a remoção do efeito da maré (Luiz & Silva, 1995). Essa variação ocorre basicamente por fadiga da mola que compõe a unidade de atração do equipamento. Variações não lineares podem ocorrer devido a choques mecânicos e mudanças de temperatura ocasionados por quedas durante o transporte do instrumento (Luiz & Silva, 1995).

A correção para a deriva do instrumento é baseada em leituras sucessivas numa estação de base ao longo do dia. A leitura do medidor é plotada contra o tempo (Figura 5) e assume-se à deriva como sendo linear entre leituras consecutivas da base (Kearey *et al.* 2002). A correção de deriva em um tempo  $t$  é  $d$ , que é subtraído do valor observado (Kearey *et al.* 2002).

Figura 5. Uma curva de deriva de um gravímetro construída a partir de repetidas leituras numa posição fixa. A correção de deriva  $d$  deve ser subtraída de uma leitura obtida no tempo  $t$ .



Fonte: (Kearey *et al.* 2002).

### 5.3 Planialtimetria – georreferenciamento das estações gravimétricas medidas

Para um levantamento gravimétrico de qualidade é necessário ser realizado um posicionamento horizontal e vertical (altimetria) das estações gravimétricas medidas com alta precisão. O uso de receptores GPS vem, na última década, otimizando este processo permitindo maior rapidez e menor custo.

Segundo Wooden (1985) *apud* Hoffman (1994, p. 11)

O sistema de posicionamento global (GPS) da NAVSTAR é um sistema de navegação que opera em quaisquer condições climáticas, baseado em técnicas espaciais e desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos EUA (DoD) para satisfazer os requisitos para que as forças militares determinem com precisão sua posição, velocidade e tempo em um sistema de referência comum, em qualquer lugar ou perto da terra em uma base contínua.

Os sinais transmitidos pelos satélites GPS são resultantes da composição de três tipos de sinais: portadoras ( $L_1$  ou  $L_2$ ), códigos (C/A e P) e mensagem de dados (Hofmann, 1994). O código e a mensagem de dados são sobrepostos à portadora, a qual tem como função executar o transporte destes desde o satélite até o receptor (Briones, 1999).

Uma frequência fundamental  $f_0$  de 10,23MHz é produzida pelos relógios existentes nos satélites e a partir desta frequência são geradas, respectivamente, as frequências das portadoras  $L_1$  (1.575,42 MHz) e  $L_2$  (1.227,60 MHz) (Hofmann 1994, Briones 1999). A implementação de duas portadoras no GPS deve-se a utilização

delas na eliminação do efeito da refração ionosférica, que é maior fonte de erro do sistema conforme Hofmann (1994).

Pode-se considerar dois tipos de observação para determinação de pseudo distâncias a se considerar: fase dos códigos (C/A e P), fase das portadoras ( $L_1$  e  $L_2$ ) ou diferença de fase das portadoras (Briones, 1999). Para medidas da fase do código, o elemento básico de medida é o intervalo de tempo despendido pelo sinal do código no seu trajeto desde o satélite até o receptor.

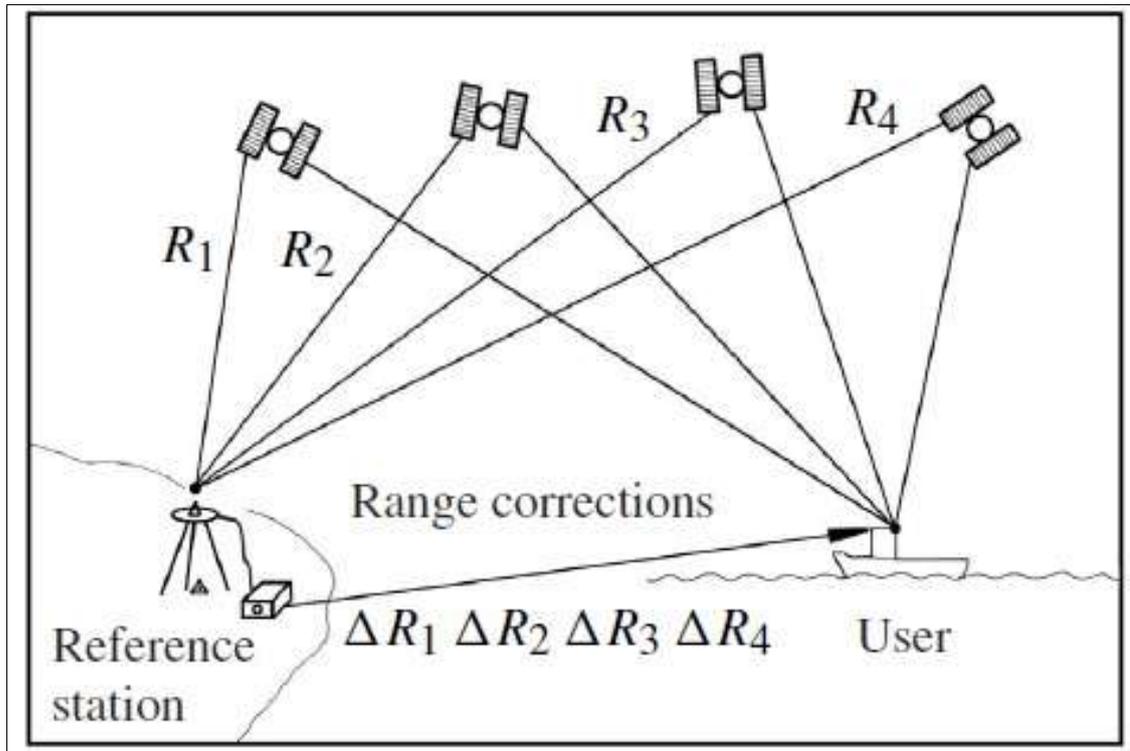
Para medidas da fase da portadora, o elemento básico é a diferença de fase entre o sinal transmitido e o recebido. Dentro da concepção inicial do GPS, as observações de fase de código constituem o tipo básico de observação para o cômputo das pseudo distâncias (Briones, 1999).

### **5.3.1 Método de Posicionamento GPS diferencial (DGPS)**

De acordo com Hofmann (1994) existem três métodos de posicionamento, a saber: absoluto, relativo e GPS diferencial (DGPS) sendo esta última adotada para este estudo. O método DGPS tem como princípio básico utilizar simultaneamente dois receptores, um instalado em uma estação fixa (Rover) de coordenadas conhecidas, designada por estação de referência, e outro em uma estação móvel (Rover) conforme apresentado na Figura 6 (Hofmann, 1994 e Briones 1999).

A partir da estação de referência são calculadas correções, denominadas correções diferenciais, as quais são utilizadas no processo de cálculo de sua posição (Briones, 1999).

Figura 6. Método de posicionamento DGPS.



Fonte: Extraído de Seeber, (2003).

A maior vantagem da utilização desta técnica é a utilização de estações base existentes (rede planialtimétrica IBGE) para o procedimento pós processamento ou, também, o posicionamento em tempo real que é chamado de RTDGPS (Real time DGPS) que economiza tempo e oferece uma qualidade posicional alta em comparação ao posicionamento absoluto. (Hofmann 1994, Briones 1999, Seeber 2003).

## 5.4 Aerogeofísica

Os levantamentos aerogeofísicos, tem sido muito usados para levantamentos regionais, pois geralmente são mais rápidos e baratos. Em uma única passagem da aeronave podem ser feitas medidas concomitantes de mais de um método geofísico (Luiz & Silva 1995).

### 5.4.1 Magnetometria

Um levantamento magnético tem como objetivo investigar a geologia com base nas anomalias do campo magnético da Terra resultantes das propriedades magnéticas das rochas em subsuperfície (Kearey *et al.* 2009). Segundo Marjoribanks

(2010), mapas magnéticos regionais são geralmente produzidos voando em baixo nível e em linhas paralelas regulares. O posicionamento de aeronaves é controlado por um sistema DGPS e os dados são registrados digitalmente e apresentados como mapa de contorno ou pixel. A velocidade de operação de levantamentos aerotransportados torna o método muito atraente na busca por tipos de depósitos minerais que contenham minerais magnéticos (Kearey *et al.* 2009). O instrumento usado para levantamentos magnéticos é chamado de magnetômetro e são instrumentos que detectam as variações no campo magnético terrestre que são causadas por rochas magneticamente suscetíveis (Marjoribanks 2010).

Uma vez que todas as rochas são magneticamente suscetíveis em algum grau, um mapa de variação magnética na superfície pode fornecer uma imagem de distribuição da litologia, que reflete de certa maneira a distribuição tridimensional das rochas (Marjoribanks 2010). Segundo Kearey *et al.* (2009), as rochas ígneas básicas são, em geral altamente magnéticas devido seu conteúdo considerável em magnetita. As rochas ígneas ácidas são menos magnéticas, pois com o aumento da acidez a quantidade de magnetita diminui.

Pirrotita pode ser uma fonte importante magnética em algumas unidades, como ardósias pretas carbonáceas e rochas metamórficas de alto grau. Rochas ultramáficas serpentinizadas são fortemente magnéticas devido a presença de magnetita fina (Marjoribanks 2010). A hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) é considerada um óxido de ferro comum, e é antiferromagnético e assim, não gera anomalias magnéticas, a menos que um antiferromagnético parasita se desenvolva (Kearey *et al.* 2009).

#### **5.4.2 Gamaespectrometria**

A gamaespectrometria tem como princípio a quantificação da emissão de radiação gama emitida pelos materiais devido ao decaimento de elementos radioativos (U, Th e K). Esse método geofísico permite identificar determinada rocha pela quantificação da emissão de radiação destes elementos em relação as rochas vizinhas que podem emitir maior ou menor quantidade de radiação destes elementos. Esse método é muito utilizado para rochas ígneas ácidas e rochas sedimentares ricas em clastos de rochas ácidas e argilominerais, pois apresentam maior conteúdo de U, Th e K (Tabela 4; Telford *et al.* 1990).

Os levantamentos aéreos de gamaespectrometria conseguem identificar a variação geoquímica dos elementos U, Th e K nos 30 cm superiores da superfície da terra. Pode ocorrer maior variação destes elementos se o intemperismo na região de estudo é intenso (Dickson & Scott, 1997). Segundo Marjoribanks 2010, o isótopo de potássio  $K^{40}$  é o elemento radioativo natural mais abundante da crosta terrestre e em grande parte vem do mineral ortoclásio. O elemento tório (Th) é encontrado principalmente no mineral Monazita que é um mineral acessório encontrado em granitos e pegmatitos. Ainda segundo Marjoribanks 2010, o urânio (U) raramente é abundante, mas em baixas concentrações pode caracterizar rochas, como granitos altamente fracionados ou sequências de xisto preto.

Tabela 4. Principais minerais radioativos, segundo Telford (1990).

<b>MINERAIS RADIOATIVOS</b>		
	<b>Mineral</b>	<b>Ocorrência</b>
<b>Potássio</b>	Feldspatos ortoclásio e Microclínio ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ )	Principais constituintes de rochas ígneas ácidas e pegmatitas
	Muscovita - ( $\text{H}_2\text{KAl}(\text{SiO}_4)_3$ )	Principais constituintes de rochas ígneas ácidas e pegmatitas
	Alunita ( $\text{K}_2\text{Al}_6(\text{OH})_{12}\text{SO}_4$ )	Alteração em vulcânicas ácidas
	Silvina, carnallita ( $\text{KCl}$ , $\text{MgCl}_2$ , $6\text{H}_2\text{O}$ )	Depósitos salinos em sedimentos
<b>Tório</b>	Monazita ( $\text{ThO}_2$ )	Granitos, pegmatitos, gnaisses
	Torianita ( $(\text{Th}, \text{U})\text{O}_2$ )	Granitos, pegmatitos e depósitos tipo placer
	Torita, Uranotorita ( $\text{ThSiO}_4 + \text{U}$ )	Granitos, pegmatitos e depósitos tipo placer
<b>Urânio</b>	Uraninita (óxido de U, Pb, Ra + terras raras)	Granitos, pegmatitos, e veios em depósitos de Ag, Pb, Cu, etc.
	Carnotita ( $\text{K}_2\text{O} \cdot 2\text{UO}_3 \cdot \text{V}_2\text{O}_5 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )	Arenitos
	Gummite (alteração da uraninita)	Associado com a Uraninita

Fonte: Telford (1990).

## 5.5 Técnicas de realce das anomalias observadas

Para a interpretação dos dados magnéticos e gravimétricos são utilizados alguns filtros e técnicas de realce para que se possa obter um resultado satisfatório.

### 5.5.1 Derivada Vertical

O filtro da derivada vertical realça as fontes geológicas rasas e é aplicado nos dados de campos potenciais. O filtro consiste na derivada em relação à direção vertical, onde A é a amplitude da anomalia (Bello, 2014).

$$DZ = \frac{\partial A}{\partial z} \quad (5)$$

### 5.5.2 Amplitude do Sinal Analítico (ASA)

A amplitude do sinal analítico (ASA) por Nabighian (1972) é uma função que relaciona as derivadas do campo magnético nas direções x,y,z. A amplitude do sinal analítico é dada pela equação abaixo:

$$ASA = \sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial z}\right)^2} \quad (6)$$

A amplitude do sinal analítico (ASA) é uma técnica de realce que pode complementar as técnicas de redução ao polo (RTP) e a técnica de gradiente horizontal é muito utilizada para a detecção de bordas, quando as fontes de interesse são superficiais ou muito regionais, e a latitude é baixa e a magnetização remanescente é significativa (Li, 2006).

### 5.5.3 Continuação para cima

Segundo Milligan & Gunn (1997), é um filtro utilizado para suprimir o efeito das anomalias rasas pois, possibilita conhecer detalhes em uma profundidade maior. A continuação para cima suaviza anomalias de alta frequência em relação a baixa frequência em relação as anomalias de baixa frequência.

## 6. CONTEXTO GEOLÓGICO DA ÁREA

Regionalmente a área de estudo situa-se no denominado Escudo Sul-Riograndense (ESRG), porção meridional da Província da Mantiqueira (Almeida & Hasui, 1981). Diversos os modelos são apresentados quanto a evolução a fim de elucidar o contexto geotectônico do Rio Grande do Sul. Modelos proposto Ribeiro e Fantinel (1978) seguindo preceitos da tectônica e Fragozo César (1980) auxiliaram no entendimento da evolução do ERSR.

O ESRG é composto por rochas paleoproterozoicas e neoproterozoicas, sendo o resultado de processos de geração e deformação da crosta continental, cuja contribuição maior ocorreu em dois ciclos orogênicos, o Transamazônico (2,26 – 2,00 Ga) e o Brasileiro (900-535 Ma) (Hartmann *et al.* 2007).

O ESRG foi compartimentado segundo Hartmann *et al.* (2007) em quatro unidades tectônico-estratigráficas devido as suas características geofísicas, geoquímicas petrográficas e litoestratigráficas, resultando em: Terreno Taquarembó, Terreno São Gabriel, Terreno Tijucas e o Batólito Pelotas, conforme a figura 7.

O Terreno Taquarembó é constituído pelo Complexo Granulítico Santa Maria Chico de idade 2.5 G a 2.1 (idade SHRIMP; Hartmann *et al.* 1999). Este terreno é composto por meta-ultramáficos, gnaisses félsicos (tonalitos), granada-silimanita, quartzo-magnetita e por rochas supracrustais de fácies granulito, coberto posteriormente por sequências vulcano-sedimentares da Bacia do Camaquã e rochas sedimentares da Bacia do Paraná.

O Terreno São Gabriel constitui-se em um prisma acrescionário, com associações petrotectônicas de ambientes de margem passiva e de retro arco, ofiolitos, arcos magmáticos vulcanossedimentares e plutônicos (Hartmann *et al.* 2007). É formado na porção ocidental do Cinturão Dom Feliciano e possui forma alongada (N20/30°E). Está recoberto a NW e SW pela Bacia do Paraná. É limitado pela zona de Cisalhamento Ibaré e a leste pela Zona de Cisalhamento Caçapava do Sul. (Phillip *et al.* 2016).

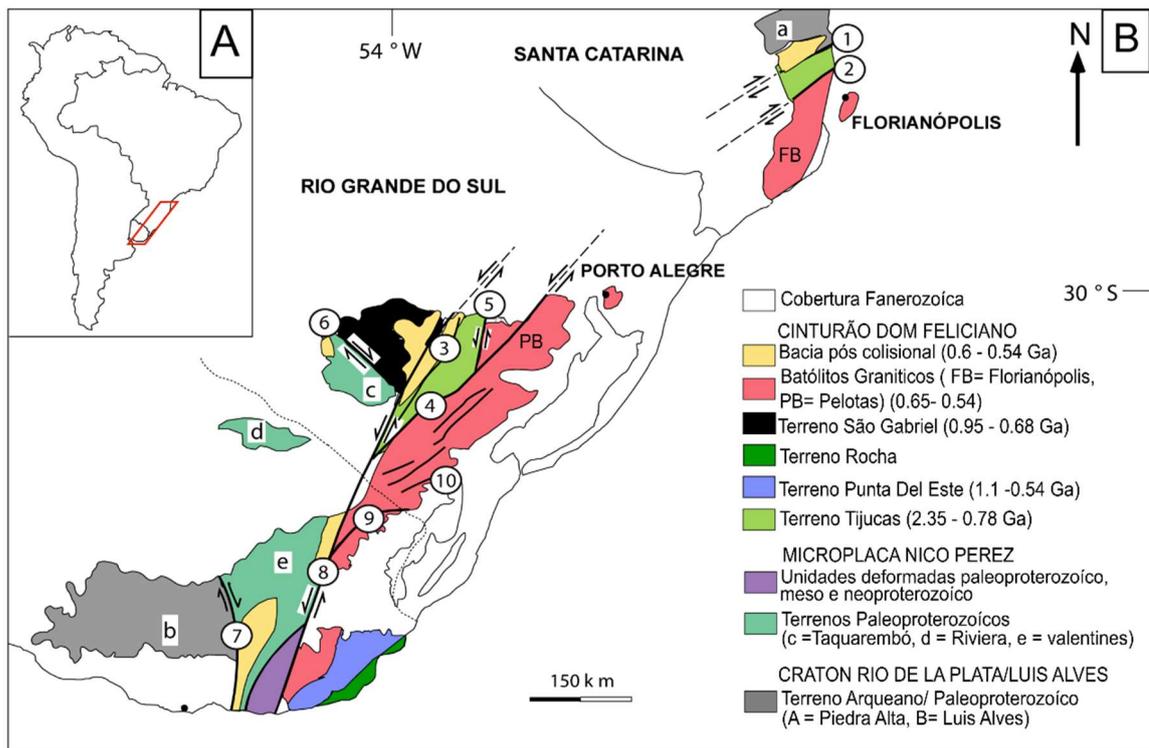
O Terreno Tijucas segundo Chemale Jr, (2000) é representado pelas rochas anfíbolíticas e granito-gnáissicas do Complexo Encantadas (2,2 a 2,0 Ga idade U-Pb SHRIMP) e pelas rochas plutônicas e supracrustais do complexo metamórfico Porongos (800 a 700 Ma). É recoberto por rochas sedimentares da Bacia Camaquã e intrudido pelos granitoides do Evento Brasileiro (593 – 543 Ma). É alongado na direção

NE, estendendo-se por 170 Km com largura entre 15 e 30 km. Está em contato tectônico com o Terreno São Gabriel a oeste ao longo da zona de cisalhamento Caçapava do Sul (Philipp *et al.* 2016).

Segundo Hartmann *et al.* (2000) e Phillip *et al.* (2016) pode-se dizer que a zona de Cisalhamento de Caçapava do Sul ou lineamento Caçapava do sul é uma estrutura profunda devido aos estudos de modelagem geofísica e essa estrutura é considerada como a zona de sutura entre os terrenos São Gabriel e Tijucas.

O Batólito de Pelotas é classificado como um complexo de rochas granítico-gnaissico, contendo sete suítes, sendo uma sienítica e seis graníticas, com idades entre 650 e 550 Ma (Philipp *et al.* 2007).

Figura 7. A) Mapa de localização Província Mantiqueira Sul. B) Mapa geológico do Escudo Sul-Brasileiro e Uruguiaio. Zonas de cisalhamento dúcteis: 1 - Itajai-Perimbó, 2 - Major Gercino, 3 - Caçapava do Sul, 4 - Dorsal de Canguçu, 5 -Passo do Marinheiro, 6 – Ibaré, 7 – Sarandí del Yí, 8 – Sierra Ballena, 9 – Cerro Amaro, 10 – Arroio Grande.



Fonte: Modificado de Philipp *et al.* (2016).

## 6.1 Complexo Metamórfico Passo Feio

Inicialmente descrita como Formação Vacacaí por (Goñi 1962), devido a área em questão que a formação aflora está situada nas cabeceiras do rio Vacacaí, são rochas metamórficas derivadas do metamorfismo regional.

Ribeiro (1970) utiliza nomenclatura Formação Vacacaí e afirma que as relações de contato desta formação com as bordas norte, leste e sul do Granito Caçapava são típicas de intrusão, observando aspectos estruturais e fácies de metamorfismo de contato. Na porção sul da folha Bom Jardim, essas rochas estão em contato com um pequeno stock granítico, também de natureza intrusiva, com os mesmos aspectos de contato descritos para o Granito Caçapava (Ribeiro, 1970 p.17).

Bitencourt (1983) define as rochas metamórficas desta região como Complexo Metamórfico do Passo Feio. É constituído principalmente por xistos pelíticos, filitos, mármore, rochas anfíbolíticas, metavulcânicas e meta-vulcanoclásticas. Bitencourt (1983) descreve ainda dois eventos de metamorfismo regional (M1 e M2). O M1 atingiu a fácies anfíbolito evento de baixa pressão. Já o evento M2 é de fácies xisto verde. Estes eventos metamórficos, por sua vez, acompanham duas fases de deformação, respectivamente, D1 e D2.

## **6.2 Granitos Ocidentais do Escudo-Sul-Rio-Grandense (ERSG)**

As rochas graníticas são as mais abundantes na crosta continental da Terra e ocorrem em uma variedade de ambientes geotectônicos, zonas orogênicas e de colisão continental até zonas anorogênicas intraplaca (Gill, 2014).

Os plútons graníticos individuais afloram em áreas de diversos tamanhos, desde menos de 10 km<sup>2</sup> até mais de 1000 km<sup>2</sup>. A maior parte do conhecimento sobre a forma e o volume de plútons graníticos se fundamenta em investigações geofísicas (Gill, 2014).

Segundo Sartori & Ruegg (1979) não é feição exclusiva da região a diversidade de tipos petrográficos constatada na maioria dos maciços graníticos localizados na parte ocidental do Escudo Rio Grandense.

As feições em comum, relativas à heterogeneidade na composição de vários maciços graníticos pertencentes à mesma unidade geotectônica, sugerem que eles sofreram evolução em moldes semelhantes, em áreas favoráveis a geração de rochas graníticas, durante intervalo de tempo significativo, no decorrer do ciclo orogênico brasileiro (Sartori & Ruegg, 1979, p.7).

Granitos equigranulares com predominância de cor rosa avermelhada (eventualmente cinza clara) de natureza sub alcalina que se associam às rochas anteriores ou formam plutões independentes, gerando nas rochas encaixantes feitos de metamorfismo de contato são considerados pós tectônicos como por exemplo Granito Jaguari, o Granito Cerro da Cria, parte dos maciços de Lavras do Sul, Caçapava do Sul, Ramada e São Sepé (Sartori & Ruegg, 1979, p.8).

### 6.2.1 Complexo Granítico Caçapava do Sul

O Complexo Granítico Caçapava do Sul (Leinz *et al.* 1941; Ribeiro *et al.* 1966; Bitencourt, 1983; Sartori e Kawashita, 1985; Nardi e Bitencourt, 1989) possui uma estrutura domal assimétrica alongada em direção N-S. Sua foliação é sub-horizontal no lado leste e nas partes centrais do plúton, mas mergulha 40-70 para NW na parte oeste do batólito (Remus, 1999).

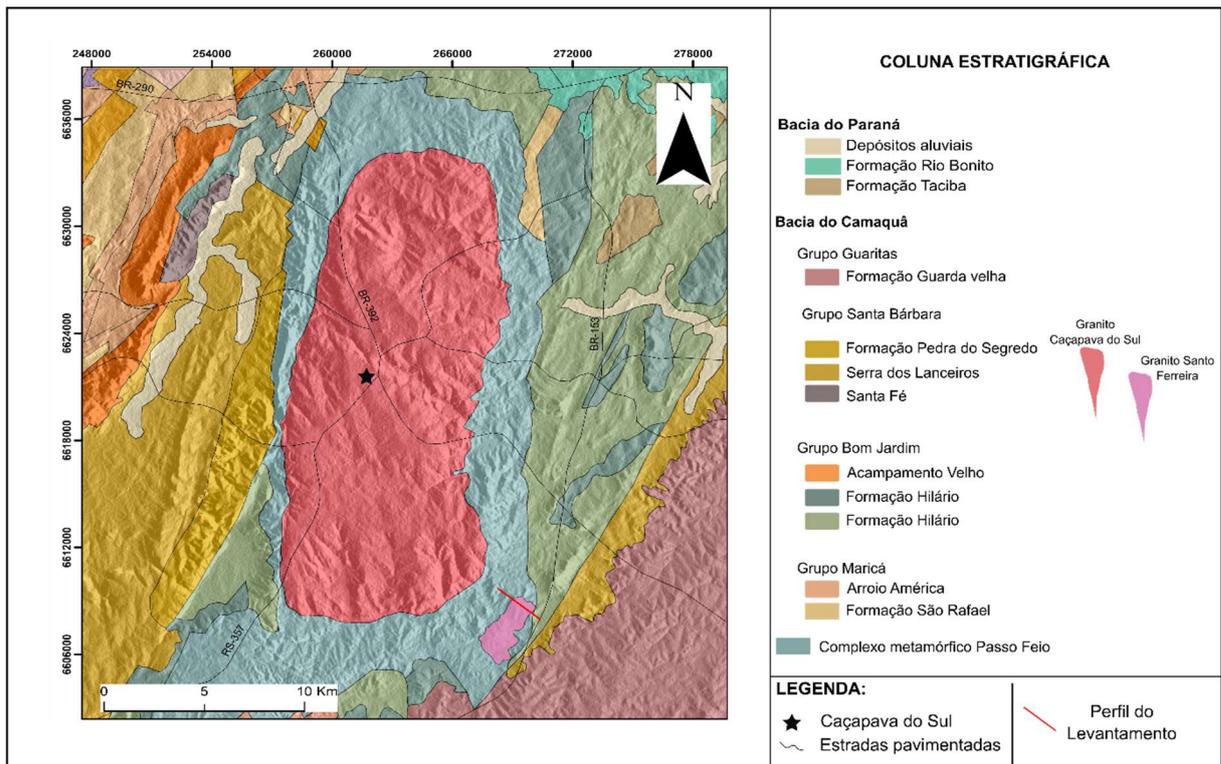
Descrito como um granito equigranular, de cor rosa e cinza claro constituído por ortoclásio, plagioclásio, quartzo, biotita e hornblenda apresenta a forma de um típico batólito, provavelmente contemporâneo de outros granitos. A composição pode variar conforme o local variando de granítica a granodiorítica (Figueiredo & Bortoluzzi, 1975).

Os principais minerais acessórios são alanita, zircão, apatita, titanita, pirita e magnetita e, subordinadamente nas facies leucograníticas, granda, turmalina e muscovita. Pegmatitos, aplitos e veios de quartzo com pirita e ou hematita são comuns no lado oriental do batólito (Nardi & Bitencourt 1989, Remus 1999).

Segundo Nardi & Bitencourt (1989) o Complexo Granítico Caçapava do Sul (Figura 8) é formado por três fácies principais: biotita granitoides, leucogranitoídes e os granitoides transicionais. Os biotita granitoides apresentam coloração cinza predominam nas porções sul, sudeste e oeste. Os leucogranitoídes são rochas de coloração rósea contendo localizadamente granada ou muscovita predominam na porção norte e nordeste. Os granitoides transicionais apresentam características dos dois primeiros tipos, ocorrem na porção central e leste do corpo.

Segundo Remus (1999) a idade e origem do Complexo Granítico Caçapava do Sul são incertas devido a suas grandes variações na composição petrográfica (sienogranito a tonalito), e suas características estruturais contrastantes (foliadas e ou lineadas) e a variação entre as datações K/Ar e Rb/Sr (520 Ma a 640 Ma) (Sartori & Kawashita, 1985; Soliani Jr., 1986; Sartori & Kawashita, 1989).

Figura 8. Complexo Granítico Caçapava do Sul e litologias adjacentes.



Fonte: Modificado Wildner *et al.* (2007).

### 6.2.2 Granito Santo Ferreira

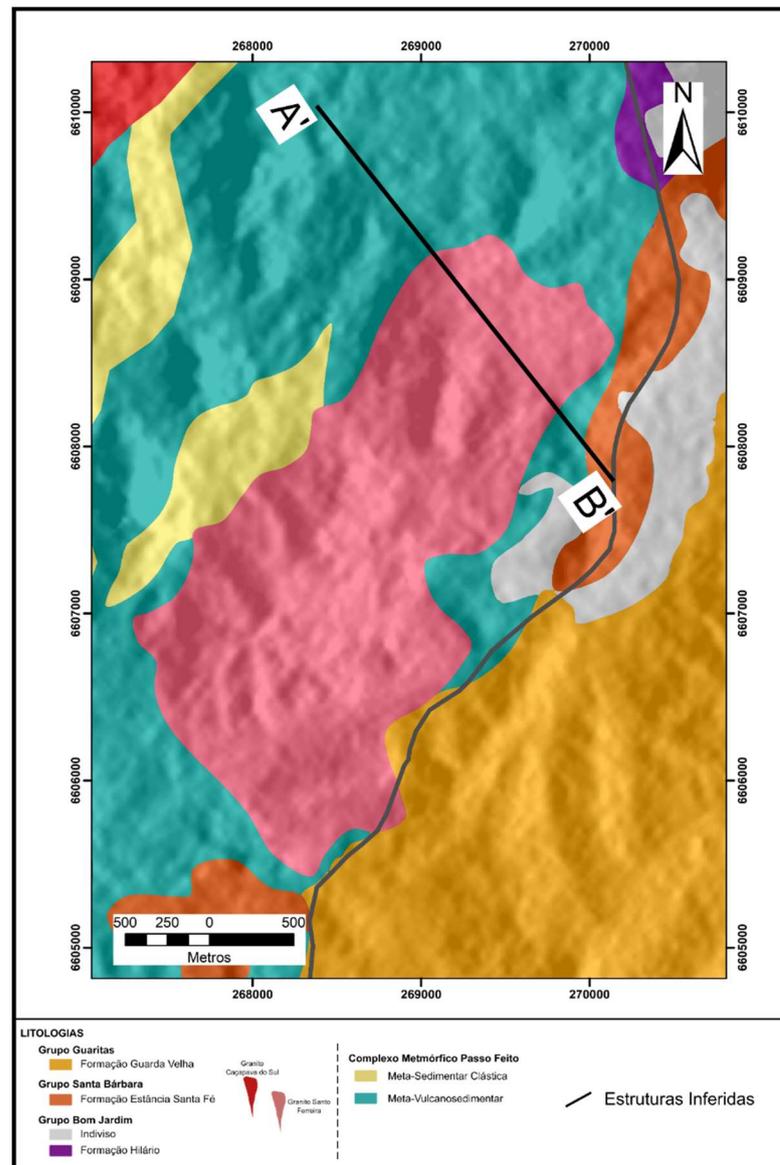
Segundo Ribeiro (1970), o Granito Santo Ferreira (Figura 9), objeto deste estudo, é um pequeno stock a sudeste de Caçapava que pode ser considerado um pulso do Granito Caçapava do Sul. Intrudiu a Formação Vacacaí, desenvolvendo metamorfismo de contato facies anfibolítico e é capeado pelas formações Santa Bárbara e Guaritas.

Conforme Bitencourt (1983) e Nardi & Bitencourt (1989), as semelhanças estruturais, geoquímicas, petrográficas e geocronológicas e a proximidade geográfica entre o Granito Santo Ferreira e o Granito Caçapava do Sul permitem agrupá-los em uma só unidade. Sartori & Kawashita (1985), com base em dados radiométricos K- Ar e Rb-Sr, sugerem que as rochas do Complexo Granítico Caçapava do Sul são contemporâneas ao Granito Santo Ferreira e apresentam idade de  $552 \pm 4$  Ma.

Segundo Machado (2017) o Granito Santo Ferreira é constituído por sienogranitos, muscovita sienogranito, biotita monzogranitos e granada leucogranitos, que correspondem a rochas de coloração rosa claro a vermelho escuro. Ainda segundo o mesmo autor, zonas de intensa deformação dútil, por vezes formando

cataclasitos, ocorrem associadas a lineamentos regionais NNW e NW. As zonas de entrecruzamento destas estruturas com lineamentos regionais de direção NE servem como sítios a deposição das mineralizações da área.

Figura 9. Mapa Geológico do Granito Santo Ferreira com perfil A'-B' de aquisição gravimétrica



Fonte: adaptado de UFRGS (1998).

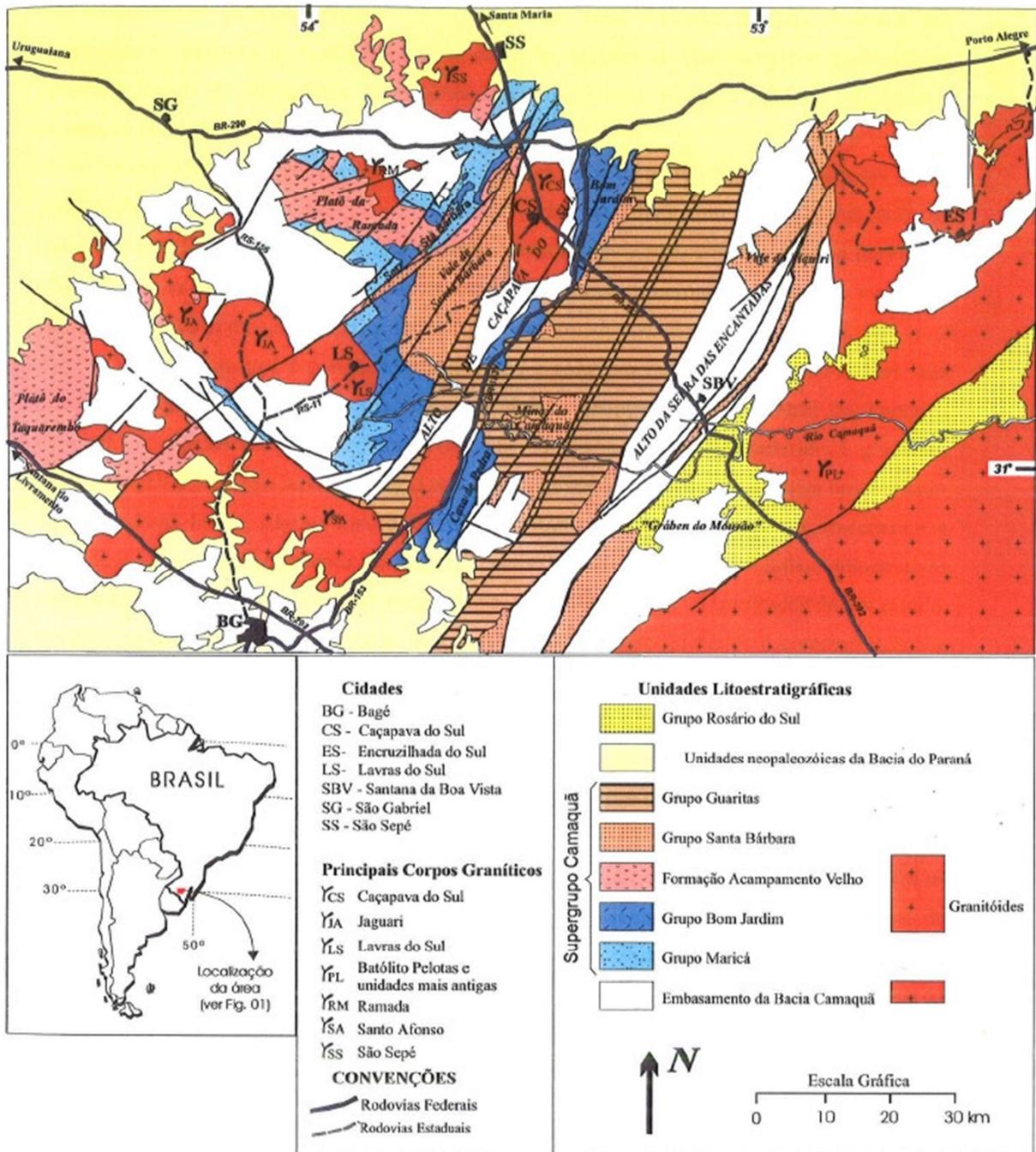
### 6.3 A Bacia do Camaquã

A Bacia do Camaquã (Figura 10) está depositada sobre os terrenos do ESRG. O termo bacia é usado para designar uma depressão onde se acumulou o registro de um episódio tectônico (Paim *et al.* 2014 p.184). A bacia do Camaquã é considerada por Paim *et al.* 2014 como resultado da superposição de bacias no decorrer das fases finais do ciclo Brasileiro com evolução entre 680 ma 530 Ma, sob domínio de diversos esforços inicialmente compressivos/transpressivos e finalizando-se em um ambiente distensivo/transtensivo.

As rochas que compõem a Bacia do Camaquã são vulcanossedimentares de idade ediacarana a eocambriana (Santos, 2010). Segundo Almeida (2005), o preenchimento desta bacia apresenta 10.000 metros de espessura e suas ocorrências são delimitadas por falhas de alto ângulo de direção NNE que isolam três sub bacias: Camaquã ocidental, central e oriental separadas pelos altos de Caçapava do Sul e da Serra das Encantadas. Litoestratigraficamente, a Bacia do Camaquã está dividida nas seguintes unidades da base para o topo: Grupo Maricá, Grupo Bom Jardim, Formação Acampamento Velho, Grupo Santa Bárbara e Grupo Guaritas.

A Formação Guarda Velha é a base do Grupo Guaritas, segundo (Almeida 2005), e aflora próximo à área. É composta por arenitos conglomeráticos com estratificação cruzada ou estratificação plano-paralela além de lentes de conglomerados (Almeida 2005 p.57).

Figura 10. Mapa geológico do Supergrupo Camaquã e áreas adjacentes.



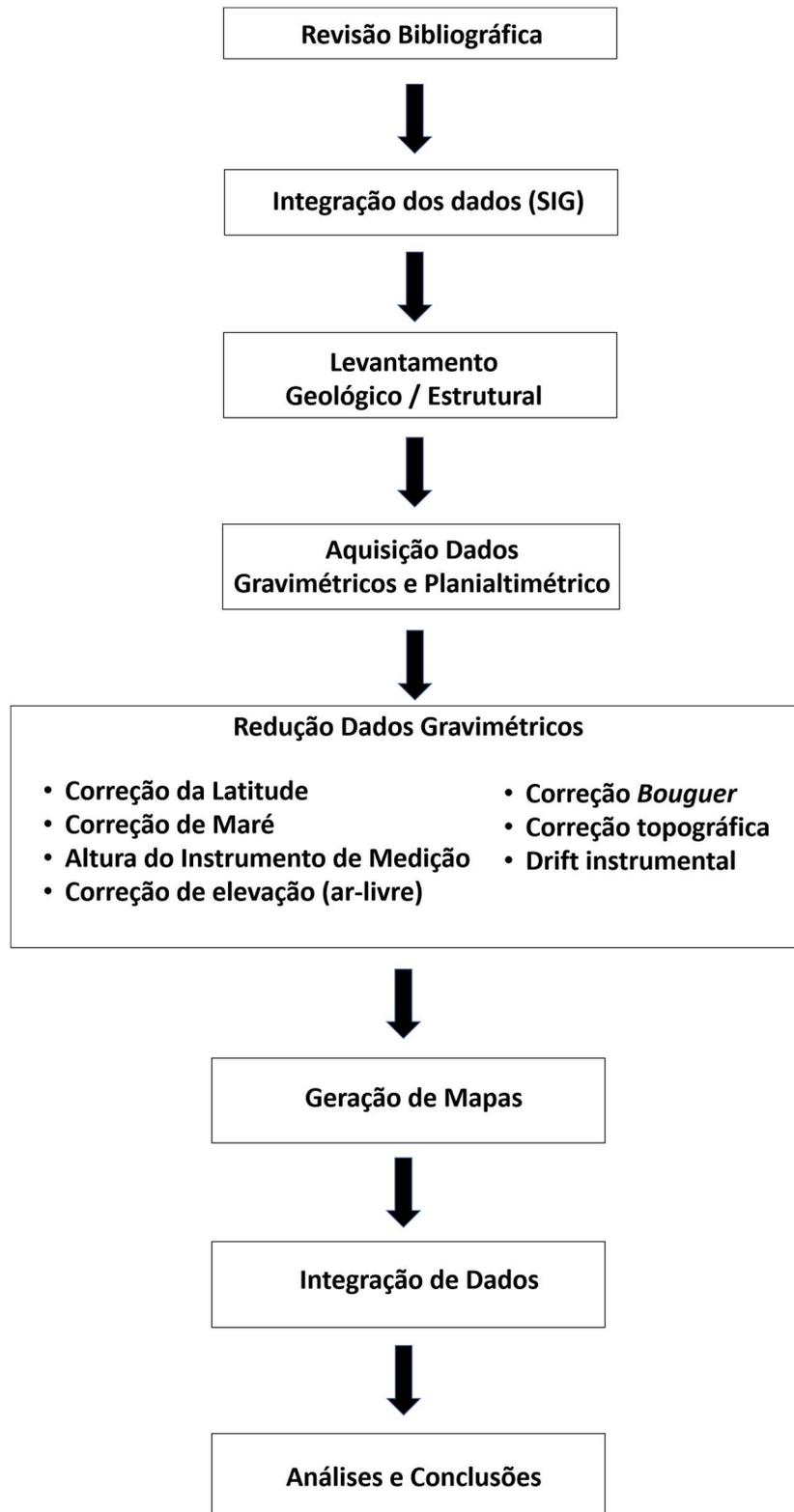
Fonte: Modificado de Almeida (2005).

## 7. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foram adotadas as seguintes etapas: a) revisão bibliográfica, b) integração dos dados em ambiente SIG, c) Levantamento sucinto de campo, d) aquisição geofísica, e) redução de dados gravimétricos f) geração de mapas g) integração de dados, análise e interpretação. Os principais

procedimentos e etapas encontram-se resumidos no fluxo de atividades da (Figura 11).

Figura 11. Fluxograma das atividades realizadas.



Fonte: Autora.

### **7.1 Revisão Bibliográfica**

Organização, catalogação e entendimento das literaturas referentes a área estudada, métodos e análises empregadas. Dados cartográficos digitais e físicos (mapas) foram incorporados ao estudo a fim de se compor o manuscrito (TCC). Foram consultadas diversas bibliografias incluindo livros, monografias, dissertações, teses, mapas, artigos e arquivos digitais.

### **7.2 Integração em ambiente SIG**

A geração de um banco de dados em ambiente SIG é importante, pois possibilita uma otimização e integração dos dados a fim de se otimizar a análise dos resultados. Essa base de dados fornece importante subsídio ao trabalho desde a etapa pré-campo até os resultados e conclusões finais (modelos interpretados).

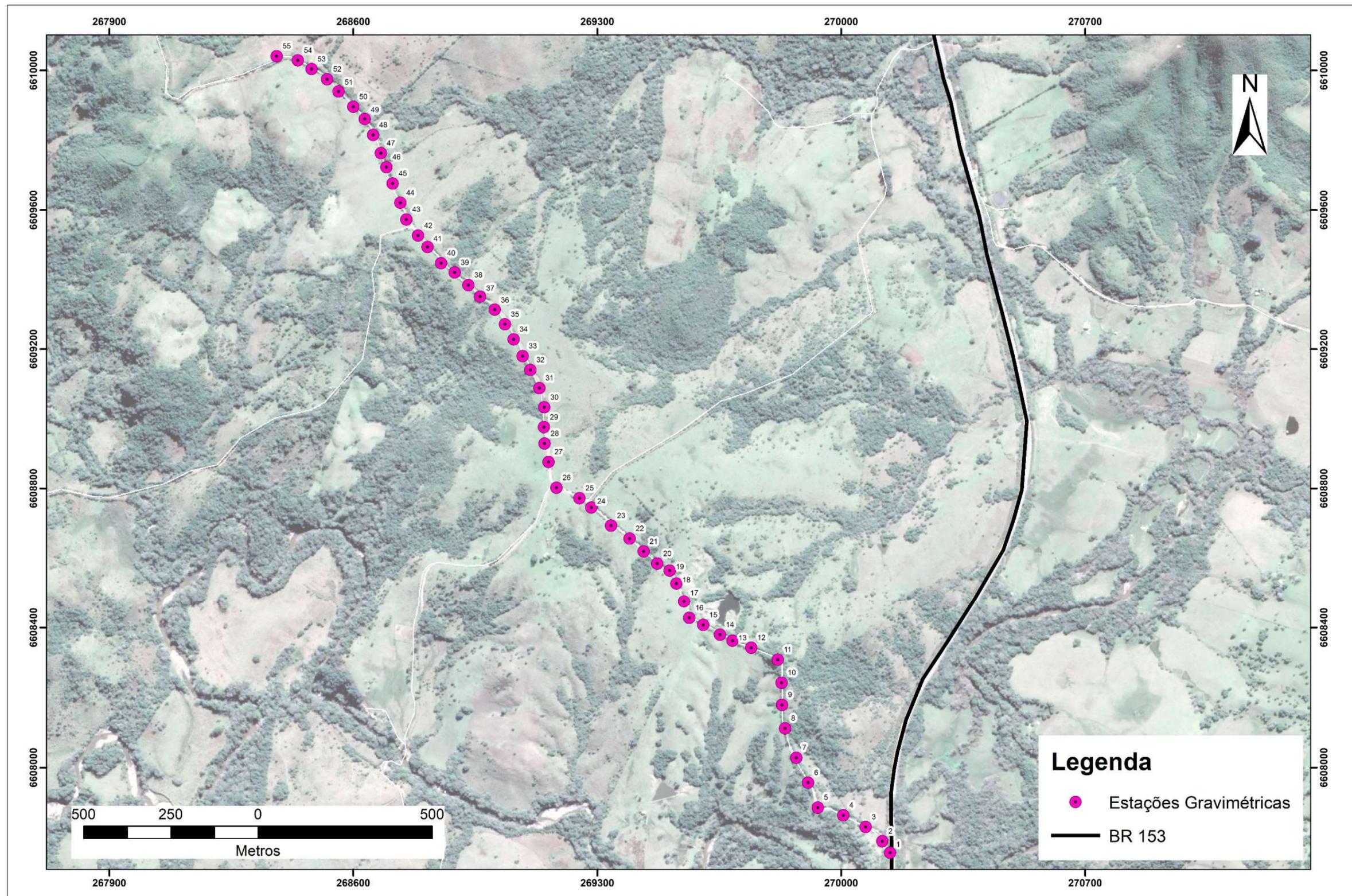
### **7.3 Levantamento geológico e estrutural**

Levantamento de campo para descrição sucinta e análise das principais litologias e estruturas. No entorno da área de aquisição geofísica, foram efetuadas medidas de dados estruturais (mergulho e direção) utilizou-se a notação estrutural *dip direction*. Foi possível obter o reconhecimento dos principais controles estruturais existentes na área e a relação desses controles estruturais com o arcabouço regional do granito Santo Ferreira a partir de estudos anteriores. Ofereceu, também, dados na integração com as anomalias aerogeofísicas e terrestres observadas.

### **7.4 Aquisição gravimétrica**

A aquisição gravimétrica foi realizada ao longo de um perfil de 3Km. O espaçamento adotado entre as estações foi de 50 metros e foram adquiridas um total de 56 estações gravimétricas medidas e observadas conforme figura 12.

Figura 12. Estações gravimétricas.

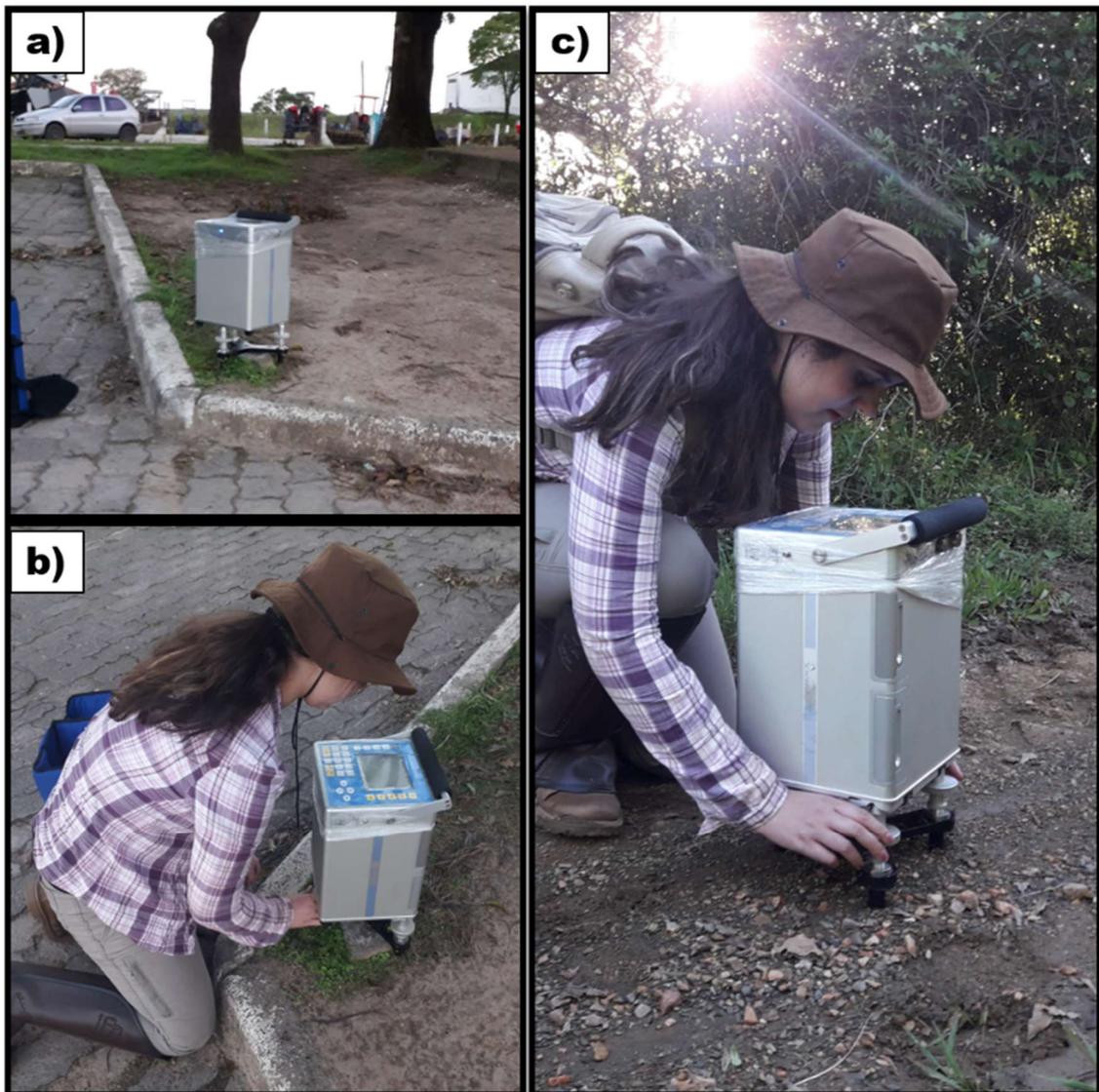


Fonte: Autora.

Para as medidas ao longo do perfil foi utilizado um gravímetro modelo CG5 Autograv da Scintrex com uma precisão de 0,001 mGal. Para a correção da variação instrumental Drift e Luni-Solar (correção de maré) adotou-se a primeira leitura e a última do dia em uma Estação Base gravimétrica aferida (marco geodésica).

A Estação Base gravimétrica utilizada situa-se no campus da Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do sul. As medidas foram efetuadas com uma duração de sessenta segundos em 4 leituras repetidas sucessivamente. Para as estações medidas no perfil, foi empregado leituras de quinze segundos com 3 leituras repetidas sucessivamente.

Figura 13. a) Gravímetro Autograv da Scintrex realizando a primeira leitura no campus da Universidade Federal do Pampa (Estação Base). b) Última aquisição do levantamento realizada na Estação Base. c) Aquisição realizada em campo.



Fonte: Autora.

## **7.5 Georreferenciamento – aquisição de dados planialtimétricos**

A aquisição dos dados planialtimétricos das estações gravimétricas medidas foram realizadas ao longo do perfil com um espaçamento de 50 metros entre as estações.

Foi utilizado um receptor GPS da marca JAVAD modelo TRIUMPH-1 GNSS RTK. Este receptor GPS possui precisão horizontal de 3.0mm e precisão vertical de 3.5mm. No levantamento foi utilizada a técnica de levantamento Modo Estático rápido.

O princípio de funcionamento no modo estático rápido é dado por: um receptor serve como base permanecendo fixo sobre uma estação de referência coletando dados, neste estudo foi utilizada a base da UNIPAMPA, enquanto um outro receptor móvel adquire dados dos locais em que foram realizados a gravimetria permanecendo parado nestes locais por um período de 5 minutos.

As medidas foram feitas durante 5 minutos com ajuste de leituras a cada 1 segundo, totalizando em média 300 leituras em cada estação de levantamento.

## **7.6 Redução dos dados gravimétricos**

Para que os resultados de um levantamento gravimétrico possam ser interpretados é necessário a redução dos dados, foram feitas as seguintes correções que são descritas na revisão bibliográfica:

- Correção da latitude
- Correção da Maré
- Altura do instrumento de medição
- Correção de elevação (ar- livre)
- Correção Bouguer
- Drift instrumental
- Correção topográfica

## **7.7 Mapas geofísicos**

A partir dos dados processados para os limites da área proposta de estudo, foram gerados mapas de isovalores sombreados empregando o interpolador mínima curvatura (Briggs, 1974). Para os dados gravimétricos terrestres adotou-se o mesmo procedimento para a análise e correlação com os dados aerogeofísicos e geológicos.

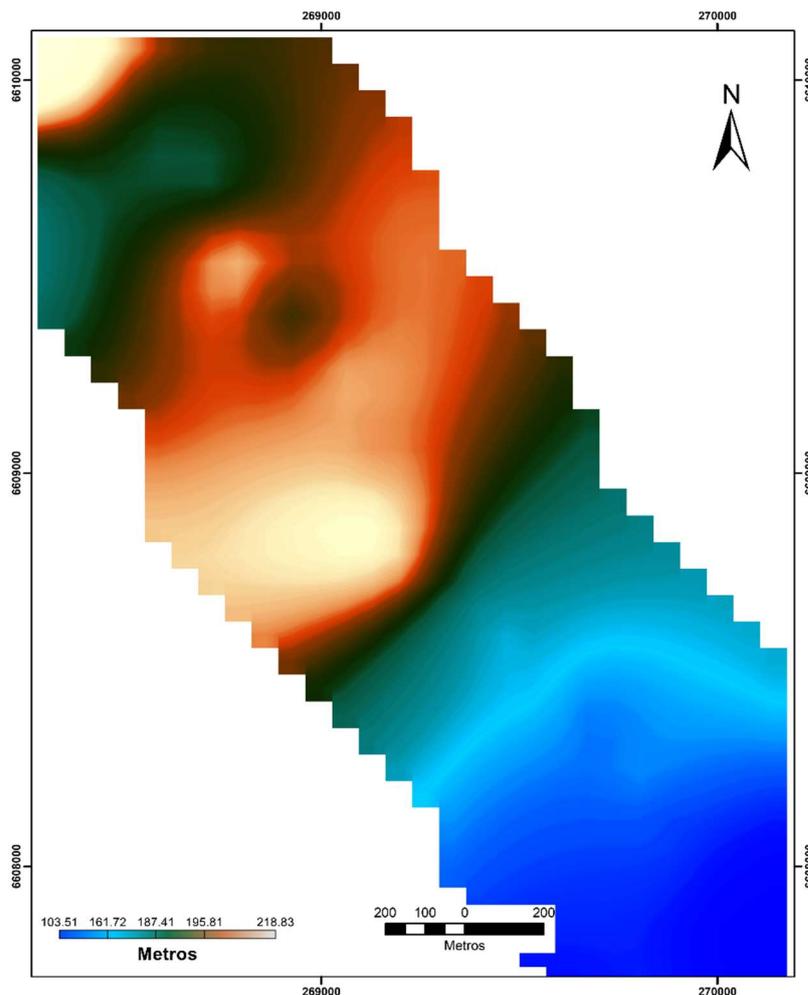
## 8. RESULTADOS

### 8.1 Litologia, estruturas e relevo

A integração de dados em um ambiente SIG consiste em uma importante etapa para a realização deste trabalho. Possibilitou o planejamento de campo, locação da área de aquisição geofísica e delimitação das principais litologias e estruturas presentes.

A partir do levantamento planialtimétrico foi gerado perfil e mapa de elevação, que possibilitou correlação dos dados geofísicos e geológicos. É possível notar na figura (14) que as maiores elevações estão localizadas na porção NW na área, na faixa de 218.83 metros. A região central apresenta elevação na faixa de 161.72 metros e a região SE apresenta elevação na faixa de 103.51 metros.

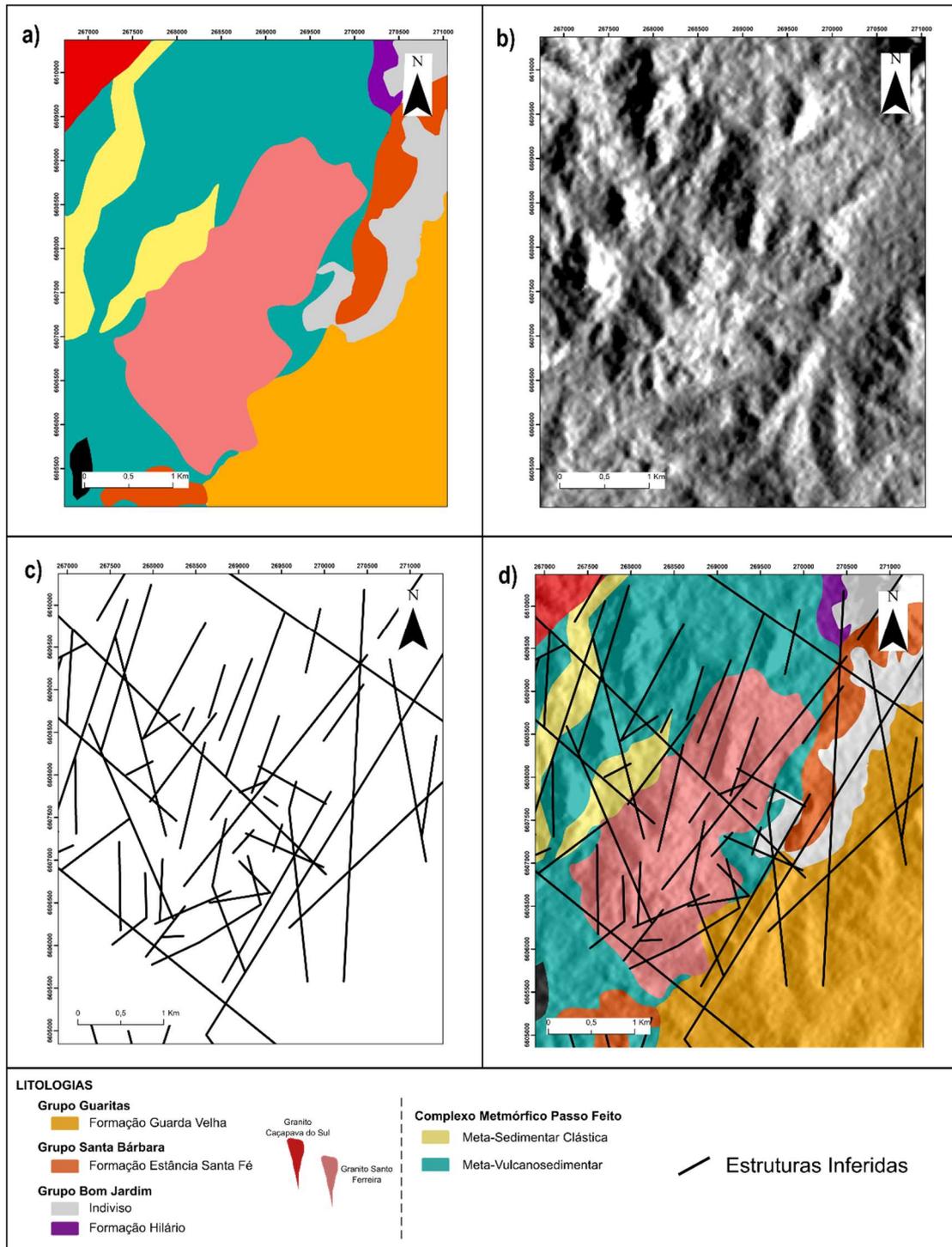
Figura 14. Mapa de isocontorno sombreado dos valores de altitude de elevação de terreno a partir dos dados gravimétricos medidos



Fonte: Autora.

Analisando os lineamentos regionais utilizando banco de dados SIG foi observado estruturas regionais em uma direção preferencial NW/SE e NE/SW. A Figura (15) apresenta os principais lineamentos da área, interpretados na etapa de pré-campo.

Figura 15. Composição de mapas em a) mapa geológico da área b) MDT Alos Palsar c) Lineamentos regionais aferidos a partir de MDT d) integração de a, b e c



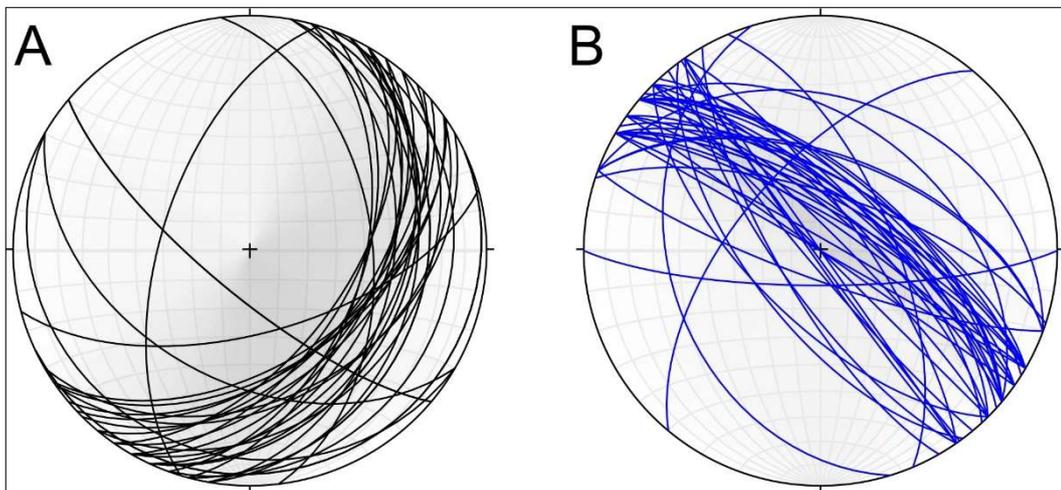
Fonte: Autora.

Com o objetivo do reconhecimento das principais feições estruturais presentes na área de estudo, foram obtidas medidas estruturais das foliações e fraturas foi utilizada a notação estrutural *dip Direction*. Nota-se que as foliações possuem direção preferencial NE e mergulham para SE, as fraturas possuem direção preferencial NW-SE e mergulham para NE. Essa etapa foi importante, pois após reconhecimento da direção e mergulho das estruturas principais foi possível o planejamento do perfil gravimétrico.

No estereograma (figura 16) é possível verificar em a) as foliações metamórficas e miloníticas das unidades da área de estudo e em b) todas as fraturas verificadas na área de estudo. Foram medidas 44 fraturas e 34 foliações, nota-se que as fraturas estão em alto ângulo e perpendiculares em relação a foliação.

O reconhecimento das principais estruturas e litologias possibilitou a realização do perfil geológico que foi utilizado para correlação com os dados geofísicos. A descrição dos pontos e amostras ao longo do perfil pode ser verificada nos Apêndices deste trabalho.

Figura 16. Estereogramas com as principais estruturas. A) Foliações; B) Fraturas.



Fonte: Autora.

## 8.2 Aerogamaespectrometria

O levantamento aerogamaespectrométrico evidencia as quantidades presentes de K, U e Th na região de estudo. Em (a), na figura 17, as respectivas regiões em que o elemento Urânio ocorre em maiores quantidades e em figura 17 (d) é possível observar que a porção NE do granito Santo Ferreira apresenta maiores concentrações

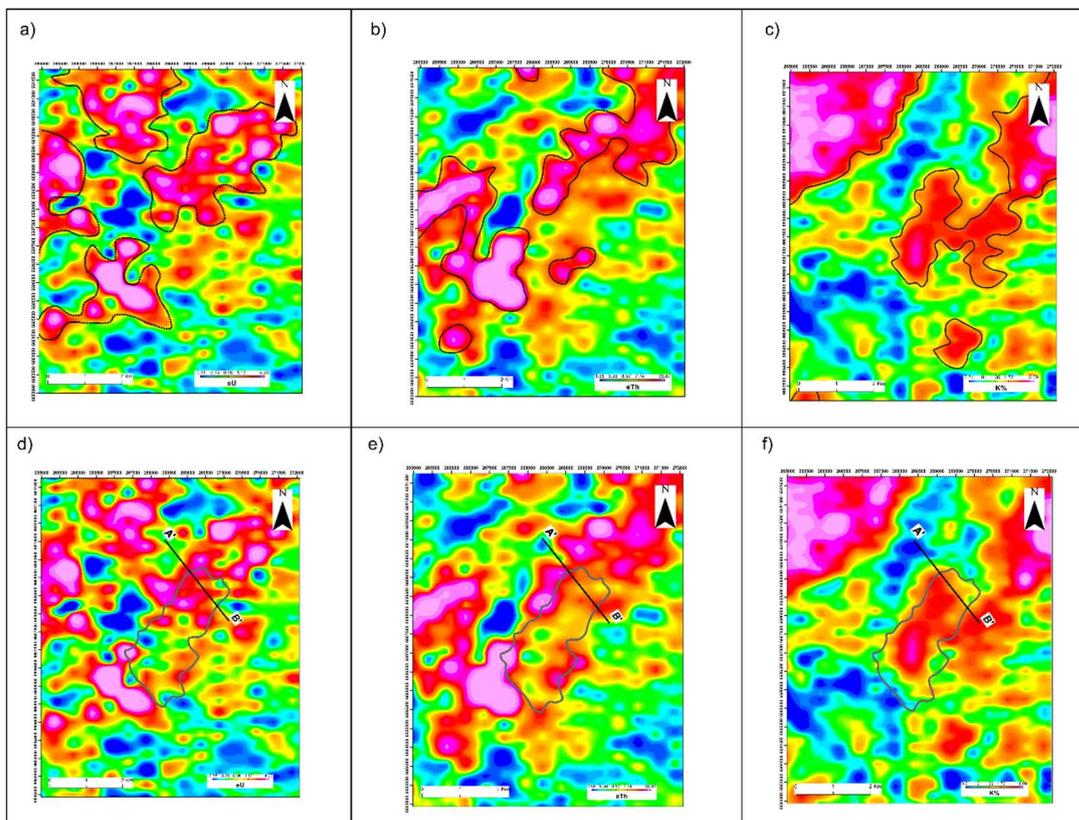
do elemento Urânio em relação a outras regiões do corpo granítico, Nota-se que a anomalia de Urânio é bem marcada no sentido NW que é a mesma estrutura regional que divide o Granito Santo Ferreira ao meio.

Em figura 17 (b), é possível observar as regiões de maior concentração do elemento Th e em figura 17 (e) são observadas anomalias de Th em NE, preferencialmente concentradas nos limites do granito com a rocha encaixante complexo metamórfico Passo Feio.

Em figura 17 (c) observa-se as regiões de maior concentração do elemento K e em figura 17 (f) é possível verificar que o K evidencia bem os limites do granito Santo Ferreira e do Granito Caçapava do Sul e observa-se que as rochas do complexo metamórfico Passo Feio apresentam baixas quantidades do elemento K.

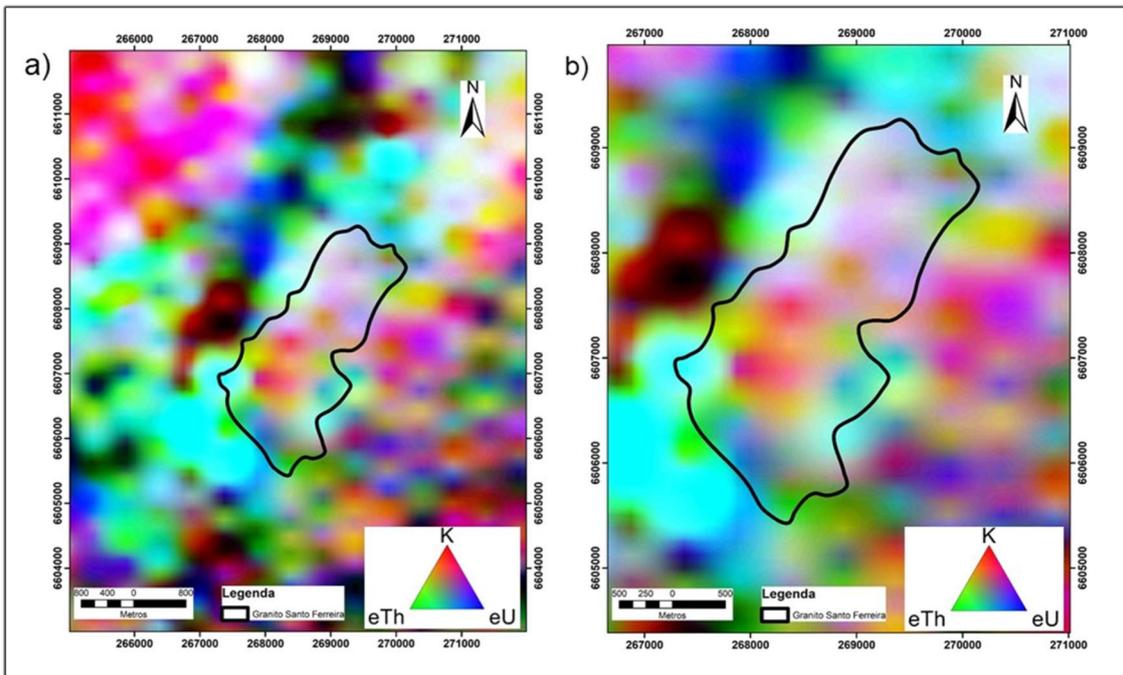
Na figura 18 observa-se o mapa da composição ternária de K, eU e eTh, em (a) e (b) maiores concentrações dos elementos K e eTh estão presentes no granito Santo Ferreira, e nota-se maiores concentrações dos elementos eTh, eU relacionadas ao complexo metamórfico Passo Feio. O granito Caçapava do Sul e a formação Guarda Velha evidenciam maiores concentrações do elemento K.

Figura 17. Integração de dados gamaespectrométricos



Fonte: Autora

Figura 18. Composição ternária canais K, eU, eTh: Em a) mapa na escala 1.40.000 evidenciando limites do Granito Santo Ferreira. Em b) mapa na escala 1.25.000 evidenciando a área em detalhe.

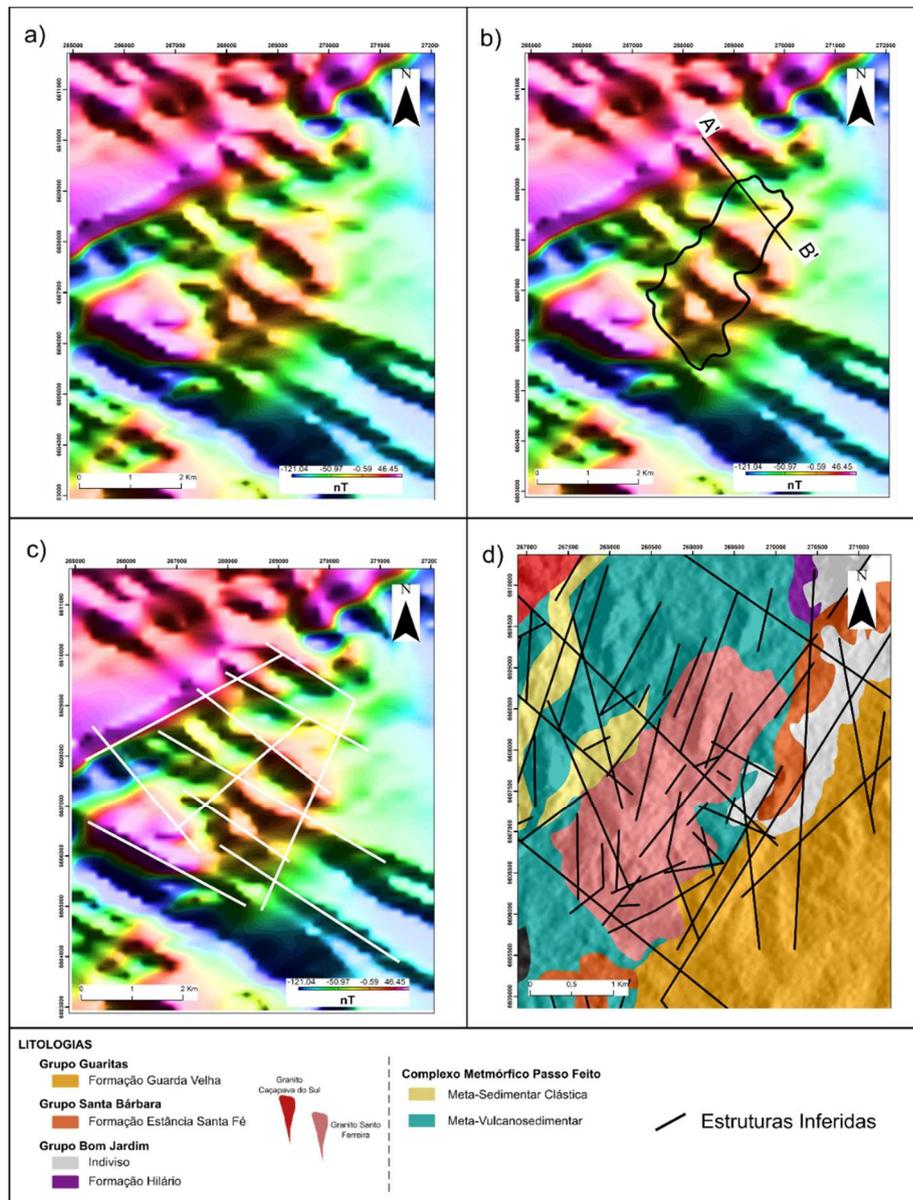


Fonte: Autora

### 8.3 Aeromagnetometria

A suscetibilidade magnética de alguns minerais formadores de rocha é evidenciada com essa técnica. Na figura 19, em (a) é possível visualizar o campo anômalo magnético total nota-se anomalias magnéticas bem marcadas em NW e NE. Em (b) limites do Granito Santo Ferreira e perfil A'-B' sobrepostos. Em (c) principais lineamentos que marcam as anomalias magnéticas. Em (d) tem-se os lineamentos regionais delimitados com o modelo digital de terreno Alos Palsar sobrepostos em mapa geológico da área de estudo.

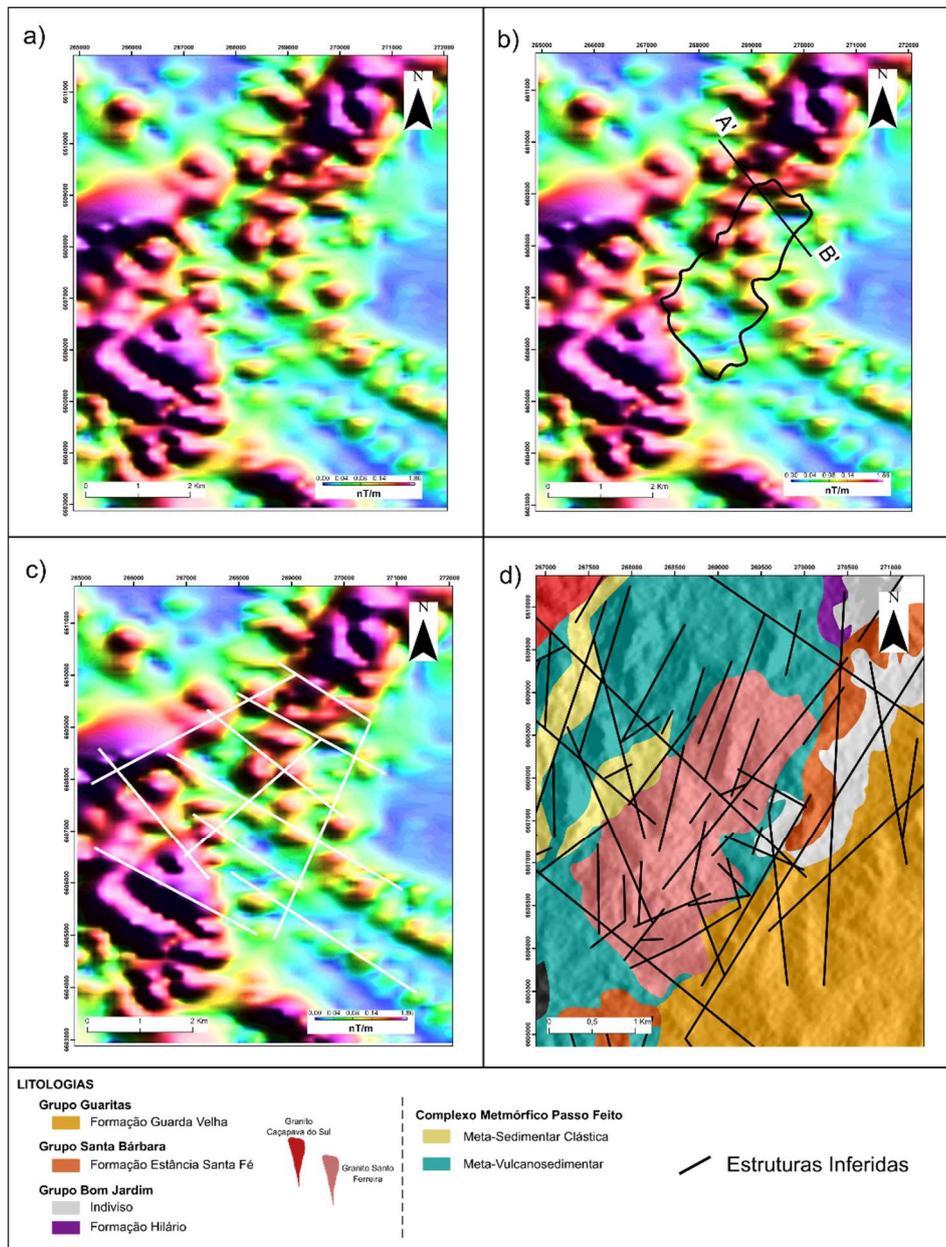
Figura 19. Composição de mapas magnéticos visualização do campo anômalo magnético total



Fonte: Autora.

Na figura (20) Em (a) Anomalias magnéticas utilizando a técnica de realce Amplitude do sinal analítico que possibilita realçar estruturas de fontes mais rasas causativas de anomalias magnéticas, nota-se que as anomalias apresentam direção preferencial NE. Em (b) Nota-se que a porção NW e porção central do Granito Santo Ferreira apresentam maiores valores de anomalias. Em (c) principais lineamentos que marcam as anomalias magnéticas. Em (d) tem-se os lineamentos regionais delimitados com o modelo digital de terreno Alos Palsar sobrepostos em mapa geológico da área de estudo.

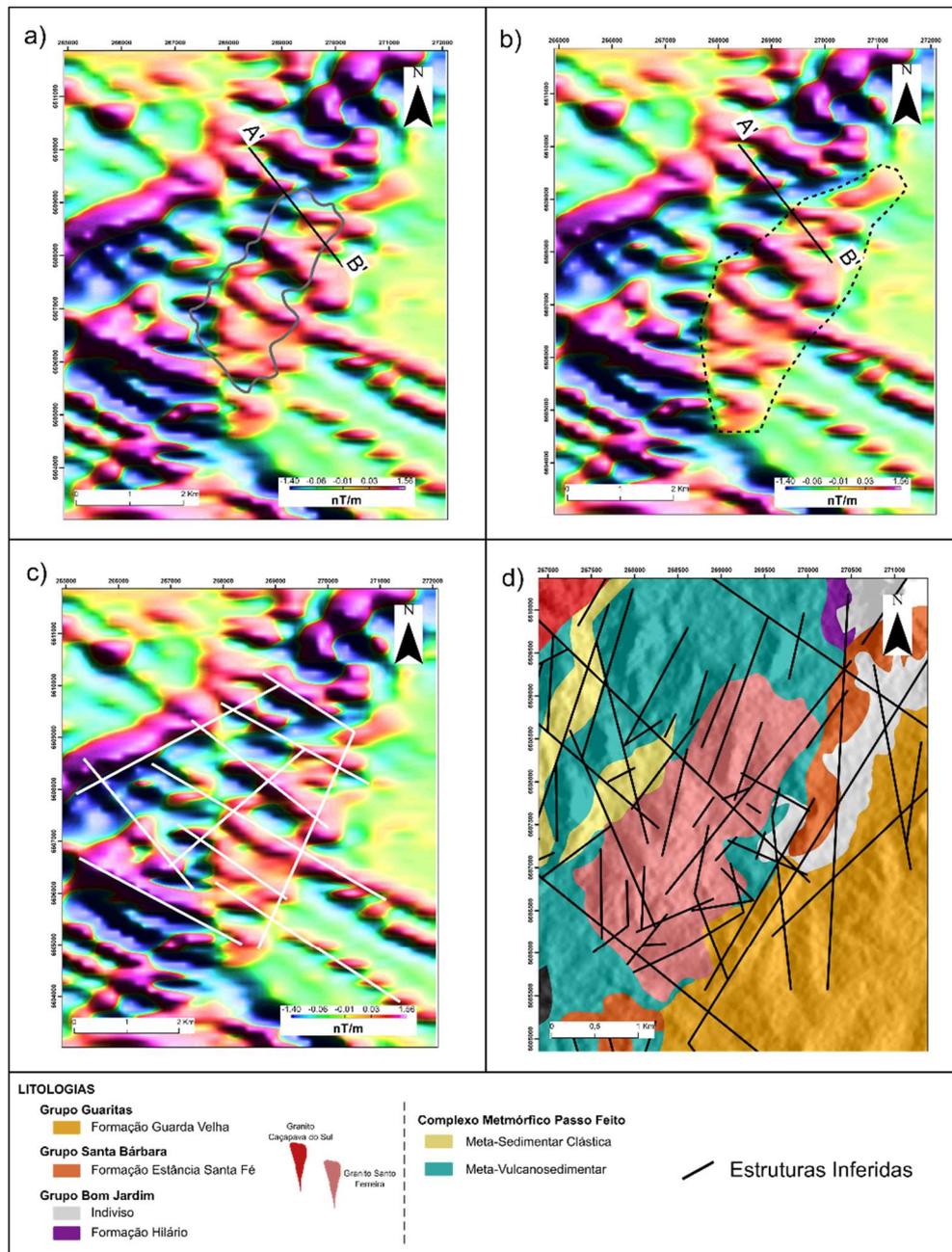
Figura 20. Composição de mapas magnéticos com a técnica de realce amplitude do sinal analítico



Fonte: Autora.

Na figura (21) Em (a) Anomalias magnéticas utilizando a técnica de realce primeira derivada que possibilita localizar fontes mais profundas causativas de anomalias magnéticas, nota-se que as anomalias apresentam direção preferencial NE e NW. Em (b) Evidencia região com anomalia magnética que coincide com a localização do Granito Santo Ferreira. Em (C) principais lineamentos que marcam as anomalias magnéticas. Em (d) tem-se os lineamentos regionais delimitados com o modelo digital de terreno Alos Palsar sobrepostos em mapa geológico da área de estudo.

Figura 21. Composição mapas magnéticos com a técnica de realce primeira derivada vertical



Fonte: Autora

## 8.4 Gravimetria

A partir dos dados adquiridos ao longo do Perfil A – B, valores da Anomalia Bouguer calculada e respectivos processamentos e técnicas de realce, foram gerados os perfis e mapas dos seguintes produtos:

- Mapa dos valores da Anomalia Bouguer Continuação para cima (200m);
- Mapa da Primeira Derivada Vertical dos valores da Anomalia Bouguer;

- Mapa da Segunda Derivada Vertical dos valores da Anomalia Bouguer;
- Mapa dos Resíduos da anomalia Bouguer – valores de Continuação para Cima (200m) subtraídos da Anomalia Bouguer.

#### **8.4.1 Análise das anomalias gravimétricas observadas**

Conforme observado na figura (22), o Perfil Gravimétrico A-B apresenta os seguintes resultados:

a) Anomalia Bouguer:

Valores variam de 1.11 a 3.84 mGal evidenciando um domínio de valores mais altos concentrado no limite NW (A) do perfil. No limite SE (B) observa-se um domínio de valores mais baixos de 1.95 mGal. Entre estes dois domínios um alto gradiente localizado a 1.600 metros de A' (centro do perfil). Valores de menor amplitude encontram-se localizados isoladamente correspondendo a estruturas e contatos litológicos associados.

b) Valores da Continuação para cima 200m:

Este sinal está relacionado com fontes mais profundas. Um domínio de valores mais altos está concentrado na borda NW (A'). O centro do perfil o sinal apresenta valor aproximado de -0.81 mgal e depois o perfil apresenta outro domínio de valores próximos a 5.0 mgal. Depois do pico a anomalia fica próxima de 1.0 mgal e a medida que se aproxima de B' em SE o sinal começa a apresentar valores próximos de 4.0 mgal.

c) Valores da Primeira Derivada Vertical da Anomalia Bouguer:

Da estação 1 a 55 variam de -0.02 a 0.02 mgal. É um filtro que realça altas frequências e as baixas frequências associadas as fontes profundas são suprimidas. O meio do perfil é caracterizado por sinal baixo de -0,02 mgal, mas logo após o perfil apresenta um pico com o maior valor de anomalia registrado em todo perfil equivalente a 0.02 mgal. É possível perceber a NW próximo de (A') no perfil dois domínios com valores da anomalia próximos de 0.005 mgal. Próximo de (B') é possível perceber outro domínio com valores de anomalia de 0.002 mgal.

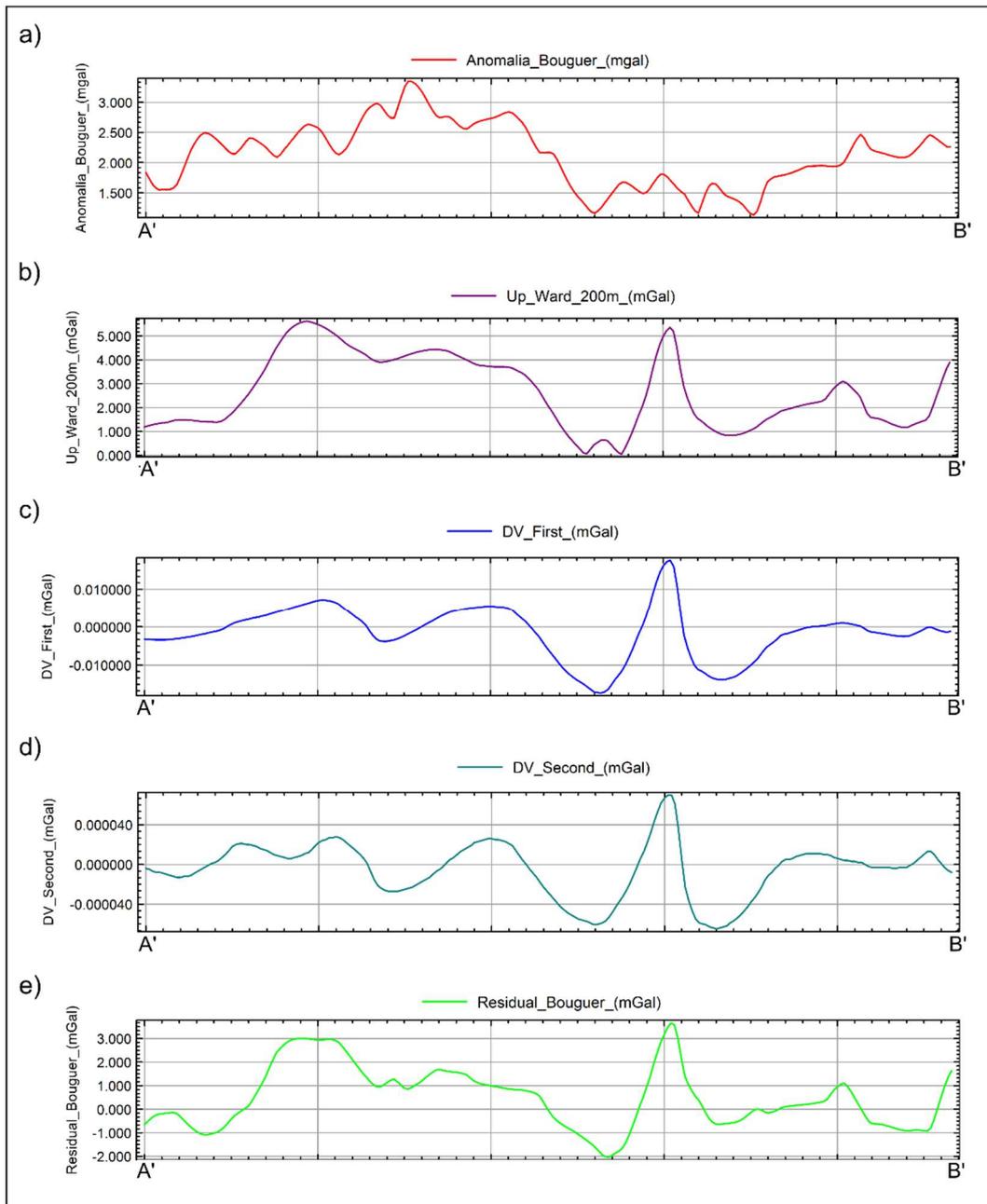
d) Valores da Segunda Derivada da Anomalia Bouguer:

Da estação 1 a 55 variam de -0.0001 a 0.0001. O filtro da derivada vertical busca realçar as altas frequências, a segunda derivada tende a realçar mais as altas frequências que o filtro da primeira derivada vertical. Nota-se no centro do perfil o pico com valores de anomalia equivalentes a 0.0001 mgal. No sentido NW aproximando-se de A' existem três domínios com valores de 0.00002 mgal. No sentido SE aproximando-se de (B') nota-se outro domínio valores próximos de 0.00001 mgal.

e) Valores dos resíduos da Anomalia Bouguer:

Da estação 1 a 55 variam de -2.52 a 3.75 mgal. Neste perfil nota-se que o maior pico tem valor de 3.75 mgal. Próximo de A' no sentido NW tem-se outro pico com valor de 3.00 mgal. Aproximando-se de B' no sentido SE tem um domínio com valor de 1.00 mgal.

Figura 22. Perfil gravimétrico A-B.



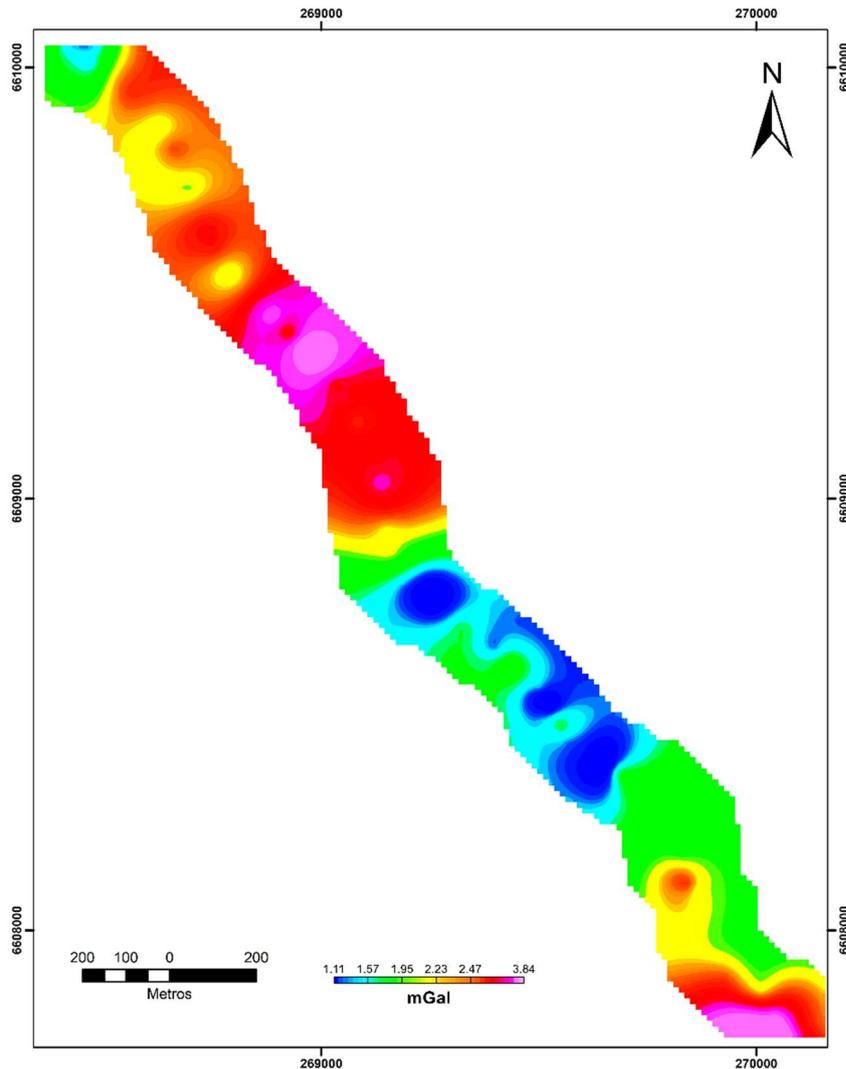
Fonte: Autora.

#### 8.4.2 Mapas Gravimétricos

A partir dos perfis de sinal geofísico abordados no tópico anterior foram gerados mapas de isovalores para cada processamento. A visualização em planta facilita a análise e correlação com os dados de superfície.

No mapa de Anomalia Bouguer da Figura 23 os valores mais altos estão localizados a NW, variando de 2.23 mGal a 3.84 mGal. No centro do perfil os valores apresentados são os mais baixos do levantamento de 1.11 mGal a 1.95 mGal. A SE do mapa observa-se uma concentração de valores altos próximos de 3.84 mGal.

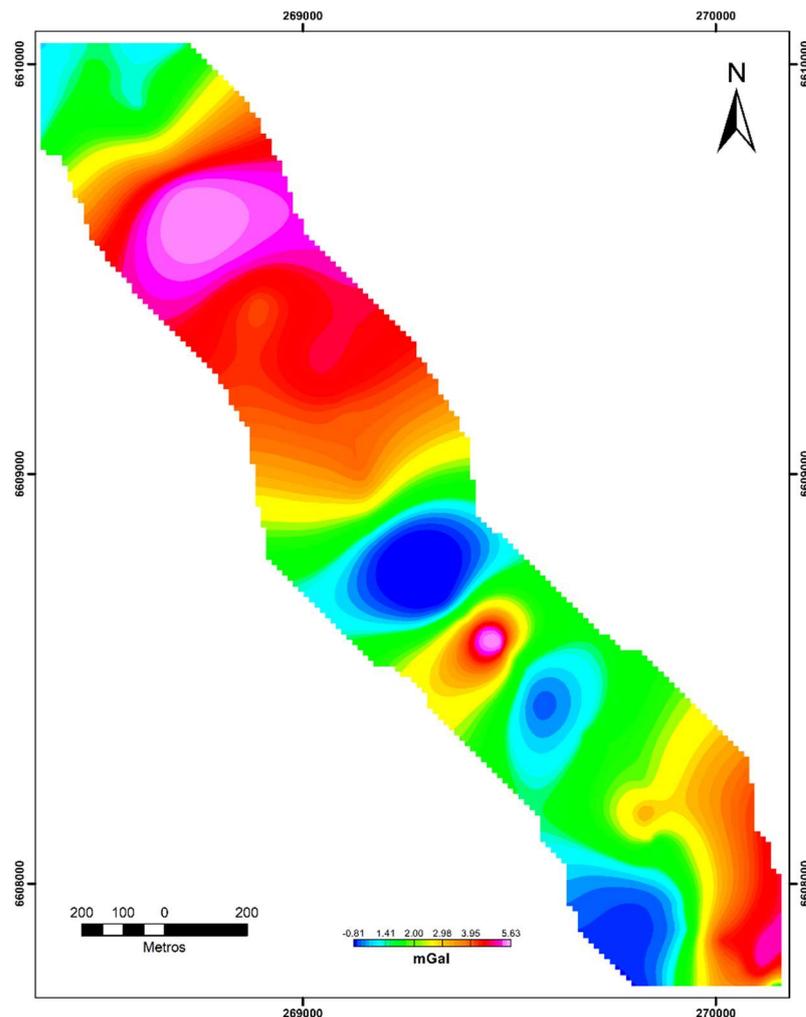
Figura 23. Mapa dos valores de Anomalia Bouguer.



Fonte: Autora.

No mapa de valores da continuação para cima (200 metros), figura 24, observa-se uma concentração de valores altos de 2.98 a 5.63 mGal a NW do perfil. No centro nota-se uma concentração alta de 3.95 a 5.63 mGal com poucas centenas de metros. Na porção SE o mapa apresenta valores de 2.98 a 5.63 mGal.

Figura 24. Mapa da continuação para cima (200 metros) dos valores de anomalia bouguer.

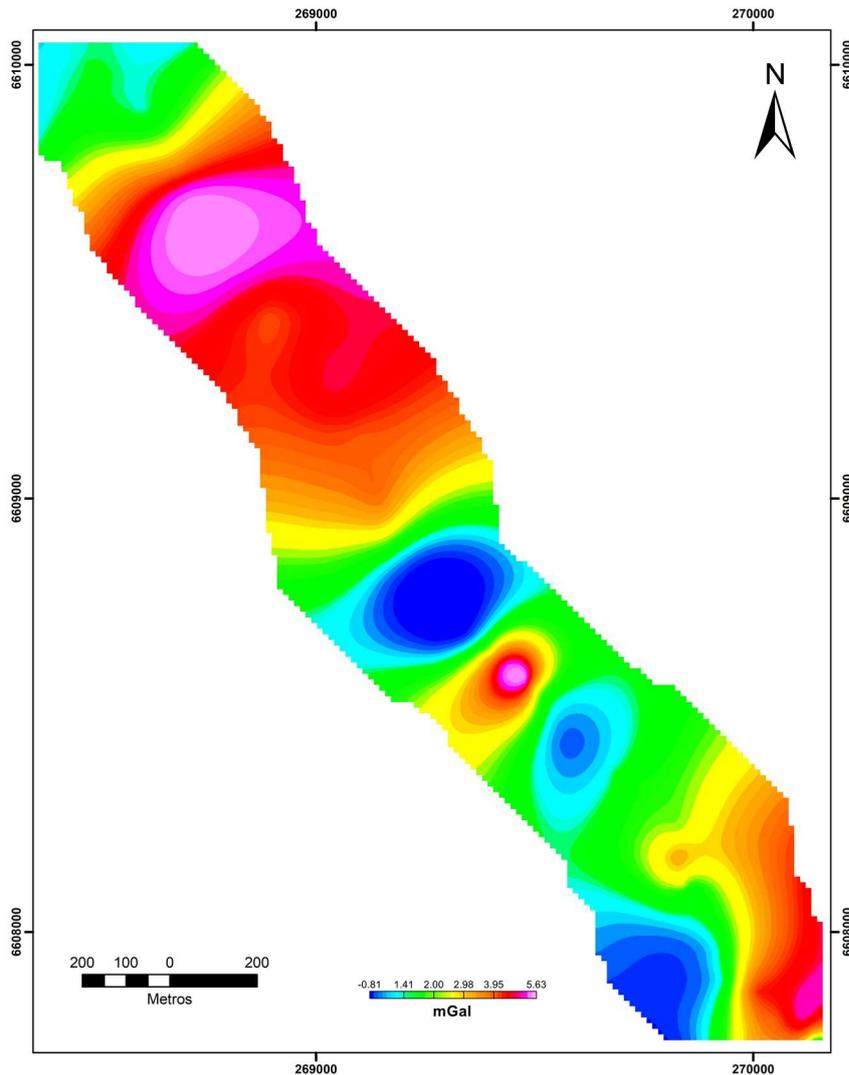


Fonte: Autora.

No mapa de valores da Primeira Derivada Vertical da Anomalia Bouguer, figura 25, nota-se a NW uma concentração de valores altos na faixa de 0.00 a 0.02 mgal e ao meio desta concentração fica evidente uma concentração de valores menores na faixa de -0.00.

No centro do mapa é muito evidente uma concentração de valores altos na faixa de 0.00 a 0.02 mgal. Do centro em direção a SE nota-se valores mais baixos na faixa de -0.02 a 0.00, próximo de (B') há uma concentração de valores altos na faixa de 0.00 a 0.02.

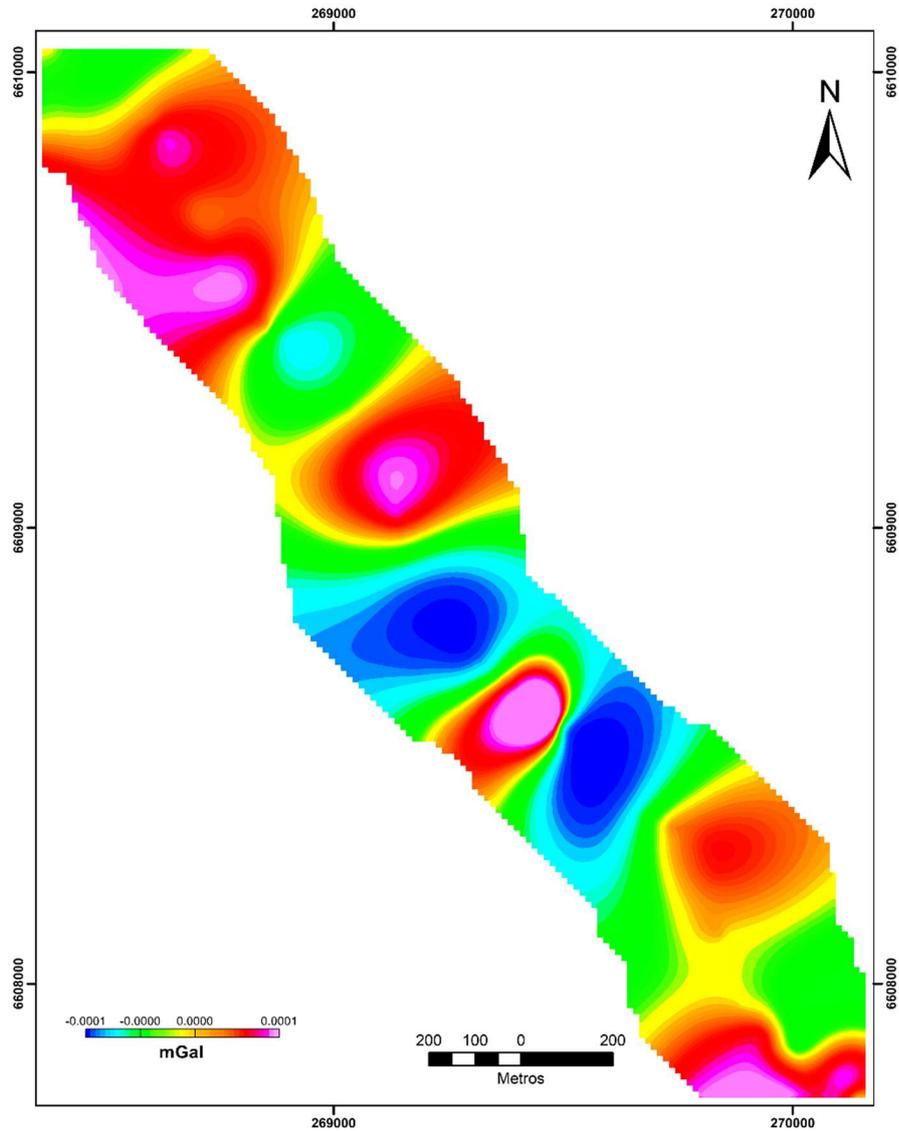
Figura 25. Mapa dos valores da primeira derivada da anomalia bouguer na vertical.



Fonte: Autora.

No mapa de valores da segunda Derivada Vertical da Anomalia Bouguer da figura 26, nota-se a NW duas grandes concentrações de valores altos na faixa de 0.0000 a 0.0001 mGal separadas por uma concentração menor na faixa de -0.0000. No centro do perfil tem um domínio de valores altos na faixa de 0.0001 mGal. Próximo de B' a SE nota-se dois domínios na faixa de 0.0000 a 0.0001 mGal.

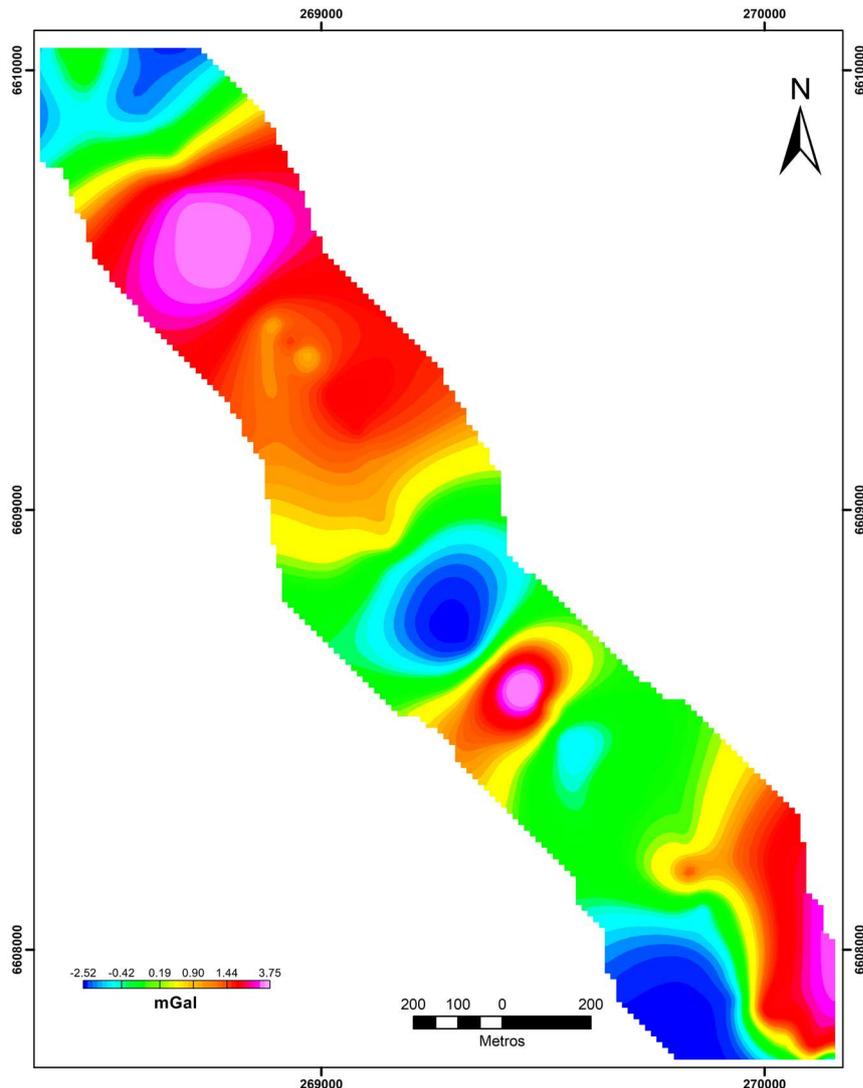
Figura 26. Mapa dos valores da segunda derivada da anomalia bouguer na vertical



Fonte: Autora.

No mapa Valores dos resíduos da Anomalia Bouguer (Figura 27), pode-se observar a NW um domínio de valores altos na faixa de 0.90 a 3.75 mgal. No centro nota-se um domínio de 3.75 mgal. Do centro em direção a SE tem-se um domínio de valores baixos na faixa de -0.42 a 0.19. Próximo de B' em SE observa-se um domínio na faixa de 1.44 a 3.75 mgal.

Figura 27. Mapa dos valores de resíduo da anomalia bouguer.



Fonte: Autora.

## 9. INTEGRAÇÃO DOS DADOS, ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO

A partir das informações geológicas, modelo de terreno (topografia), perfis geofísicos e mapas foi realizado a integração a partir da geração de perfis geológico-geofísicos para análise e a fim de se atender os objetivos propostos do trabalho.

**Valores da Anomalia Bouguer:** Observa-se no perfil geológico forte controle estrutural, principalmente por estruturas NE de alto ângulo de mergulho. Nota-se que a Anomalia Bouguer apresenta um valor máximo de 2.5 mGal na porção do perfil situada a 1.176 metros de A' e valores menores de 1.5 a 2.0 mGal a 1.896 metros de A'. Conforme apresentado no Apêndice 1, o Ponto 5 descrito no estudo apresenta

ocorrência do mineral hematita concentrado ao longo das estruturas. No mapa dos valores da Anomalia Bouguer observou-se domínio de 3.0 mGal. Para efeito de melhor visualização adotou-se para o perfil apresentado um exagero vertical de 3x conforme figura (28).

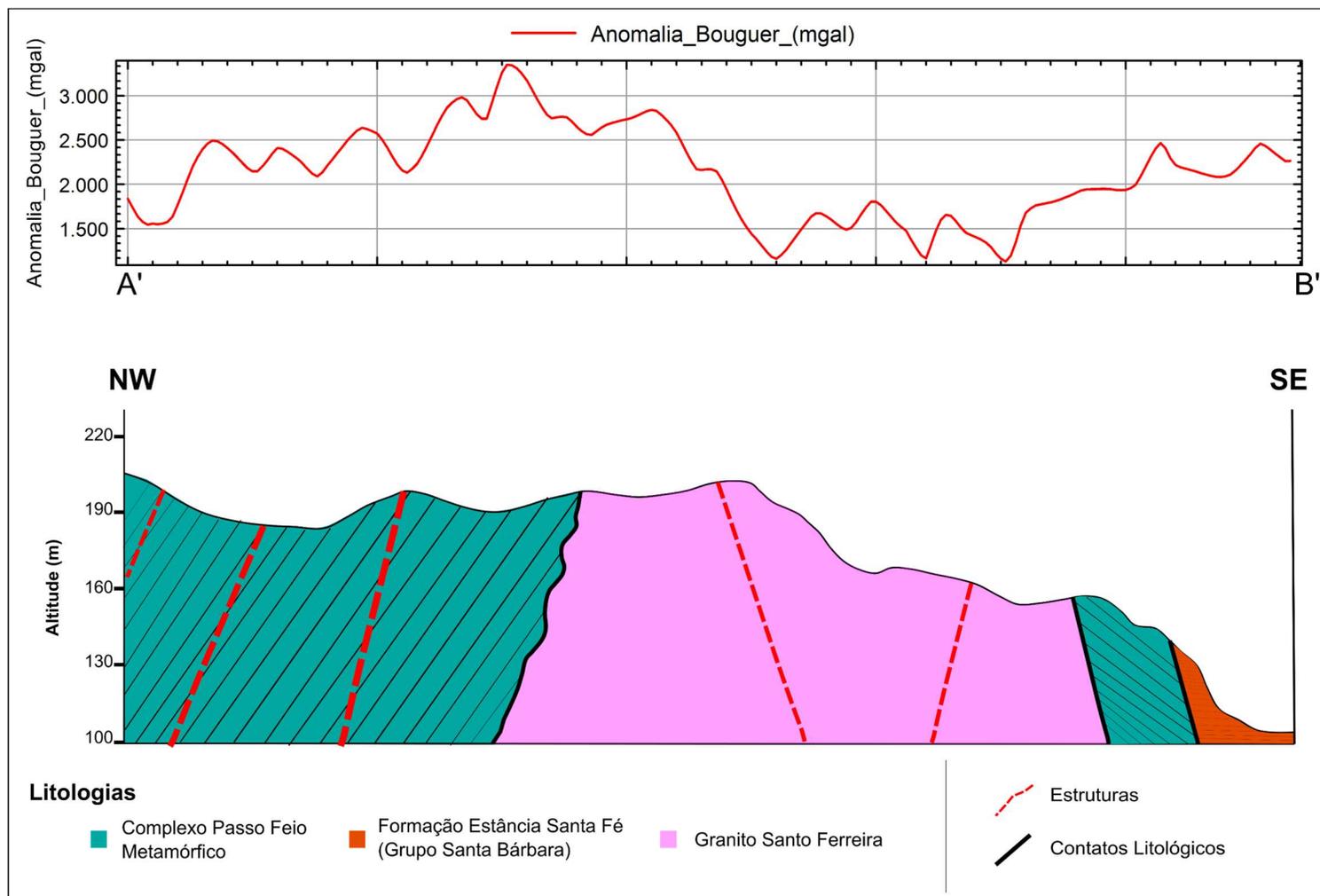
**Valores de continuação para cima (200 metros):** Na figura 29, observa-se que o pico da anomalia coincide com as regiões com controle estrutural NNE, NE. Este filtro evidencia fontes profundas, observando perfil geológico e mapa as estruturas continuam em sub superfície. Da estação 1 a 55 variam de -2.52 a 3.75 mgal. Neste perfil nota-se que o maior pico tem valor de 3.75 mgal.

**Valores da primeira derivada da anomalia bouguer:** Na figura (30) observando o perfil geofísico, quando correlacionado com o perfil geológico nota-se que o controle estrutural NE também ocorre em sub superfície e está diretamente ligado com as mudanças abruptas no sinal gravimétrico.

**Valores da Segunda Derivada da Anomalia Bouguer:** Na figura (31) o perfil de valores da Segunda Derivada da Anomalia Bouguer, quando correlacionado com o perfil geológico acentua ainda mais as estruturas encontradas em sub superfície.

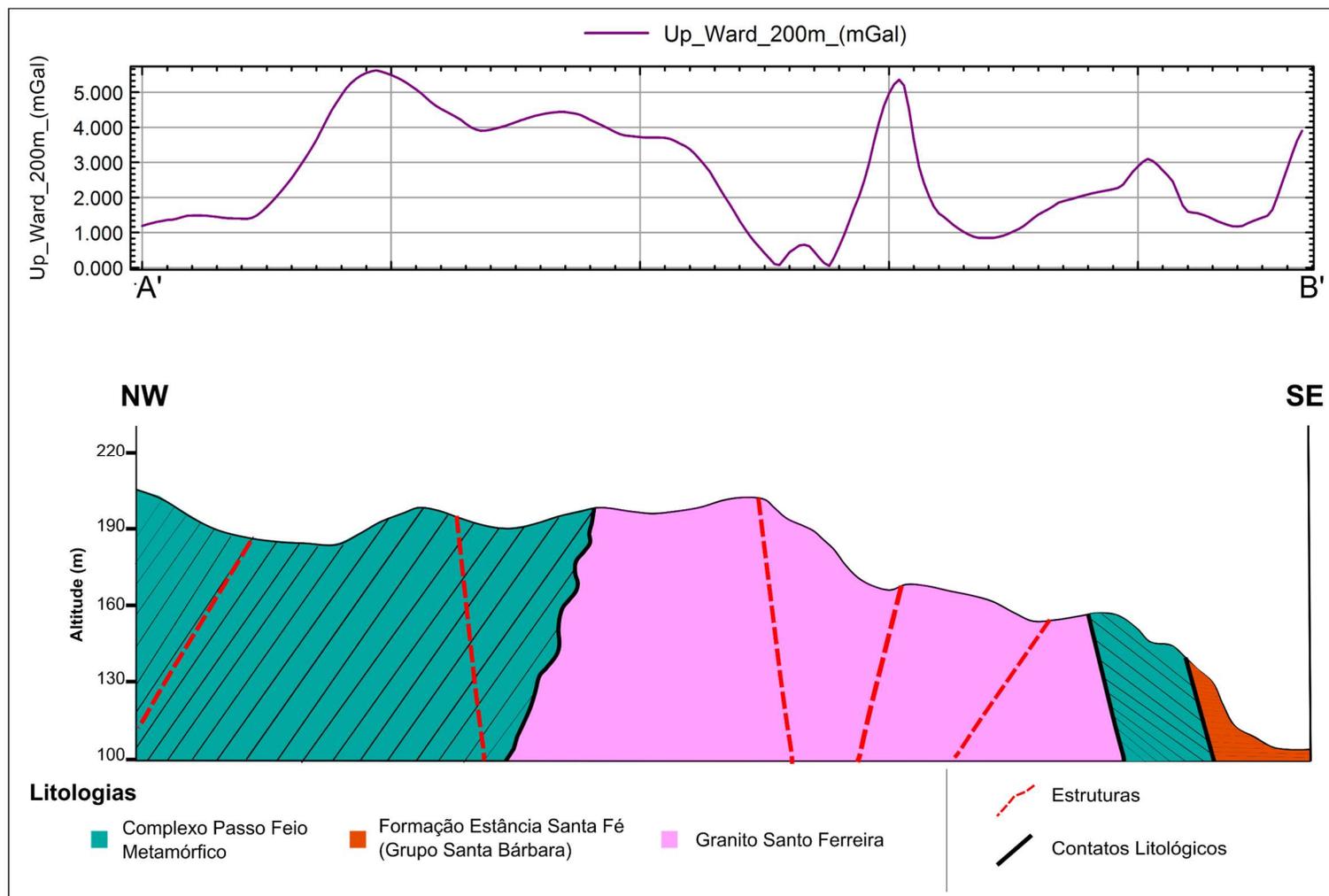
**Valores Residuais da Anomalia Bouguer:** Na figura (32) também foi possível identificar o forte controle estrutural NE. Da estação 1 a 55 os valores variam de -2.52 a 3.75 mgal. Neste perfil nota-se que o maior domínio anômalo tem valor de 3.75 mgal. Próximo de A' no sentido NW tem-se outra anomalia com valor de 3.00 mgal. Aproximando-se de B' no sentido SE tem um domínio com valor de 1.00 mgal.

Figura 28. Perfil lito-geofísico A-B apresentando a integração das litologias, estruturas principais e valores da anomalia Bouguer.



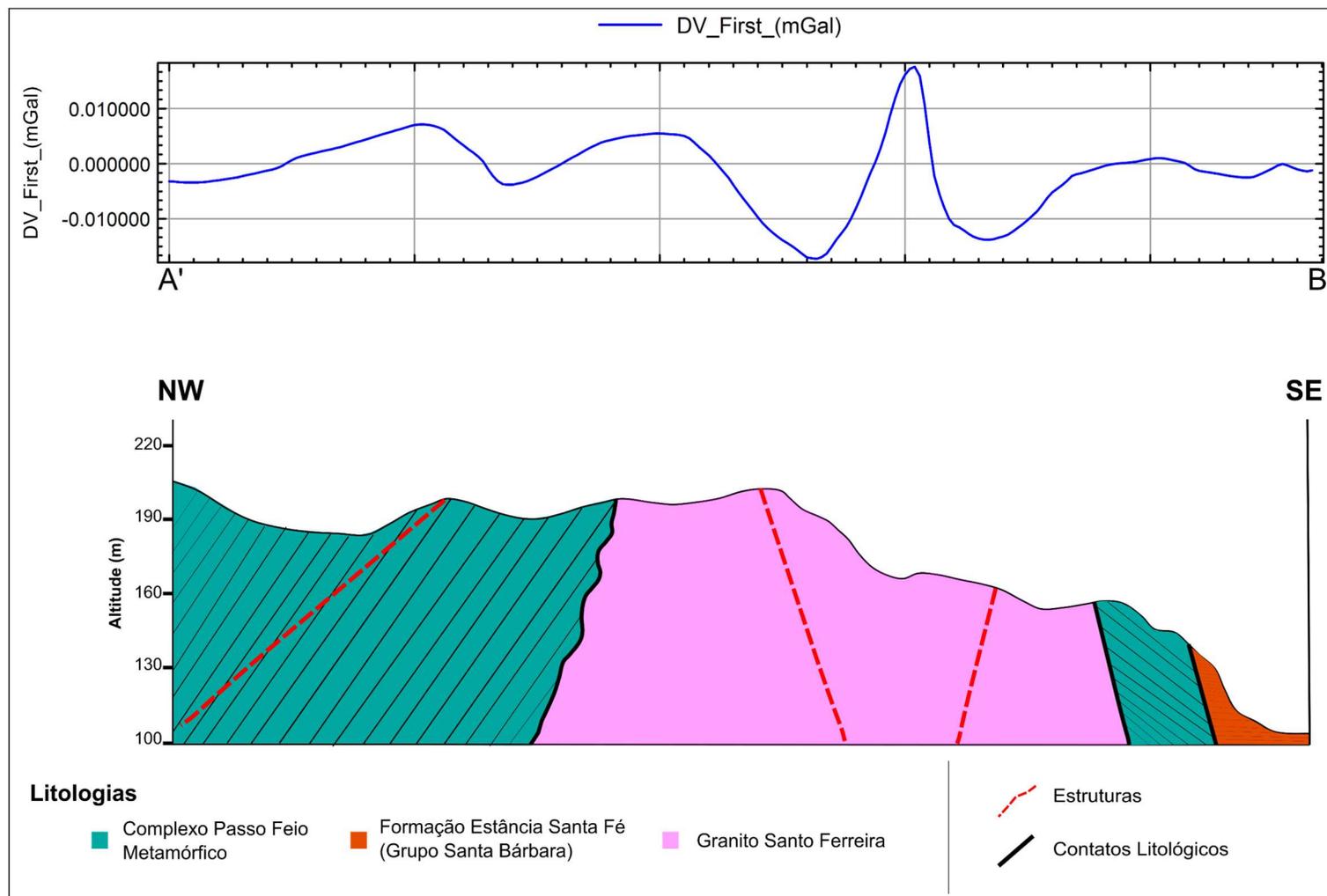
Fonte: Autora

Figura 29. Perfil geofísico e geológico, valores de continuação para cima (200 metros) a anomalia bouguer



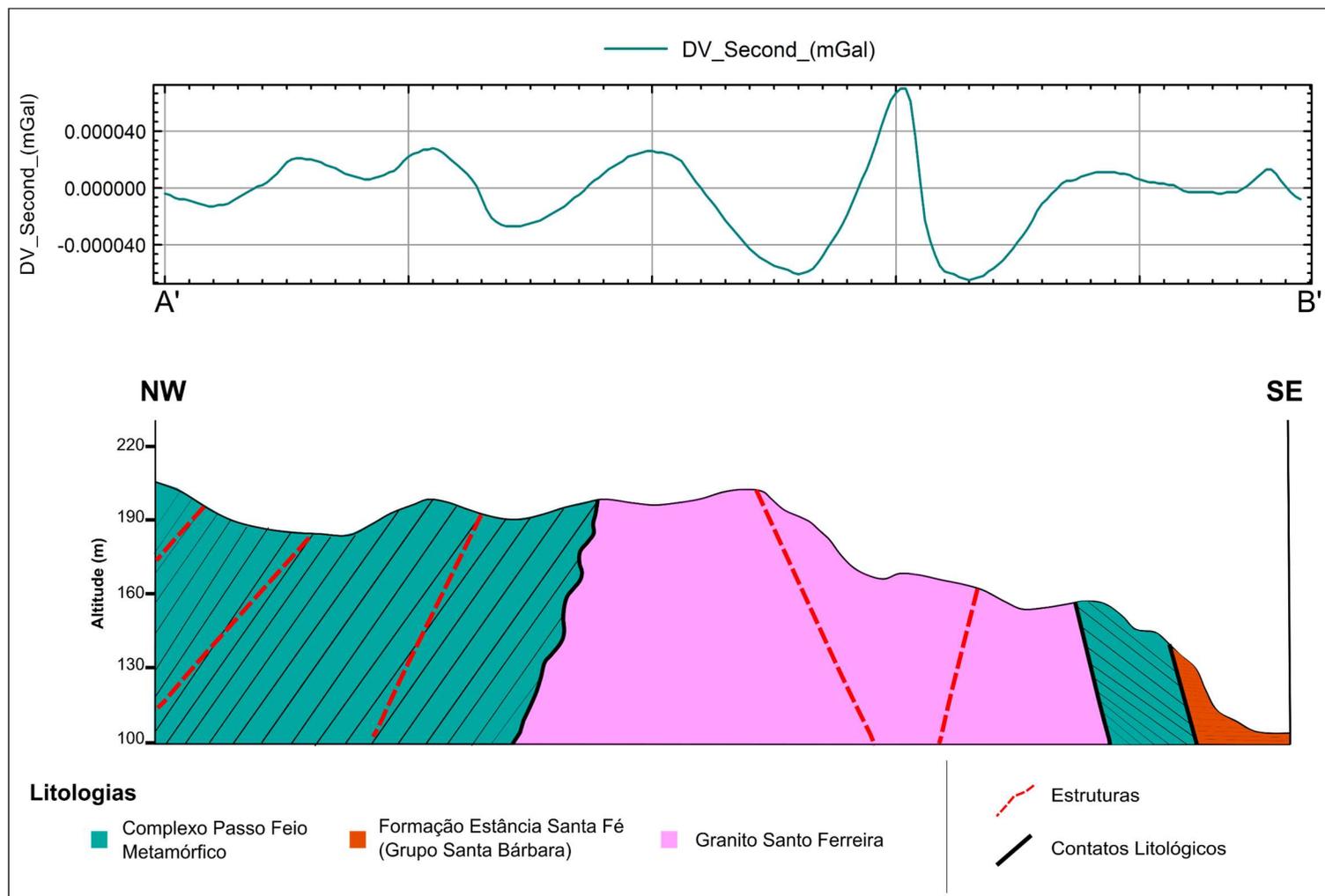
Fonte: Autora

Figura 30. Perfil geofísico e geológico, valores da primeira derivada da anomalia bouguer



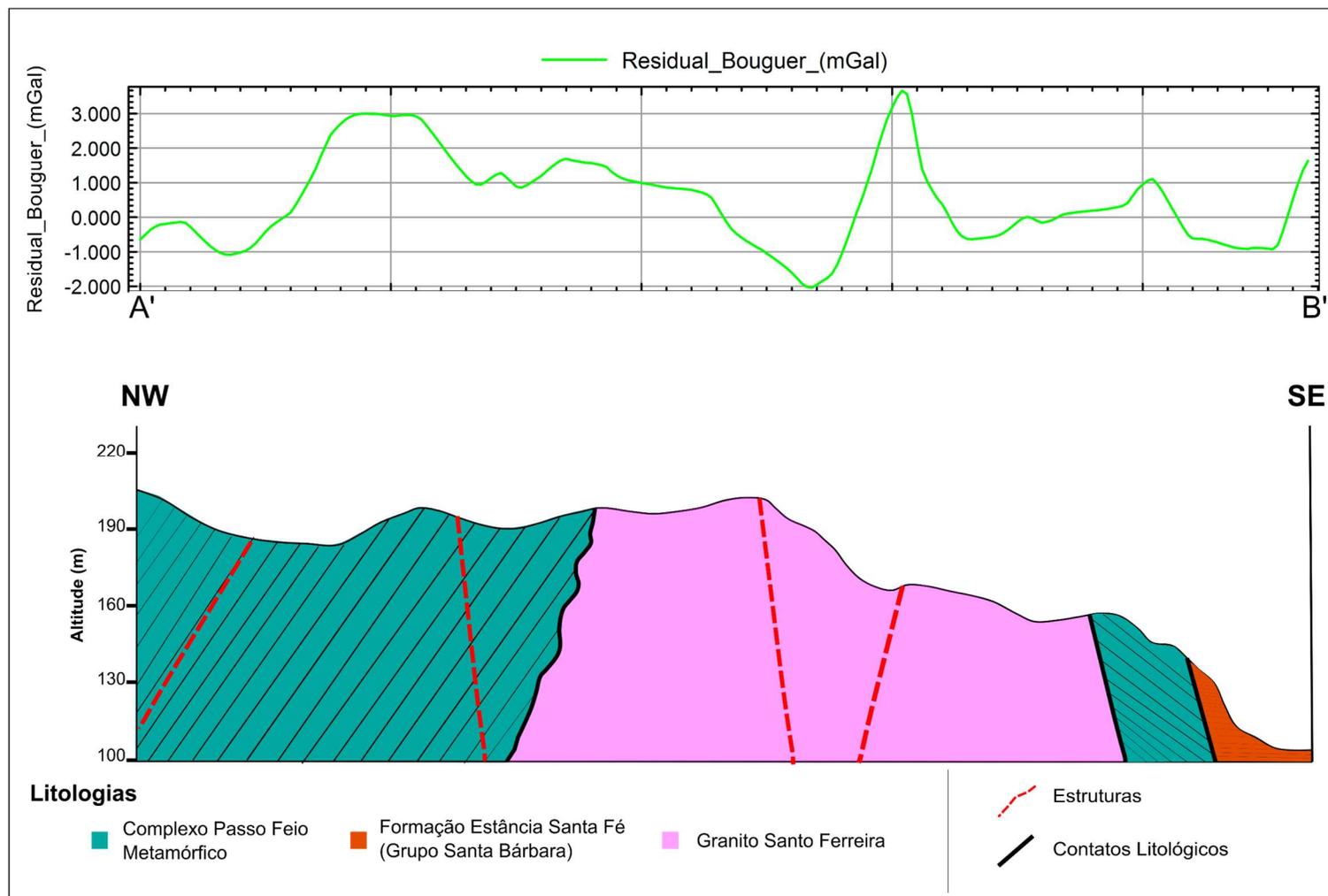
Fonte: Autora

Figura 31. Perfil geofísico e geológico, valores da segunda da anomalia bouguer



Fonte: Autora

Figura 32. Perfil geofísico e geológico, valores do resíduo da anomalia bouguer



Fonte: Autora.

Comparando os mapas aerogeofísicos magnéticos com os perfis de Gravimetria terrestre nota-se que para o filtro primeira Derivada vertical de para ambos, as bordas do perfil apresentam valores mais magnéticos na faixa de 0.03 nT/m a 1.56 nT/m e coincidem com as regiões mais densas realçadas por esse filtro nessas regiões os valores estão na faixa de 0.00 mGal a 0.02 mGal. A anomalia gravimétrica do centro do perfil não é ressaltada no mapa magnético provavelmente devido a escala do levantamento magnético ser regional. O mesmo ocorre para o sinal do campo anômalo magnético que apresenta valores mais altos nas bordas a SE apresenta valores na faixa de -0.59 nT e a NW valores mais próximos de 46.45 nT. O sinal de amplitude do sinal analítico resalta a parte NW do perfil. Os lineamentos regionais NE e NW correspondem com as principais anomalias magnéticas.

Comparando os mapas aerogeofísicos gamaespectométricos com os mapas e perfil geológico as regiões muito ricas em K correspondem a região do Granito Santo Ferreira e cobertura sedimentar que aflora próximo B' na região SE do perfil. O elemento urânio também marca a região correspondente ao granito Santo Ferreira. As regiões mais ricas em Th seguem direção NE e marcam a borda do granito.

## **10. DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O reconhecimento em subsuperfície das litologias e estruturas associadas (arcabouço) é muito importante na caracterização e estudos direcionados a diversas propostas (exploração mineral, tectônicos, geotécnicos e ambientais). Para tal, a gravimetria é um método geofísico reconhecido na identificação de contrastes da densidade dos corpos e descontinuidades associadas.

A geofísica terrestre em escala de detalhe associada a integração com dados aerogeofísicos e geológicos prévios forneceu importantes subsídios qualitativos e, também semi quantitativos (definição dos corpos, estruturas e estimativas de profundidade associadas) a partir do perfil realizado.

Além disso, foi possível concluir, a partir deste estudo que o Granito Santo Ferreira, para a porção do perfil realizado (NE), possui dois marcantes domínios com distintos valores anômalos para os dados da anomalia Bouguer, Continuação para Cima (200 metros), Resíduos e 1<sup>a</sup>. e 2<sup>a</sup>. Derivada Vertical. Sugere-se, portanto, uma estrutura regional NE em sub superfície seccionando o corpo e causando, desta

forma, a intrusão do material magmático em diferentes “pulsos” ou “bolsões” corroborados pela contrastante anomalia apresentada. Outros valores das anomalias gravimétricas apresentadas possuem provável correlação com as rochas metamórficas do Passo Feio.

A análise das informações geofísicas juntamente com os dados aerogeofísicos possibilitou identificar anomalias magnéticas com uma direção preferencial NE. Isto se deve a provável proximidade da Sutura de Caçapava do Sul que se localiza a leste da área de estudo (Costa et al 1995 b). As anomalias gamaespectrométricas possuem para os elementos K e eU anomalias contrastantes que delimitam de forma muito precisa os limites do Granito Santo Ferreira considerando-se que a composição mineralógica com predomínio de feldspato potássico (alcalino) está diretamente relacionado a estes valores anômalos. Para o elemento Tório, considerando-se a análise apenas nos limites da área estudada, são observadas anomalias com uma direção preferencial NE ao longo do limite NW do granito. A proximidade com as rochas metamórficas dessa faixa visivelmente contrastante e as litologias (mica-xistos da Formação Passo Feio) são os elementos associados a esse contraste de Tório. Altas concentrações são também visíveis ao longo da região do perfil gravimétrico com significantes concentrações nos limites NW e SE do perfil (porções inicial e final) sendo essas anomalias atenuadas no centro do mesmo.

A análise do perfil gravimétrico a partir dos valores da anomalia Bouguer com os valores continuados para cima em 200 metros (*UpWard continuation*) e respectivas anomalias observadas sugere que estas não possuem relação com as ocorrências localizadas do mineral hematita considerando que este possui alta densidade (5,18 g/cm<sup>3</sup> conforme apresentado na Tabela 2). Considerando que o artifício da continuação para cima elimina as frequências associadas a fontes rasas (altas frequências) sugerindo que a ocorrência da litologia com significativa concentração de hematita (Ponto 5 – vide Apêndice 1) está concentrada em níveis rasos (poucos metros) e localizada. Para tal, estudos de detalhe a partir de outros métodos e abordagens são sugeridos.

Os mapas e perfis dos valores de resíduos da anomalia Bouguer são evidências de estruturas e descontinuidades apresentadas ao longo do perfil. Estas características sugerem o uso de outros métodos geofísicos, realização de perfis e maior adensamento de medidas gravimétricas nesta porção NE do Granito Santo Ferreira. Propõe-se, também, a fim de se conhecer a articulação de todo o corpo

intrusivo, perfis adicionais longitudinais aos limites da ocorrência em superfície (direção NE – SW) e limites externos para um melhor entendimento do contexto geológico, estrutural e mineral da área.

## 11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F. F. M., HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B & FUCK, R. A. 1981. **Brazilian Strucural Provinces: an introduction**. Earth Science Rewiews, vol. 17, pág. 1-29, abril 1981.

ALMEIDA, R. P. **Tectônica e sedimentação do Ediacarano ao Ordoviciano: exemplos do Supergrupo Camaquã (RS) e do Grupo Caacupé (Paraguai Oriental)**. Tese de doutoramento. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ALEXANDRINO, C.H. e HAMZA, V. M. **Estimates of heat flow and heat production and a thermal model of the São Francisco Craton**. Int. J. Earth Sci. (Geol Rundsch), v. 97, p. 289-306, 2008.

BARROSO I. **Estudo gravimétrico na delimitação do arcabouço geológico-estrutural do depósito polimetalico Santa Maria- RS**. Trabalho de conclusão do curso. Universidade Federal do Pampa, 2018.

BELLO M.A, **Avaliações comparativas de filtros espaciais de contatos geológicos com contrastes de densidades e suscetibilidades magnéticas**. Trabalho de conclusão do curso. Universidade Federal Fluminense, 2014.

BITENCOURT, M.F. **Metamorfitos da região de Caçapava do Sul, RS: Geologia e relações com o corpo granítico**. In: Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, 1983, Porto Alegre. Anais...Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia, 1983.

BRIGGS, IAN C. **Machine Contouring Using Minimum Curvature**. - GEOPHYSICS, February 1974, Vol. 39, No. 1: pp. 39-48.

BRIONES.B.A, **Análise do posicionamento DGPS baseado nas ERDGPS implantadas no litoral brasileiro / tese de mestrado**, Universidade Federal do Paraná, 104p, 1999.

CAMOZZATO, E; TONIOLO, J.A; LAUX, J.H. **Metalogênese do Cinturão Dom Feliciano e Fragmentos Paleocontinentais Associados (RS/SC)**. In: Metalogênese das Províncias Tectônicas Brasileiras. 2014.

CHEMALE JR, F. **Evolução Geológica do Escudo Sul-rio-grandense**. In: HOLZ, M.; DE ROS, L.F. Geologia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CIGO-UFRGS, V, 2000. p. 13-52.

COSTA, A.F.U.; RAMGRAB, G.E.; FERNANDES, L.A.D.; CAMOZZATO, E. 1995. **Compartimentação tectônica das associações de rochas pré-cambrianas do Escudo Sul-rio-grandense baseada em dados de magnetometria e gravimetria**. IN: Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 5. Gramado, 1995. Boletim de resumos Expandidos... Gramado, SBG. p.236-238.

COSTA A.F.U, PORCHER C.C, CAMOZZATO.E, RAMGRAB.G.E, KRAEMER G, TOMMASI.A, KOESTER.E, MENEGAT.R, FERNANDES.L.A.D. **Evolução tectônica do cinturão dom Feliciano no escudo sul rio grandense: parte 2- uma**

**contribuição a partir das assinaturas geofísicas.** Artigo. Revista Brasileira de geociências, 1995.

DICKSON, B. L.; SCOTT K. M. **Interpretation of aerial gamma-ray surveys – adding the geochemical factors.** Journal of Australian geology & geophysics, Austrália: v. 17. n. 2. p. 187-200. 1997.

FIGUEIREDO F.M.P; BORTOLUZZI A C, **Léxico Estratigráfico do Rio Grande do Sul.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1975.

FRIES, M.; MALAGUTTI, FILHO; DOURADO, J. C.; FERNANDES, M. A; **Gravimetric survey and modeling of the basement morphology in the sedimentary thickness characterization, NE portion of Paraná Sedimentary Basin - Brazil.** Brazilian Journal of Geology, v. 47, p. 1-12, 2017.

FRAGOSO-CESAR, A. R. S. **O Cráton Rio de La Plata e o Cinturão Dom Feliciano no Escudo Uruguaio-SulrioGrandense.** In: Congr. Bras. Geol., 31, 1980, Balneário Camboriú. Anais Balneário Camboriú: SBG, n.5, p. 2879-2892, 1980.

FRAGOSO-CESAR, A. R. S. **Tectônica de placas no Ciclo Brasiliani: as orogênicas dos cinturões Dom Feliciano e Ribeiro no Rio Grande do Sul. Universidade Federal de São Paulo (USP).** Tese de Doutorado, São Paulo: Inst. Geoc.-USP, 366p, 1991.

GILL, R. **Rochas e processos ígneos: um guia prático/** Robin Gill; tradução: Félix José Nonnenmacher; revisão técnica: André Weissheimer de Borba. Porto Alegre: Bookman, 427p, 2014.

GÕNI, J.C; GOSO.H; ISSLER, R.S. **Estratigrafia e geologia econômica do Pré Cambriano e Eo paleozoico Uruguaio e Sul Riograndense.** Porto Alegre: Escola de Geologia UFRGS, n.03, p105, 1962.

GUIMARÃES, S. N. P. e HAMZA, V. M. **Thermomagnetic features of crust in Southern parts of the structural provinces of Tocantins and São Francisco, Brazil.** ISRN Geophysics, v. 2013, 8 páginas, 2013.

HARALYI, N., L. E. e HASUI, Y. **The gravimetric information and the Archean-Proterozoic structural framework of eastern Brazil.** Revista Brasileira de Geociências, v. 12, n. 1-3, p. 160-166, 1982.

HARTMANN, L. A. & NARDI, L. V. S. **Os granitos Santo Afonso, Saibro e Vauthier da região do Arroio Santa Maria Chico, Dom Pedrito, RS.** Acta Geologica Leopoldensia, 6:153-178, 1982.

HARTMANN, L. A *et al.* 1999. **Deepest exposed crust of Brazil – SHRIMP establishes three events.** Geology, 27: 947-950.

HARTMANN L.A, PORCHER C.C, REMUS M.V.D. **Evolução das rochas metamórficas do rio Grande do Sul. Geologia do Rio Grande do Sul**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.

HARTMANN, L. A.; CHEMALE JR, F.; PHILIPP, R. P. **Evolução Geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano**. In: IANUZZI, R.; FRANTZ, J. C. In: 50 anos de Geologia: Instituto de Geociências. Contribuições. Porto Alegre: Comunicação e Identidade, CIGO e IG-UFRGS, 2007. 399 p.

HOFMANN WELLNHOF. B; LICHTENEGGER .H; COLLINS .J **GPS: Theory and practice**. 5. ed (revised). New York: Springer Verlag Wien, 2001.

KEAREY P, BROOKS M, HILL I, **Geofísica de Exploração** / tradução Maria Cristina Moreira Coelho. São Paulo: Oficina de textos, 2009.

LEINZ, V.; BARBOSA, A.; TEIXEIRA, E. **Mapa Geológico Caçapava-Lavras**. Porto Alegre: Secr. Agric. Ind. Com. Dep. Prod. Min, 1941. Boletim 90. 1:200.000.

LESQUER, A., ALMEIDA, F.F.M., DAVINO, A., LACHAUD, J.C., MAILLARD, P. **Signification structurale des anomalies gravimetriques de la partie Sud du Craton de São Francisco (Brasil)**. Tectonophysics, v. 76, p. 273- 293, 1981.

LI X. **Understanding 3D analytic signal amplitude, Geophysics**, vol 71, nº2, 2006.

LUIZ, J.G; SILVA M.C. **Geofísica de Prospecção**, Belém, Universidade Federal do Pará, 300p, 1995.

NABIGHIAN, M. N., 1972. **The analytical signal of 2D magnetic bodies with polygonal cross-section: Its properties and use for automated anomaly interpretation**. Geophysics. vol. 37.

NARDI, L.V.S. & BITENCOURT, MF. **Geologia, petrologia e geoquímica do Complexo Granítico de Caçapava do Sul, RS**. Revista Brasileira de Geociências, :153-169. 1989.

MACHADO, N. B. **Geologia e paragênese mineral das mineralizações no Granito Santo Ferreira, Sudeste de Caçapava- RS/ Bruno Nunes Machado Trabalho de conclusão do curso**. 89 p.2017.

MARANGONI, Y. R. e MANTOVANI, M. S. M. **Geophysical signatures of the alkaline intrusions bordering the Paraná Basin. Journal of South American Earth Sciences**, v. 41, p. 83-98, 2013.

MARJORIBANKS R, **Geological methods in mineral exploration and mining**, second edtion, Springer- verlag Berlim Heidelberg 1997, 2010.

MILLIGAN R.P, GUNN J.P, 1997 **Enhancement and presentation of airborne geophysical data**. Jornal of australian geology e geophysics.

MOLINA; E.C, USSAMI, N., **The geoid in southern Brazil and adjacent regions: new constraints on density distribution and thermal state of the lithosphere.** *J. of Geodynamics*, 28, 357-374. 1999.

OLIVEIRA, N. V., ENDO, I., BLITZKOW, D. **Interpretation of the geomagnetic anomalies in the São Francisco Craton region based on CHAMP mission data.** *Rev. Bras. de Geofísica*, v. 30, n. 1, p. 93- 101, 2012.

PAIM, P. S. G.; CHEMALLE JR, F., WILDNER, W. **Estágios evolutivos da bacia do Camaquã.** *Revista Ciência e Natura*. Santa Maria: 2014, n.36, p. 183-193. 2014.

PHILIPP. P.R; MACHADO R; CHEMALE F.J. **A geração dos granitoides Neoproterozóicos do Batólito Pelotas: Evidências dos Isótopos de Sr e Nd e Implicações para o crescimento continental da Porção Sul do Brasil.** In: IANUZZI, R.: FRANTZ, J. C. In: 50 anos de Geologia: Instituto de Geociências. Contribuições. Porto Alegre: Comunicação e Identidade, CIGO e IG-UFRGS, 2007. 399 p.

PHILIPP P.R, PIMENTEL M.M, CHEMALE F.J, **Evolução tectônica do cinturão Dom Feliciano no sul do Brasil: relações geológicas e geocronologia U-Pb.** *Artigo*. *Brazilian Journal of geology*, junho, 2016.

RIBEIRO, M. **Geologia da Folha de Bom Jardim, Boletim Div. Geol. Min. Bras, Rio de Janeiro: 1970, n.247 , p. 1-142, junho de 1970.**

RIBEIRO M.; FANTINEL, L.M. **Associações Petrotectônicas do Escudo Sul-Riograndense: Tabulação e distribuição das associações petrotectônicas do Escudo do Rio Grande do Sul.** *Iheringia, Série Geologia*, Porto Alegre , 1978, n. 5, p.19-54, 1978.

REMUS M.V.D. **Metalogênese dos depósitos hidrotermais de metais base e Au do Ciclo Brasileiro do Bloco São Gabriel, RS.** Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul- UFRGS, 170P, 1999.

SANTOS. M.G.M, **Tectônica e sedimentação na bacia do Camaquã central (RS): Exemplos do grupo guaritas e do grupo Santa Bárbara.** Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, 2010.

SEEBER, G. **Satellite geodesy: foundations, methods, and applications.** Berlin; New York: Walter de Gruyter, 2003.

SARTORI, L.P; RÜEGG, R.N. **O complexo granítico de São Sepé, Rio Grande do Sul e a evolução das rochas graníticas da região orogênica do sudeste.** Instituto de geociências USP, 1979.

SARTORI, P.L.P.; KAWASHITA, K. **Petrologia e geocronologia do Batólito Granítico de Caçapava do Sul, RS.** In: Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, 2, 1985, Florianópolis. Anais... Florianópolis: Sociedade Brasileira de Geologia. 1985. p. 102-115

SARTORI, P. L. P.; KAWASHITA, K. **Petrologia e geocronologia do stock Granítico Santo Ferreira e sua correlação com o Batólito Granítico de Caçapava do Sul, RS.** Acta Geológica Leopoldensia. Brasil: 1989, n. 29, p. 131-142, 1989.

SOLIANI J.E **Os dados geocronológicos do Escudo Sul-Rio-Grandense e suas implicações de ordem geotectônica.** Tese de doutorado. Universidade de São Paulo USP, 1986.

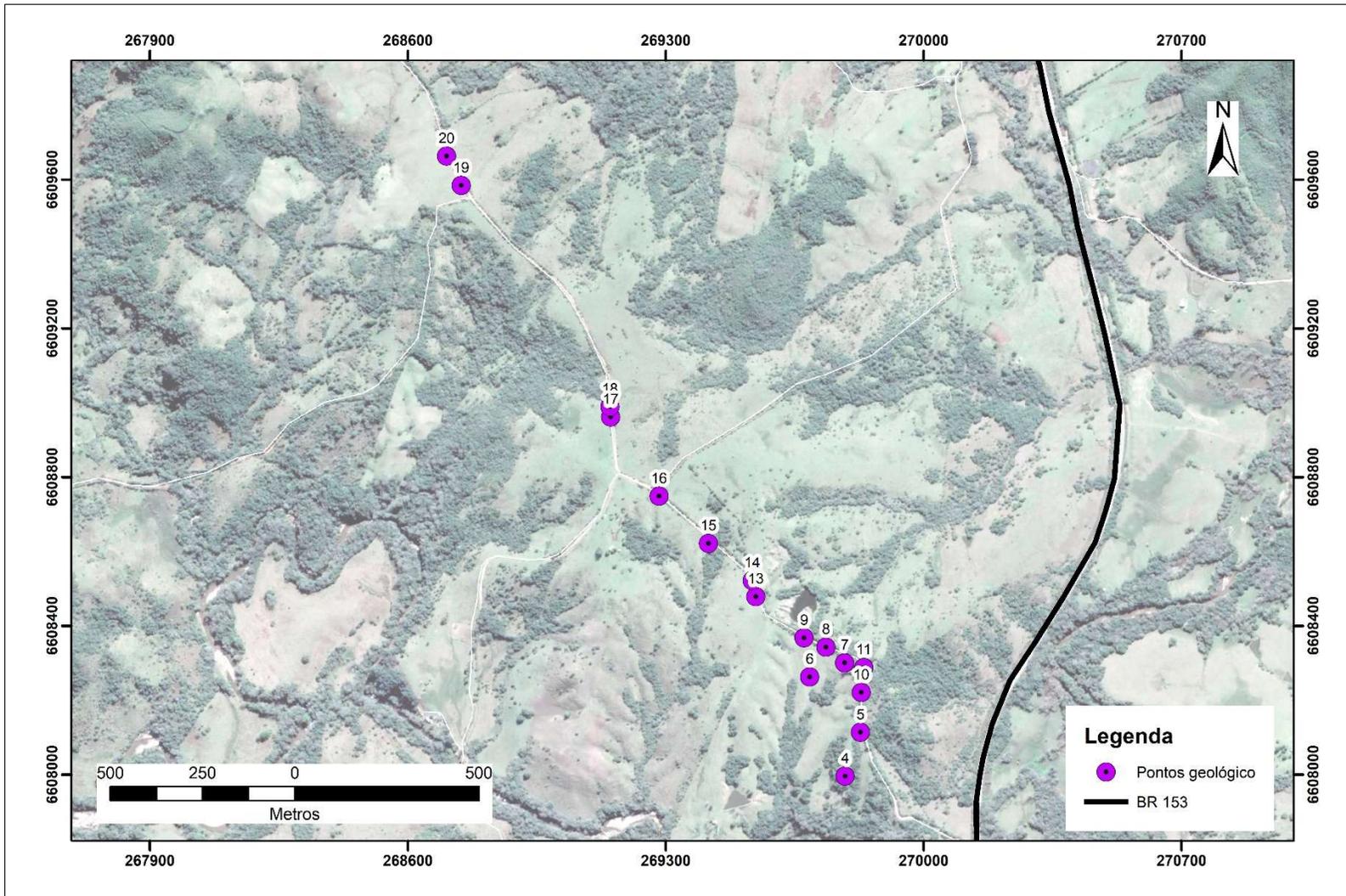
TELFORD, W.M, GELDART, L.P, SHERIFF, R.E **Applied Geophysics.** Cambridge University Press, Cambridge, 1990, 770 p.

TESSARI E PICADA. **Geologia da quadrícula Encruzilhada do Sul, Boletim da divisão de fomento a produção mineral,**124, 1966

UFRGS 1998. **Mapeamento Geológico 1:25000:** Projeto Caçapava do Sul. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998.

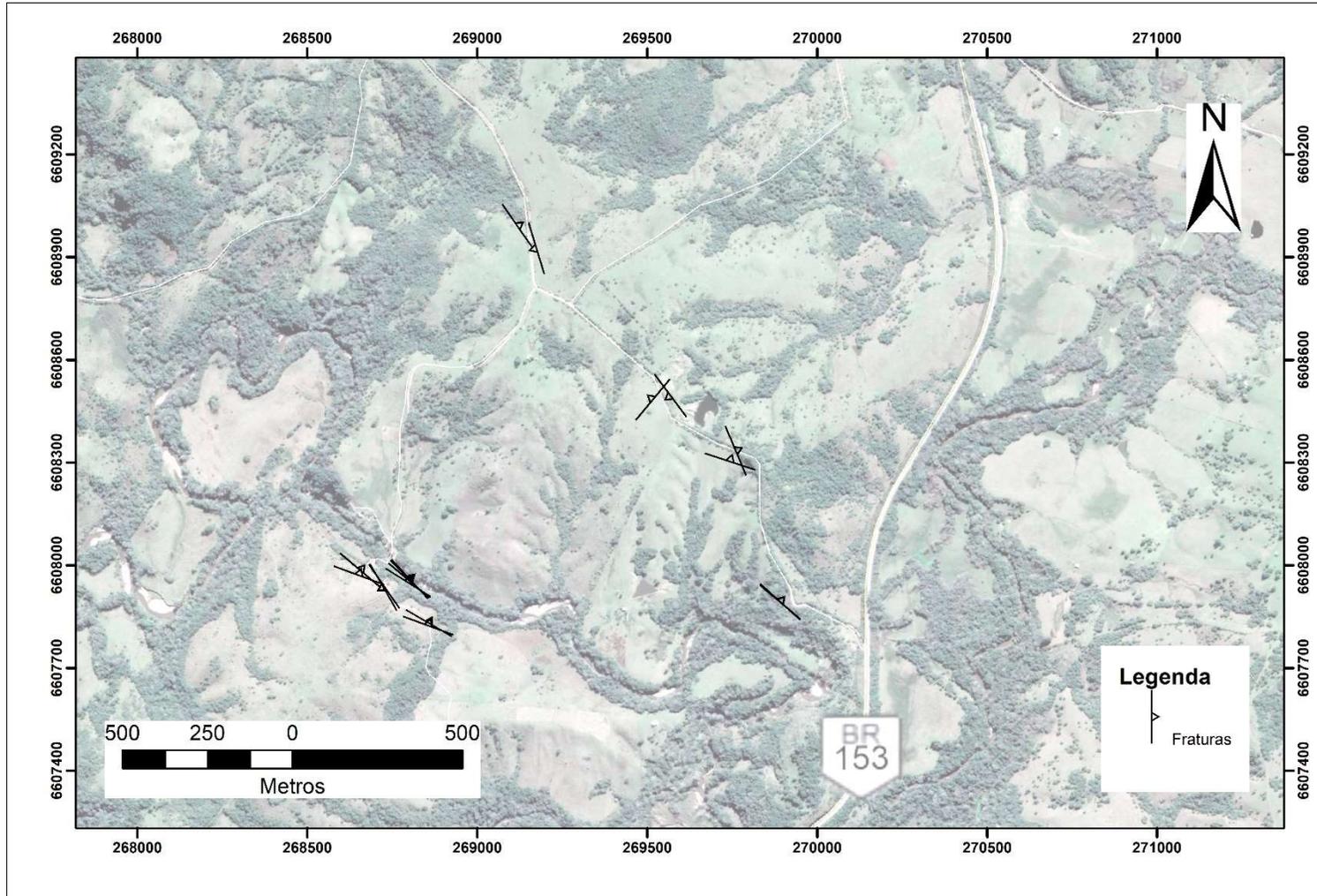
WILDNER, W. *et al.* **Geologia e recursos minerais do estado do Rio Grande do Sul:** escala 1:750.000. Porto Alegre: CPRM, 2007. 1 DVD-ROM. Programa Geologia do Brasil; Mapas Geológicos Estaduais.

### APÊNDICE 1- MAPA DE PONTOS GEOLÓGICOS



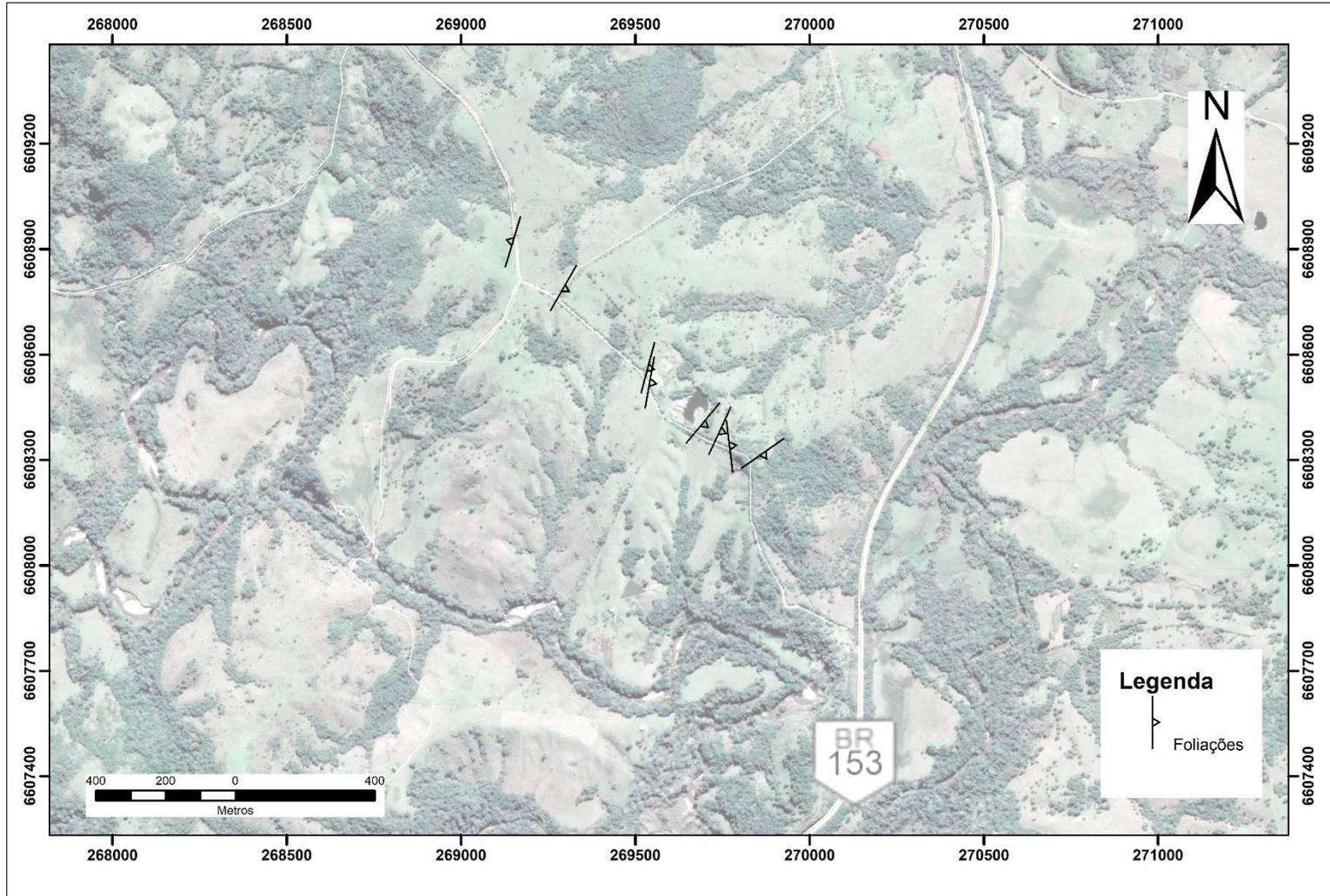
Fonte: Autora

## APÊNDICE 2- MAPA DE FRATURAS



Fonte: Autora

### APÊNDICE 3- MAPA DE FOLIAÇÕES



Fonte: Autora

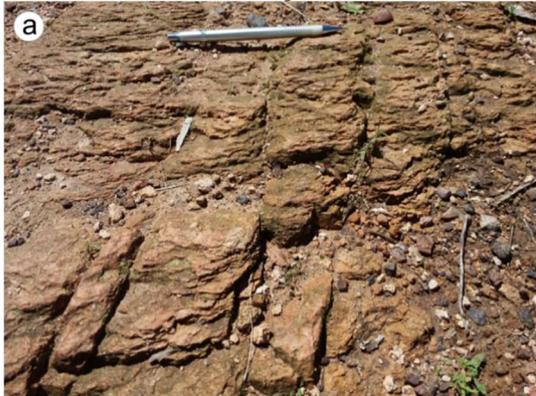
## APÊNDICE 4 – PONTOS GEOLÓGICOS

Amostra/Ponto n°. 4	
Coordenadas (UTM WGS 84 Zona 22S) X: 269787	Y: 6607996
Descrição	
Afloramento em lajeado (a) rocha metavulcânica de cor escura e foliação muito discreta, a W do perfil da estrada. A amostra coletada (b) apresenta uma textura fanerítica muito fina a afanítica. Classificada como uma rocha metavulcânica de baixo grau com foliação bastante incipiente.	
Foto	
Afloramento.	Amostra de metavulcânica.
	

Amostra/Ponto n°. 5	
Coordenadas (UTM WGS 84 Zona 22S) X: 269829	Y: 6608114
Descrição	
Afloramento em lajeado na estrada (a) Granito contendo veios de hematita (b). Bem ao lado W do perfil da estrada, ocorre um lajeado de conglomerado.	
Foto	
Afloramento em lajeado.	Detalhe da foto anterior. Lapiseira NW.
	

Amostra/Ponto n°. <b>6</b>	
Coordenadas (UTM WGS 84 Zona 22S) X: 269691	Y: 6608263
Descrição	
Afloramento lajeado (a) Granito bastante rosado e pouco fraturado, a 80 metros para SW da margem oeste do perfil da estrada. Ocorrem manchas escuras de hematita (b). Lineações minerais e foliações são incipientes (b). As fraturas de direção NW são as mais frequentes e definem o afloramento. Fraturas ( <i>dip direction</i> ): 042/70 040/65	
Foto	
Afloramento definido por fraturas NW. 	Detalhe do afloramento. 

Amostra/Ponto n°. <b>7</b>	
Coordenadas (UTM WGS 84 Zona 22S) X: 269786	Y: 6608301
Descrição	
Afloramento (a) em lajeado e em encosta de rocha metamórfica pouco fraturada, de coloração escura e alterações esverdeadas e avermelhadas (b), a 20 metros para SW da margem oeste do perfil da estrada. Foliação é incipiente. Foliação metamórfica ( <i>dip direction</i> ): 083/47 Par conjugado de fraturas ( <i>dip direction</i> ): 018/70 067/47	
Foto	
Afloramento em encosta. 	Foto de detalhe. 

Amostra/Ponto n°. <b>8</b>	
Coordenadas (UTM WGS 84 Zona 22S) X: 269735	Y: 6608343
Descrição	
Lajeado na estrada de granito com coloração rosa clara e foliação milonítica bem marcada (a) e perpendicular às fraturas. Fraturas NW com espaçamento muito pequeno (~5 cm) e de direção NW são as predominantes. Aparentemente, essas fraturas apresentam-se com dobras (b) associadas. Foliação milonítica ( <i>dip direction</i> ): 115/35 Fraturas ( <i>dip direction</i> ): 035/90	
Foto	
<p>Detalhe da foliação milonítica.</p> 	<p>Estrutura dobrada.</p> 

Amostra/Ponto n°. <b>9</b>	
Coordenadas (UTM WGS 84 Zona 22S) X: 269676	Y: 6608368
Descrição	
Lajeado na estrada com fraturas de direção NW e com espaçamento pequeno (~5 cm) em um granito rosa claro (a). A foliação milonítica é bem marcada, perpendicular às fraturas e é evidente uma lineação mineral (b) com baixo <i>rake</i> . Foliação milonítica ( <i>dip direction</i> ): 130/29	
Foto	
<p>Afloramento com fraturas NW.</p> 	<p>Detalhe da lineação mineral.</p> 

Amostra/Ponto nº. <b>10</b>	
Coordenadas (UTM WGS 84 Zona 22S) X: 269831                      Y: 6608221	
Descrição	
Na estrada, ocorrem diversos clastos pequenos de rocha mineralizada (a e b).	
Foto	
Clastos de hematita na estrada.	Amostra de hematita num granito.
	

Amostra/Ponto nº. <b>11</b>	
Coordenadas (UTM WGS 84 Zona 22S) X: 269838                      Y: 6608288	
Descrição	
Na estrada, ocorre pequenos lajeados de rocha metamórfica, provavelmente de um grau maior de metamorfismo. Apresenta alteração esverdeada e foliação metamórfica bastante evidente.	
Foliação metamórfica ( <i>dip direction</i> ): 145/36	
Foto	
Lajeado de rocha metamórfica.	Detalhe da foliação metamórfica.
	

Amostra/Ponto n°. 13	
Coordenadas (UTM WGS 84 Zona 22S) X: 269545                      Y: 6608479	
Descrição	
Na estrada, ocorre lajeados de uma rocha de coloração clara e esbranquiçada, com uma foliação aparente. Talvez seja uma outra fácies do granito. Há um fraturamento preferencial NW. Fratura ( <i>dip direction</i> ): 225/66 Foliação milonítica ( <i>dip direction</i> ):100/39	
Foto	
Afloramento.	Detalhe da textura da rocha.
	

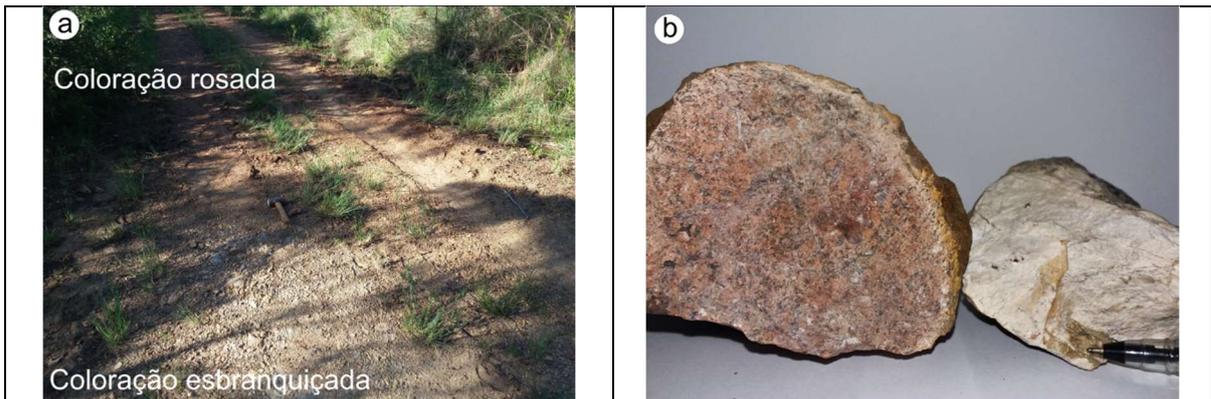
Amostra/Ponto n°. 14	
Coordenadas (UTM WGS 84 Zona 22S) X: 269535                      Y: 6608522	
Descrição	
Lajeado de um granitoide esbranquiçado, semelhante ao do ponto 13, com uma foliação magmática bem marcada e uma lineação mineral incipiente. Foi visto também um veio de quartzo, com espessura ~1cm, orientado a N15°E. Fraturas: 233/ 65    310/61	
Foto	
Foto do afloramento.	
	

<b>Amostra/Ponto n.º. 15</b>	
Coordenadas (UTM WGS 84 Zona 22S) X: 269416	Y: 6608622
<b>Descrição</b>	
No caminho até aqui, há uma intercalação aparente entre rochas de cor esbranquiçada muito fraturadas e pouco fraturadas. Aparentemente, essa intercalação entre muito fraturamento e pouco fraturamento acontece em todo o perfil, até este ponto.	

<b>Amostra/Ponto n.º. 16</b>	
Coordenadas (UTM WGS 84 Zona 22S) X: 269282	Y: 6608749
<b>Descrição</b>	
Ainda continua, neste ponto, a mesma rocha esbranquiçada, com fraturas de espaçamento ~ 1cm) predominantemente NW e foliação milonítica bem marcada. Foliação milonítica ( <i>dip direction</i> ): 120/ 53	

<b>Amostra/Ponto n.º. 17</b>	
Coordenadas (UTM WGS 84 Zona 22S) X: 269151	Y: 6608962
<b>Descrição</b>	
Neste ponto, há um afloramento lajeado de uma rocha esbranquiçada, porém, aparentemente, há mais micas nesta rocha do que nos granitoides esbranquiçados dos pontos anteriores. É possível ver uma foliação milonítica incipiente. Foliação milonítica ( <i>dip direction</i> ): 287/ 59 Fraturamento principal ( <i>dip direction</i> ): 55/ 90 Fraturamento secundário ( <i>dip direction</i> ): 253/ 36	

<b>Amostra/Ponto n.º. 18</b>	
Coordenadas (UTM WGS 84 Zona 22S) X: 269149	Y: 6608990
<b>Descrição</b>	
Contato entre a rocha esbranquiçada e uma rocha com coloração bem rosa (a e b). Os lajeados ocorrem pouco fraturados na estrada. Na fotografia, é possível visualizar a mudança brusca na coloração do solo. Na parte inferior, há um solo com coloração mais clara, enquanto que na porção superior, vê-se o solo com coloração rosa mais forte. A marreta marca o possível contato entre os granitoides.	
<b>Foto</b>	
Mudança na coloração do solo.	Fotografia das amostras.



Amostra/Ponto n°. <b>19</b>	
Coordenadas (UTM WGS 84 Zona 22S) X: 268745	Y: 6609585
Descrição	
Lajeado de rocha metamórfica bastante alterada. Vê-se dobras aparentemente recumbentes e é difícil ver a continuidade da foliação metamórfica. É visível mudança na coloração do solo, um marrom avermelhado/rosado para um marrom acinzentado.	

Amostra/Ponto n°. <b>20</b>	
Coordenadas (UTM WGS 84 Zona 22S) X: 268705	Y: 6609664
Descrição	
<p>Próximo a Estação Gravimétrica n. 45 do perfil, desde o ponto descrito anteriormente, há ocorrência de rocha metamórfica apresentando foliação bem visível, mas bastante alterada. As fraturas são pouco expressivas e pouco marcadas. Direção predominante de fraturamento de E-W, NW e WNW. Essas direções têm frequências semelhantes. A direção da foliação é 230° (azimute). Não foi possível identificar o mergulho da foliação.</p> <p>Ocorre fraturas (pouco espessas), com espaçamento entre elas menores que 1 cm, com azimute 100° (E-W) e cortadas por fraturas com azimute 145° (NW-SE). Foi a única relação de corte visualizada no campo.</p>	
Foto	
<p>Detalhe da rocha metamórfica. Lapiseira orientada NW-SE.</p>	