

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**ANTÔNIO PAULO PEREIRA**

**MAGNETOMETRIA TERRESTRE APLICADA AO MAPEAMENTO DE CORPOS  
MAGNÉTICOS INTRUSIVOS NO GRANITO SANTO FERREIRA – CAÇAPAVA DO SUL, RS**

**CAÇAPAVA DO SUL**

**2017**

**ANTÔNIO PAULO PEREIRA**

**MAGNETOMETRIA TERRESTRE APLICADA AO MAPEAMENTO DE CORPOS  
MAGNÉTICOS INTRUSIVOS NO GRANITO SANTO FERREIRA – CAÇAPAVA DO SUL, RS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
em Geofísica, como requisito parcial para receber  
o título de Bacharel em Geofísica pela  
Universidade Federal do Pampa.

Orientador: Prof. Dr. Felipe Guadagnin

Coorientador: Prof. Dr. Éverton Frigo

**CAÇAPAVA DO SUL**

**2017**

**ANTÔNIO PAULO PEREIRA**

**MAGNETOMETRIA TERRESTRE APLICADA AO MAPEAMENTO DE CORPOS  
MAGNÉTICOS INTRUSIVOS NO GRANITO SANTO FERREIRA – CAÇAPAVA DO SUL, RS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
em Geofísica, como requisito parcial para receber  
o título de Bacharel em Geofísica pela  
Universidade Federal do Pampa.

Banca examinadora:

---

**Prof. Dr. Felipe Guadagnin**  
**Orientador UNIPAMPA**

---

**Prof. Dr. Felipe Caron**  
**UNIPAMPA**

---

**Técnico. Me. Marcelo Lusa**  
**UNIPAMPA**

Dedico este trabalho a minha mãe Tereza, que é meu tudo, a luz que ilumina cada passo que eu dou, certo ou errado, maior incentivadora e fonte inesgotável de amor e carinho da minha vida, amo demais.

## **Agradecimentos**

Agradeço a minha mãe Tereza, por me dá amor todos os dias de minha vida, forças quando preciso e principalmente carinho nos momentos mais difíceis.

Agradeço a todos os meus professores e, em especial aos meus orientadores Prof. Dr. Felipe Guadagnin e Prof. Dr. Éverton Frigo que me ajudaram a chegar até aqui, que não foi fácil.

Agradeço a meus amigos que sempre estiveram do meu lado Felipe Augusto,, nas horas boas e nas ruins, pois sem amigos não somos nada nessa vida.

Agradeço os ensinamentos bons e ruins que a vida me deu e está me dando, pois, é com as derrotas e fracassos que ficamos mais fortes e invencíveis a cada dia que se passa.

Agradeço também a minha namorada que está me proporcionando amor e companheirismo neste momento tão importante da minha vida.

Agradeço também a mpdc que indiretamente mudou meu mindset.

“Não rebata todos os arremessos”

Warren Buffett

## Resumo

A região onde o Granito Santo Ferreira está exposto consiste em um complexo arranjo de rochas metamórficas, ígneas e sedimentares. As rochas metamórficas compõem o Complexo Metamórfico Passo Feio, que é intrudido pela Suíte Granítica Caçapava do Sul e pelo Granito Santo Ferreira. Estes por sua vez, são intrudidos por gerações de diques contendo minerais magnéticos, alvos do presente trabalho. Na região, também ocorrem rochas sedimentares e vulcânicas dos Grupos Bom Jardim e Guaritas. Nesse complexo arranjo de rochas e estruturas tectônicas, ocorre uma série de depósitos minerais portadores de cobre, ouro, fosfatos, mármore, etc. Compreender a relação entre os diques e as rochas encaixantes é importante para definir o melhor modelo geológico para a exploração mineral dos depósitos que ocorrem na região, além de contribuir para o entendimento da geologia regional. Nesse sentido, o presente trabalho teve por objetivo determinar a direção e espessura dos óxidos de ferro associados a diques que cortam o Granito Santo Ferreira em subsuperfície, utilizando mapa aeromagnético fornecidos pela CPRM que mostra os lineamentos presentes na região e correlacionando com os dados adquiridos por método geofísico magnetometria, de técnica terrestre. Foram realizados 3 perfis com comprimento de 60 m e espaçamento de 0,5 m entre as medidas. Os perfis foram realizados com distância de 14 m entre si. A área de estudo foi imageada por fotografias aéreas, que foram utilizadas para a construção de ortofotomosaico e modelo digital de elevação; que foram georreferenciados utilizando pontos de controle de campo cujas coordenadas foram determinadas em campo com DGPS e Estação Total. Os resultados sugerem que as anomalias magnéticas referente aos diques estão na porção central da área de estudo com orientação aproximada na direção NW-SE. Já na porção S-SE da área o campo magnético total tende a suavizar, indicando um afinamento das estruturas nessa região.

Palavras-Chave: Magnetometria, Diques, Granito Santo Ferreira

## **Abstract**

The region where the Granito Santo Ferreira is exposed consists of a complex arrangement of metamorphic, igneous and sedimentary rocks. The metamorphic rocks make up the Passo Feio Metamorphic Complex, which is intruded by the Granite Suite Caçapava do Sul and the Granite Santo Ferreira. These, in turn, are intruded by generations of dikes containing magnetic minerals, targets of the present work. In the region, there are sedimentary and volcanic rocks of the Bom Jardim and Guaritas Groups. In this complex arrangement of rocks and tectonic structures, there is a series of mineral deposits bearing copper, gold, phosphates, marbles, etc. Understanding the relationship between dikes and nesting rocks is important in order to define the best geological model for the mineral exploration of the deposits that occur in the region, besides contributing to the understanding of regional geology. In this sense, the objective of this work was to determine the direction and thickness of the iron oxides associated with dikes that cut the Santo Ferreira Granite in subsurface, using aeromagnetic map provided by CPRM that shows the lineaments present in the region and correlating with data acquired by geophysical method of magnetometry, of terrestrial technique. Three profiles were made with a length of 60 m and a spacing of 0.5 m between measurements. The profiles were made with a distance of 14 m between them. The study area was imaged by aerial photographs, which were used for orthophotomosaic construction and digital elevation model; which were georeferenced using field control points whose coordinates were determined in the field with DGPS and Total Station. The results suggest that the magnetic anomalies related to the dikes are in the central portion of the study area with an approximate orientation in the NW-SE direction. In the S-SE portion of the area the total magnetic field tends to soften, indicating a thinning of the structures in this region.

**Keywords:** Magnetometry, Dams, Granite Santo Ferreira

## SUMÁRIO

1- Introdução.....	10
2- Objetivos .....	11
2.1    Geral .....	11
2.2    Específicos.....	11
4- Contexto Geológico .....	13
4.1-    Geologia Local.....	15
5- Levantamentos Magnéticos Terrestres .....	19
5.1-    Levantamento Magnético .....	19
5.4-    Propriedades magnéticas das rochas .....	20
5.4.1-  Materiais paramagnéticos, diamagnéticos, ferromagnéticos, antiferromagnéticos e ferrimagnéticos .....	21
5.5-    Magnetização remanente .....	22
5.5.1.  Suscetibilidade magnética dos minerais e rochas.....	23
5.6.1.  Correção da Variação Diurna .....	24
5.6.2.  Correção Topográfica .....	25
5.6.3.  Correção de Latitude .....	26
5.6.4.  Remoção do IGRF.....	27
6- Materiais e Métodos .....	30
7- Análise dos resultados .....	33
8- Resultados.....	37
9- Considerações Finais.....	41
10- Referências Bibliográficas.....	43

## 1- Introdução

No município de Caçapava do Sul e arredores ocorrem diversos tipos de rochas (rochas metamórficas, ígneas e sedimentares), minérios e estruturas geológicas (BORBA; MARASCHIN; MIZUSAKI, 2007). As unidades geológicas que ocorrem nessa região correspondem as rochas metamórficas do Complexo Metamórfico Passo Feio (CMPF), rochas graníticas da Suíte Granítica Caçapava do Sul (SGCS) e do Granito Santo Ferreira (GSF) e rochas sedimentares e vulcânicas do Supergrupo Camaquã (PHILLIPP et al., 2002). Essas unidades geológicas são intrudidas por diversas gerações de diques, das Eras Neoproterozoica a Cenozoica (PORCHER; CUNHA LOPES, 2000). Além disso, inúmeras ocorrências e depósitos de minerais metálicos ocorrem na região, incluindo Ouro, Prata, Cobre, Chumbo, Zinco, entre outros (PORCHER; CUNHA LOPES, 2000).

O GSF corresponde a um corpo intrusivo do tipo *stock*, constituído por sieno e monzogranitos correlacionáveis as rochas da SGCS (SARTORI; KAWASHITA, 1989). O GSF ocorre intrudindo as unidades do CMPF e aflora a sudeste da SGCS, nas proximidades dos Arroios Irapuá e Passo Feio (MACHADO et al., 2016). Diques de rochas contendo Óxidos de Ferro (Hematita) ocorrem intrudindo o GSF (MACHADO et al., 2016). Parte dos diques que intrudem o GSF são aflorantes enquanto outros não estão expostos na superfície terrestre. Conhecer a geometria dos diques que intrudem as rochas do GSF é importante para a definição de modelos aplicáveis a prospecção mineral, além de contribuir com a geologia regional. Do ponto de vista regional, a compreensão das relações geométricas do GSF com as rochas encaixantes pode contribuir com o conhecimento sobre as mineralizações próximas da área de estudo, como por exemplo na região do Cerro dos Martins (TONIOLO et al., 2004).

A magnetometria é um método geofísico que mede variações do campo magnético terrestre, originados pela interação desse campo com as rochas e minerais (TELFORD; GELDART; SHERIFF, 1990). Esse método é sensível ao contraste das propriedades magnéticas das rochas encaixantes e intrusivas, como no caso dos diques associados ao GSF (LOWRIE, 2007). Havendo contraste geofísico entre as unidades em estudo, pode-se obter com o método de magnetometria os valores de campo magnético anômalos em relação ao campo magnético médio da Terra (Campo Geomagnético de Referência ou *International Geomagnetic Reference Field – IGRF*; (TELFORD; GELDART; SHERIFF, 1990).

Nesse trabalho, a orientação, espessura e continuidade lateral dos diques que intrudem o GSF foi analisada utilizando magnetometria terrestre. O objetivo principal é identificar a continuidade dos diques em superfície e sub-superfície. Para isso foram adquiridos 3 perfis

com comprimento de 60 metros e distância de 14 metros entre cada perfil. Os dados mostram que os diques possuem direção NW-SE e são associados aos lineamentos magnéticos que se destacam nos dados aeromagnéticos (LASAS PROSPECÇÕES, 2010; TRAVASSOS, 2014). O termo lineamento aqui utilizado segue os conceitos de O’leary; Friedman; Pohn (1976) que consideraram como qualquer feição linear ou curvilínea na superfície terrestre, que pode estar relacionado as falhas, fraturas ou outras estruturas geológicas.

## **2- Objetivos**

### **2.1- Geral**

O objetivo geral do presente trabalho é determinar a geometria dos diques que intrudem o GSF e correlacionar com regiões onde os corpos não estejam aflorantes.

### **2.2- Específicos**

Os objetivos específicos são:

- Analisar as anomalias do campo magnético terrestre nas áreas de ocorrência de diques magnéticos;
- Contribuir com o conhecimento sobre as estruturas e rochas que intrudem o GSF;
- Correlacionar os dados obtidos pela magnetometria terrestre com as anomalias do campo magnético identificáveis nos dados de aeromagnetometria.

## **3- Área de estudo**

A área de estudo localiza-se no município de Caçapava do Sul–RS, na margem esquerda do Arroio Irapuá, próximo da desembocadura do Arroio Passo Feio (Fig. 1). O acesso pode ser realizado pelas rodovias BR-392 e BR-153, sentido Bagé–RS, tomando-se a estrada vicinal a direita na BR-153 sentido sul, no acesso para a localidade da Guarda Velha, por cerca de 750 metros até o acesso a propriedade rural. Os três perfis foram adquiridos na

direção NE-SW, e as coordenadas são (UTM zona 22 J *datum* SIRGAS 2000): (i) perfil 1 – 268281 mE e 6605670 mS / 268235 mE e 6605632 mS; (ii) perfil 2 – 268293 mE e 6605658 mS / 268247 mE e 6605619 mS; e (iii) 268301 mE e 6605644 mS / 268255 mE e 6605606 mS.

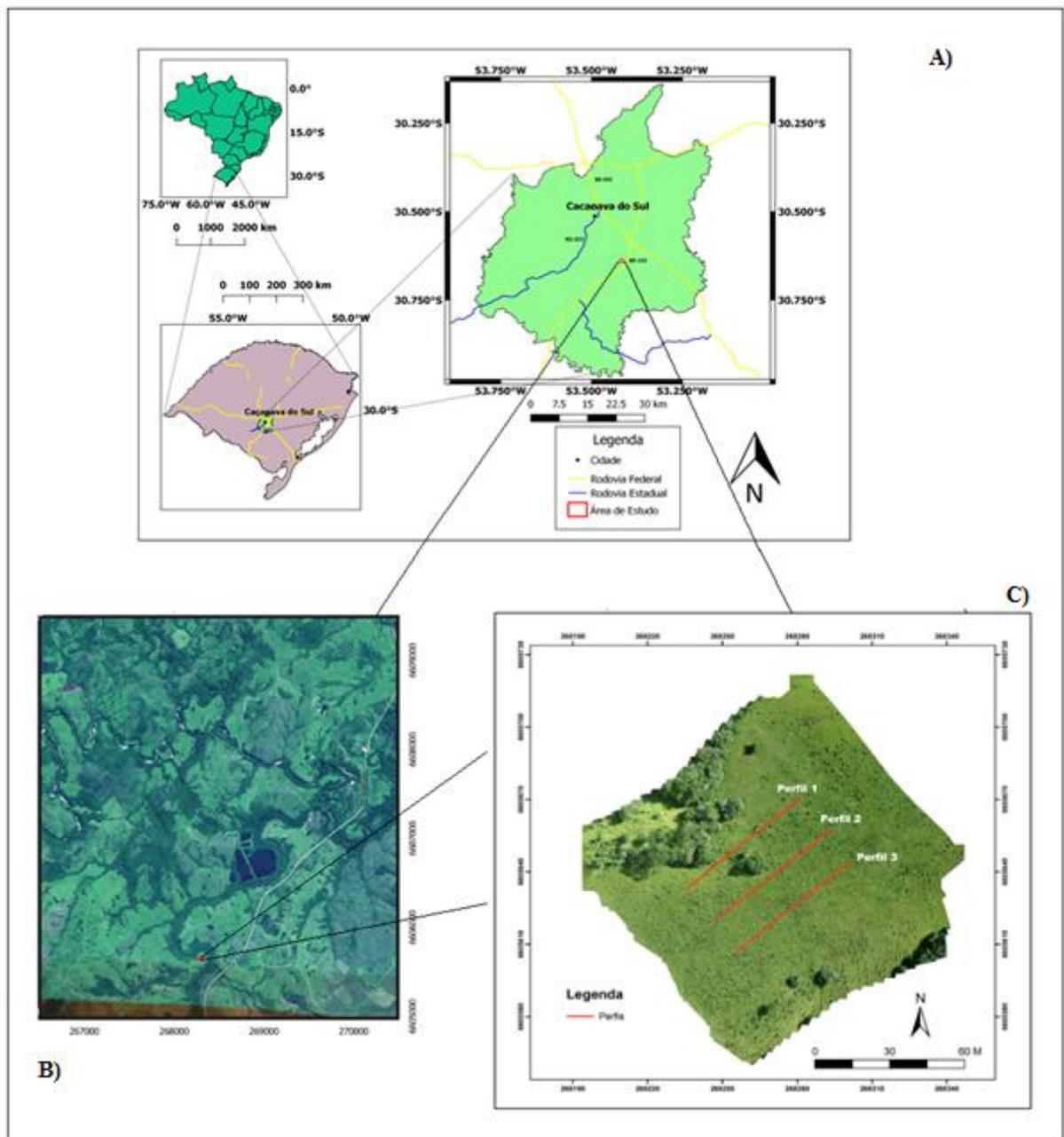
#### **4- Contexto Geológico**

A área de estudo está localizada no Domínio São Gabriel do Escudo Sul-Riograndense (ESRG; PHILLIPP et al., 2002). O ESRG é caracterizado por diversas associações de rochas com idades pré-cambrianas e cambrianas. Segundo Hartmann; Chemale Jr.; Philipp (2007), o ESRG foi formado durante processos de geração e deformação da crosta continental principalmente durante as Eras Paleoproterozoica e o Neoproterozoica. O ESRG é subdividido em quatro domínios definidos a partir de características estruturais, petrotectônicas e isotópicas, sendo estes os domínios Taquarembó, São Gabriel, Tijucas e Pelotas (Fig. 2; HARTMANN; CHEMALE JR; PHILIPP, 2007).

O Domínio Taquarembó é o mais antigo entre os domínios do ESRG, e tem idades da Era Éon Arcosiano (CHEMALE Jr., 2000). O Domínio Taquarembó limita-se ao norte com o Domínio São Gabriel pelo lineamento Ibaré, a leste com a Bacia do Camaquã e a oeste com a Bacia do Paraná. É composto principalmente pelo Complexo Santa Maria Chico composto por rochas granulíticas (CHEMALE Jr., 2000).

A exceção do Domínio Taquarembó, os demais domínios do ESRG (São Gabriel, Tijucas e Pelotas) são englobados no Cinturão Dom Feliciano (CDF; HARTMANN; CHEMALE JR; PHILIPP, 2007). Estende-se desde o estado de Santa Catarina até o Uruguai e possui cerca de 800 km de comprimento e 150 km de largura (CHEMALE Jr., 2000). De acordo com Phillip et al. (2016) a formação do CDF ocorreu em um longo processo evolutivo que durou aproximadamente 450 Ma, começando com a abertura do Oceano Charrua na porção sudoeste de Gondwana há 950-900 Ma. Posteriormente houve o fechamento deste oceano e a colisão com arcos magmáticos, que ocorreu entre 770–680 Ma (PHILLIPP et al., 2002). Os processos finais estão relacionados a colisão entre o Cráton Rio de La Plata, o Microcontinente Encantadas e o Cráton Kalahari no final da Era Neoproterozoica (PHILLIPP et al., 2002).

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo. Acima a esquerda é mostrada a localização do estado do Rio Grande do Sul em relação ao Brasil e a posição do município de Caçapava do Sul em relação ao estado do Rio Grande do Sul. Acima a direita é mostrada a localização da área de estudo em relação ao município de Caçapava do Sul e os principais acessos, letra A). Abaixo a esquerda é mostrada a localização da área de estudo sobre imagem de satélite obtida pelo software Google Earth (MACHADO et al., 2016), letra B), e a direita é mostrada a posição dos perfis levantados em campo sobre ortofotomosaico, letra C) (GUADAGNIN; PEREIRA, 2017).



Fonte: dados geográficos: WILDNER et al. (2008); elaborado pelo autor.

O Domínio Pelotas corresponde a um complexo intrusivo com cerca de 40.000 km<sup>2</sup> localizado na porção leste do ESRG (PHILLIPP et al., 2002). É composto por seis suítes graníticas (Pinheiro Machado, Erval, Viamão, Encruzilhada do Sul, Cordilheira e Dom Feliciano) e uma sienítica (Suíte Piquiri), cujo magmatismo durou aproximadamente 70 Ma, ocorrendo entre 630 e 570 Ma (PHILLIPP et al., 2002). O Domínio Tijuca ocupa a porção central do ESRG e está alongado na direção NE–SW (HARTMANN; CHEMALE JR; PHILLIPP, 2007). Está em contato com o Domínio São Gabriel a oeste, ao longo da Sutura de Caçapava do Sul (FERNANDES et al., 1995). Limita-se a leste com o Batólito Pelotas e a nordeste o contato ocorre ao longo da Zona de Cisalhamento Passo do Marinheiro (PHILLIPP et al., 2002).

O Domínio São Gabriel está localizado na porção oeste do CDF e limita-se a leste com o Domínio Tijuca, ao norte com a Bacia do Paraná e ao sul com o Domínio Taquarém (Fig. 2). Suas principais unidades são o Complexo Cambaí, que compreende rochas gnáissicas de composições variadas, e o Supercomplexo Vacacaí (CHEMALE Jr., 2000). O Supercomplexo Vacacaí é formado por uma série de complexos metamórficos, como o Complexo Palma/Bossoroca, o Complexo Cerro Mantiqueira e o CMPF todos compostos por associações meta–vulcanossedimentares (CHEMALE Jr., 2000). Além dessas unidades, também ocorrem os grupos Maricá, Bom Jardim e Santa Bárbara da Bacia do Camaquã e corpos ígneos intrusivos (Fig. 2; BORBA; MARASCHIN; MIZUSAKI, 2007).

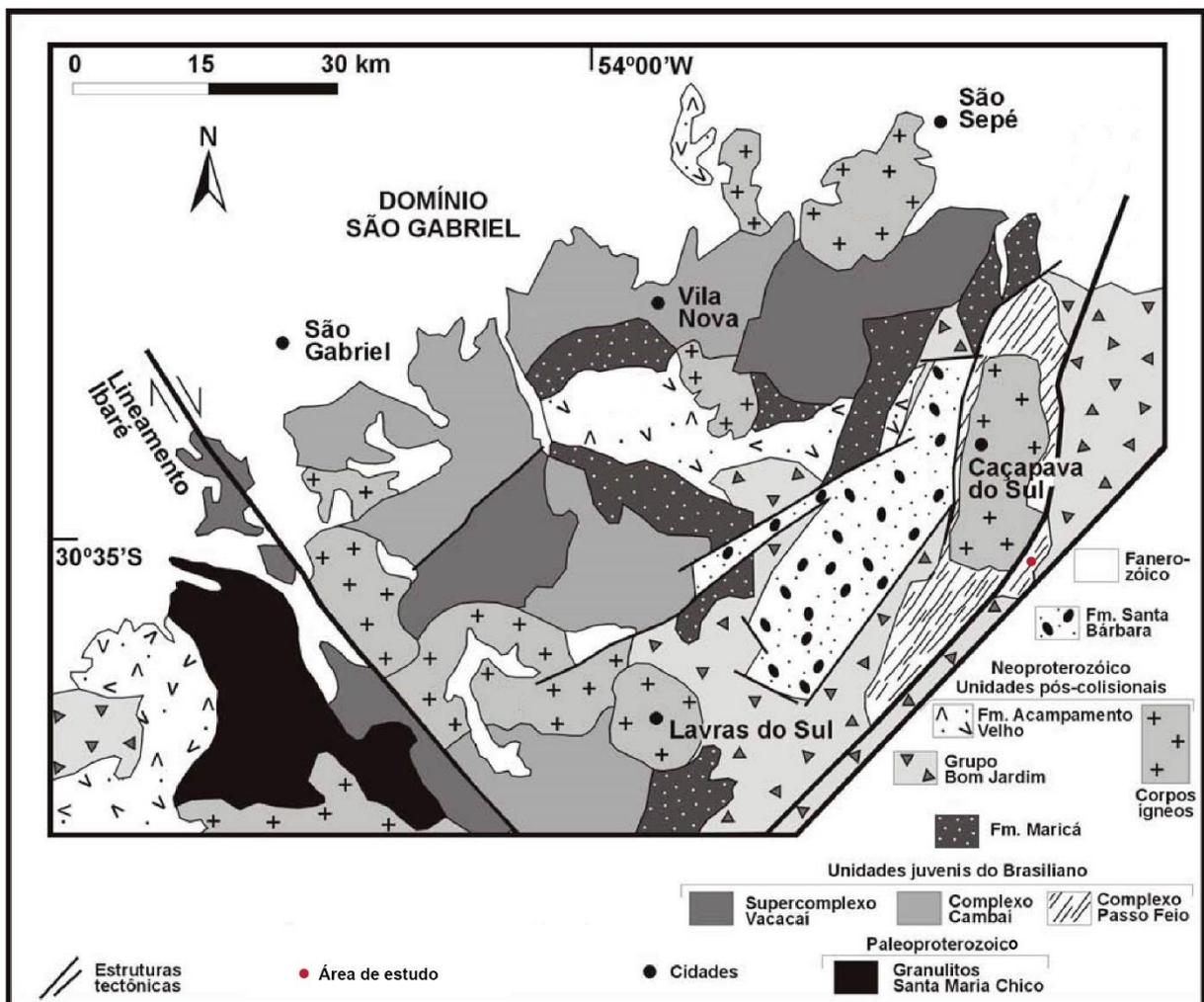
#### **4.1- Geologia Local**

O alvo do presente trabalho consiste em diques contendo hematita, intrusivos no GSF, que por sua vez intrude o CMPF. O CMPF está inserido no Supercomplexo Vacacaí e é composto por anfibolitos e xistos formados por metamorfismo regional a partir de protólitos vulcânicos e sedimentares, tanto siliciclásticos quanto carbonáticos (BITENCOURT, 1983). A idade deposicional máxima do CMPF é de aproximadamente 774 Ma (LOPES et al., 2015) e o CMPF é intrudido pela SGCS e pelo GSF a aproximadamente 562 Ma (SARTORI; KAWASHITA, 1989; NARDI; BITENCOURT, 1989; LEITE et al., 1998; REMUS et al., 2000), que define um intervalo de cerca de 200 Ma entre a deposição e as intrusões graníticas. Além dessas unidades geológicas, na região também ocorrem os grupos Bom Jardim, Santa Bárbara e Guaritas, que compõe parcialmente o Supergrupo Camaquã (Fig. 3; BORBA;

MARASCHIN; MIZUSAKI, 2007). Essas unidades deposicionais foram depositadas entre 590 e 540 Ma (BORBA; MARASCHIN; MIZUSAKI, 2007).

O GSF ocorre em uma área de aproximadamente 8 km<sup>2</sup> (Fig. 3) e é constituído por sienos e monzogranitos correlacionáveis com as rochas do SGCS (SARTORI; KAWASHITA, 1989; MACHADO et al., 2016). O GSF mostra relações de intrusão com os metassedimentos do Supercomplexo Vacacaí e é recoberto pelas formações Santa Bárbara e Guaritas a norte e a leste (SARTORI; KAWASHITA, 1989; MACHADO et al., 2016)

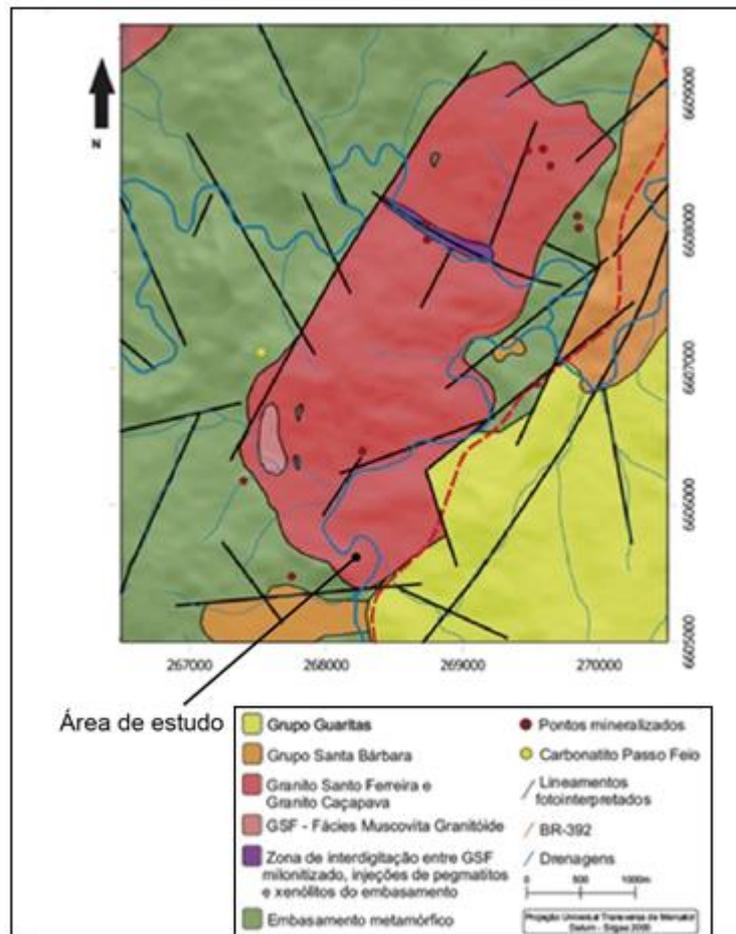
Figura 2 – Mapa geológico simplificado da porção oeste do ESRG com ênfase no Domínio São Gabriel e indicação da área de estudo.



Fonte: modificado de BORBA; MARASCHIN; MIZUSAKI (2007).

Diversos diques contendo hematita, quartzo e sulfetos ocorrem intrudindo o GSF e as rochas encaixantes. Esses diques possuem a direção geral NW-SE, mas estudos de mapeamento e geologia estrutural são escassos para essas unidades geológicas (Fig. 4; MACHADO et al., 2016).

Figura 3 – Mapa geológico da região de ocorrência do GSF mostrando a área de estudo em preto.



Fonte: extraído de MACHADO et al. (2016).

Figura 4 – Fotografia de dique contendo hematita intrusivo no GSF.



Fonte: retirado de MACHADO et al. (2016).

## 5- Magnetometria

A magnetometria é um método geofísico que se baseia no campo magnético da Terra e sua interação com os minerais e rochas, gerando campos magnéticos anômalos (TELFORD; GELDART; SHERIFF, 1990). Esse método pode ser aplicado em levantamentos terrestres, marinhos e aéreos. A magnetometria é amplamente aplicada na resolução de problemas diversos envolvendo materiais magnéticos, tais como prospecção de minerais metálicos, localização e definição da geometria de falhas e outras estruturas geológicas, geologia de engenharia, arqueologia, entre outras aplicações (MILSON, 2008).

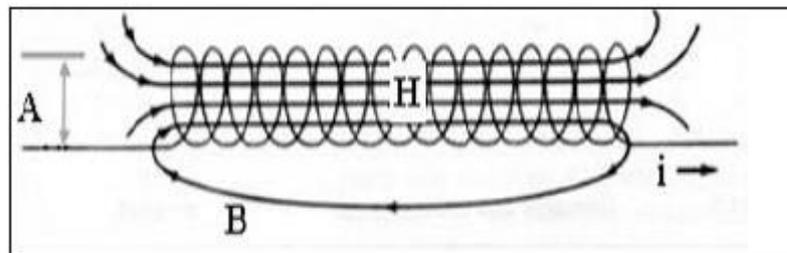
### 5.1 Magnetometria: Fundamentos Teóricos

Um campo magnético induzido é produzido quando uma carga elétrica se move por um condutor (TELFORD; GELDART; SHERIFF, 1990). Um enrolamento de fio condutor

(solenoide; Fig. 5), com  $n$  espiras, atravessado por uma corrente  $i$  origina um campo magnético,  $h$ , dado por:

$$h = 0,4\pi n i \quad (1)$$

Figura 5 – Campo magnético induzido.  $A$  = diâmetro da bobina;  $B$  = campo de indução magnética gerado;  $H$  = campo magnético aplicado;  $i$  = corrente.



Fonte: retirado de KEAREY; BROOKS; HILL (2009).

Quando um material é submetido a um campo magnético  $H$  (campo aplicado), é originado um campo de magnetização do material,  $M$  (TELFORD; GELDART; SHERIFF, 1990). O campo de indução magnética gerado,  $B$ , é proporcional à soma de  $H$  e  $M$ . O fator de proporcionalidade é a permeabilidade magnética no vácuo,  $\mu_0$  (KEAREY; BROOKS; HILL, 2009)

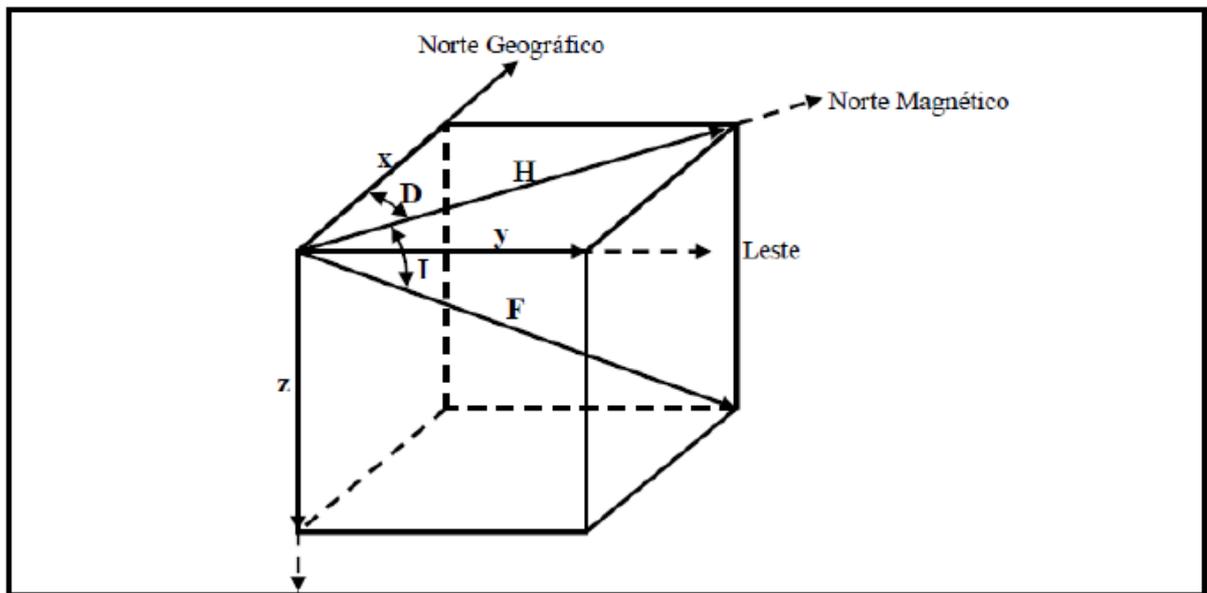
$$B = \mu_0 (H + M) \quad (2)$$

### 5.1.1- O Campo Geomagnético:

As anomalias magnéticas causadas por rochas são efeitos localizados que se sobrepõem ao campo magnético normal da Terra (campo geomagnético). O campo geomagnético é geometricamente mais complexo que o campo gravitacional da Terra, e exibe variações irregulares em orientação e magnitude com a latitude, a longitude e o tempo (KEAREY; BROOKS; HILL, 2009).

O campo magnético principal da Terra, é descrito através das suas componentes: declinação ( $D$ ), é o ângulo em graus entre o norte magnético e o norte geográfico; inclinação ( $I$ ), é o mergulho do campo magnético com relação a horizontal; e magnitude ( $F$ ) é o módulo do vetor campo magnético (Fig. 6; TELFORD; GELDART; SHERIFF, 1990).

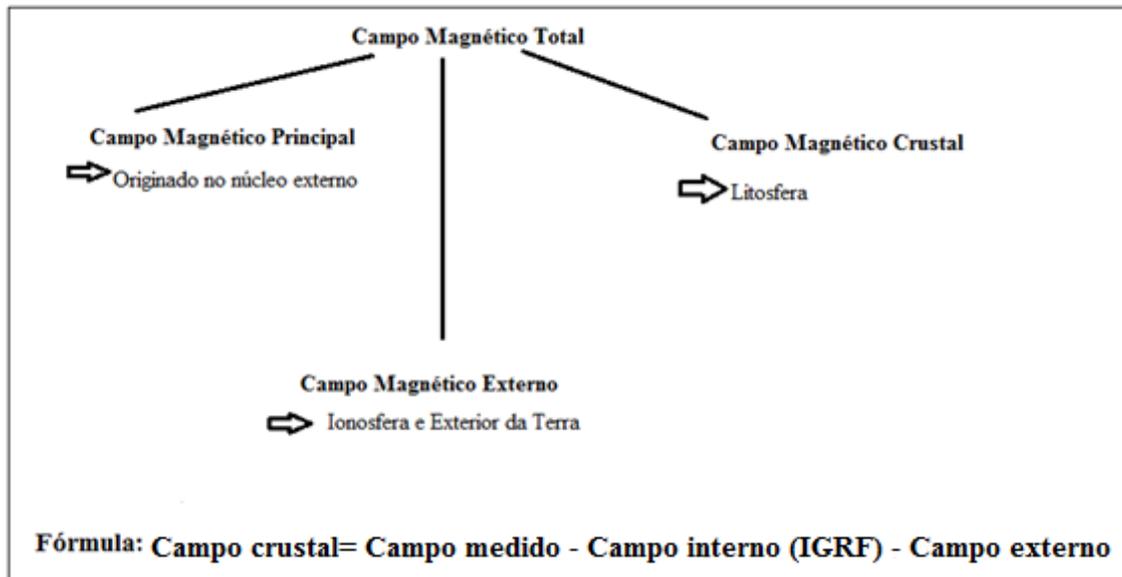
Figura 6: Elementos do campo magnético.  $D$  representa a declinação do campo magnético,  $I$  é a inclinação do campo magnético com relação a horizontal,  $F$  representa o módulo do vetor campo magnético,  $x$  e  $y$  representam o norte e leste geográfico, respectivamente, e  $z$  é a componente vertical.



Fonte: modificado de LOWRIE (2007).

O campo magnético crustal, de interesse da magnetometria, é definido pela subtração do campo magnético medido com o equipamento na área de estudo, pelo campo magnético internacional de referência (*International Geomagnetic Reference Field – IGRF*) e pelo campo externo, gerado pelas tempestades solares (TELFORD; GELDART; SHERIFF, 1990), conforme mostrado na figura 7.

Figura 7: Determinação do campo crustal em relação ao campo medido, campo interno (IGRF) e campo externo. LOWRIE (2007).



Fonte: elaborado pelo autor.

### 5.1.2- Propriedades magnéticas das rochas

A propriedade magnética de uma rocha é dependente da proporção de minerais contidos nessa rocha e da susceptibilidade magnética de cada mineral (TELFORD; GELDART; SHERIFF, 1990). Os minerais por sua vez, podem ter 5 comportamentos distintos, conforme detalhado abaixo.

#### 5.1.2.1 Materiais paramagnéticos, diamagnéticos, ferromagnéticos, antiferromagnéticos e ferrimagnéticos

Dependendo da orientação dos spins dos elétrons e do momento magnético, um determinado mineral pode ter comportamento paramagnético, diamagnético, ferromagnético, antiferromagnético e ferrimagnético.

##### 5.1.2.1.1 Diamagnetismo e Paramagnetismo

O Diamagnetismo e o Paramagnetismo são formas fracas de interação entre os sólidos e um campo magnético aplicado. O **Diamagnetismo** tem susceptibilidade menor que zero ( $\chi$

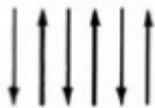
$<0$ ) é visto geralmente em materiais onde os átomos apresenta camadas de elétrons toda preenchida, como os sólidos.

O **Paramagnetismo** cuja susceptibilidade é maior que zero ( $\chi > 0$ ) é visto quando os átomos tem seus elétrons na última camada desemparelhados. O movimento orbital dos elétrons gera uma contribuição diamagnética, enquanto que o spin gera uma contribuição paramagnética (KEAREY; BROOKS; HILL, 2009).

#### 5.1.2.1.2 Antiferromagnetismo e Ferrimagnetismo

Os materiais antiferromagnetismo têm seus spins apontados na mesma direção e em sentido inverso, de modo que seus momentos quase possa se cancelar, é parecido com ferromagnéticos, mas os spins não se alinham completamente e tem susceptibilidade magnética de baixa a nula, como exemplo; hematita (KEAREY; BROOKS; HILL, 2009) conforme mostrado na figura 8.

Figura 8- Orientação dos *spins* para um material antiferromagnético.



Fonte: retirado de LOWRIE (2007).

**Ferrimagnetismo** surge em matérias em que seus íons tem momentos magnéticos diferentes, havendo assim um momento magnético resultante. As ferrites é o material ferrimagnético natural ex: magnetita (KEAREY; BROOKS; HILL, 2009) conforme mostrado na figura 9.

Figura 9- Orientação dos *spins* para materiais ferrimagnéticos.



Fonte: retirado de LOWRIE (2007).

### 5.1.2.1.3 Ferromagnetismo

Os sólidos ferromagnéticos são aqueles que apresentam susceptibilidade magnética muito positiva ( $\chi \gg 1$ ). O ferromagnetismo tem uma diminuição de sua propriedade física susceptibilidade magnética com o aumento da temperatura, perdendo essa totalmente quando chega na temperatura de Curie. Esses materiais ferromagnéticos quando tem spins desemparelhados contém uma forte interação entre os dipolos magnéticos, chamado domínios magnéticos. Logo ao aumentar a temperatura desalinha os spins, e conseqüentemente sua rotação (KEAREY; BROOKS; HILL, 2009).

## 5.2 Magnetização remanente

A remanência adquirida de uma rocha está ligada a magnetização remanescente natural. Os tipos geologicamente importantes de remanência são adquiridos às vezes conhecendo a história da rocha, como no momento da sua constituição ou posterior alteração. A remanência de uma rocha pode ser muito estável contra a mudança, a alta coercividade do mineral ferrimagnético garante a preservação do sinal magnético, durante muito tempo (épocas geológicas).

A remanência adquirida próximo ao tempo de formação da rocha é chamada de magnetização primária; uma remanência adquirida em um momento posterior é chamada de magnetização secundária. (KEAREY; BROOKS; HILL, 2009).

Algumas rochas como ígneas pode conter magnetização remanescente natural, como a magnetização termo–remanescente, que é devido ao resfriamento de material magnético que seja abaixo da temperatura de curie, que é quando o material perde sua susceptibilidade magnética, quando na presença do campo magnético terrestre, a direção depende do campo aplicado no momento magnético e onde a rocha resfriou neste.

## 5.3 Suscetibilidade magnética dos minerais e rochas

A susceptibilidade magnética é uma medida que indica se uma substância pode ser magnetizada e, representa a razão entre a magnetização (M) e a força magnetizante (H):

$$k = M / H \quad (3)$$

k=susceptibilidade magnética

M= momento magnético por unidade de volume;

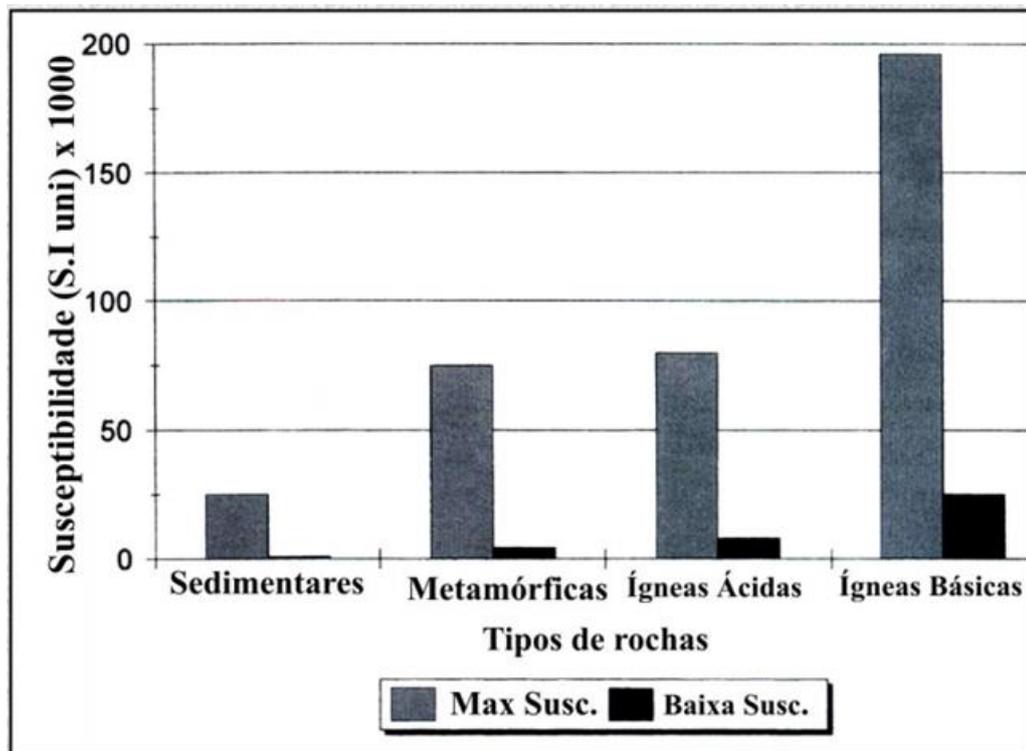
H= medida de influência de um magneto no espaço circundante.

A susceptibilidade magnética é uma propriedade física que vem das rochas e solos, depende do tamanho e quantidade dos grãos minerais e principalmente de como está distribuído estes minerais nas rochas. Podendo ser destes grãos finos dispersos em um conjunto de minerais diamagnéticos e paramagnéticos formado por silicatos GRANT; WEST (1965).

Em prospecção magnética, somente os minerais ferromagnéticos têm importância, já que eles apresentam maior susceptibilidade magnética e são os únicos capazes de produzir magnetismo na ausência de um campo externo. Dentre esses, apenas alguns têm susceptibilidade magnética suficientemente elevada para produzir anomalias detectáveis nos trabalhos de prospecção: maghemita, franklinita, magnetita, pirrotita. Devido a sua abundância, os três primeiros contribuem significativamente para a magnetização das rochas GRANT; WEST (1965).

O tamanho das partículas é um fator muito importante tanto na susceptibilidade do material, quanto na sua magnetização remanescente (magnetização adquirida na sua formação). Assim, a magnetização induzida por um campo externo em um material contendo finos grãos ferromagnéticos é menor do que a induzida em um material de grão grosso tendo a concentração equivalente. Além disso, quando o campo é removido, uma magnetização residual mais forte permanece. Ou seja, quanto menor o tamanho do grão, menor a susceptibilidade. Desse modo, duas rochas com a mesma quantidade de magnetita podem apresentar susceptibilidades diferentes SCHON (1996) conforme mostrado na figura 10.

Figura 10- Susceptibilidade Magnética das rochas.



Fonte: retirado de KEAREY; BROOKS; HILL (2009).

#### 5.4 Medidas de suscetibilidade magnética

As medidas de susceptibilidade magnética podem ser realizadas no campo ou em laboratório. Os equipamentos que realizam medidas de susceptibilidade magnética são denominados de susceptibilímetros e utilizam um sistema indutivo (KEAREY; BROOKS; HILL, 2009). O sensor desses equipamentos é composto por um núcleo, em forma de U, coberto com material de grande permeabilidade magnética. Esse núcleo é enrolado por uma bobina gerando um fluxo de campo magnético oscilatório por um sensor-ar, passando corrente alternada por esta bobina (KEAREY; BROOKS; HILL, 2009).

Quando uma amostra contendo minerais magnéticos é trazida para as proximidades do sensor, ocorre a diminuição no valor da relutância magnética no sistema sensor-amostra, pois a presença da amostra facilita o fluxo magnético (KEAREY; BROOKS; HILL, 2009). A diminuição da relutância provoca um aumento da indutância do sistema, que pode ser detectada e medida como uma variação de voltagem em escala numérica do instrumento (KEAREY; BROOKS; HILL, 2009). Os valores numéricos fornecidos pelo instrumento devem ser posteriormente transformados em valores de susceptibilidade, por

meio de uma curva padrão, construída a partir de medidas em amostras de susceptibilidades conhecidas (SCHON, 1996).

### 5.5 Resultado-Susceptibilidade magnética no local do estudo

Afim de comparação foi usado medições com o susceptibilímetro em amostras de rochas do local de estudo GSF. Nas análises petrográficas de MACHADO et al. (2016) no GSF, obteve grande presença de óxido de ferro hematita conforme mostrado na figura 11.

Na tabela 1 abaixo, mostra valores de susceptibilidade magnéticas de várias rochas e minerais.

Tabela 1: Valores de susceptibilidade magnéticas de várias rochas e minerais.

<b>As susceptibilidades de várias rochas e minerais</b>	
<b>Material</b>	<b>Susceptibilidade x 10<sup>-3</sup> (SI)</b>
Ar	cerca de 0
Quartzo	-0,01
Sal de rocha	-0,01
Calcita	-0,001 - 0,01
Esfalerita	0,4
Pirita	0,05 - 5
Hematita	0,5 - 35
Illmenite	300 - 3500
Magnetita	1200 - 19.200
Limas	0 - 3
Arenitos	0 - 20
Shales	0,01 - 15
Xisto	0,3 - 3
Gneisse	0.1 - 25
Ardósia	0 - 35
Granito	0 - 50
Gabbro	1 - 90
Basalto	0,2 - 175
Peridotite	90 - 200

Fonte: Adaptado de Grant;West, (1965)

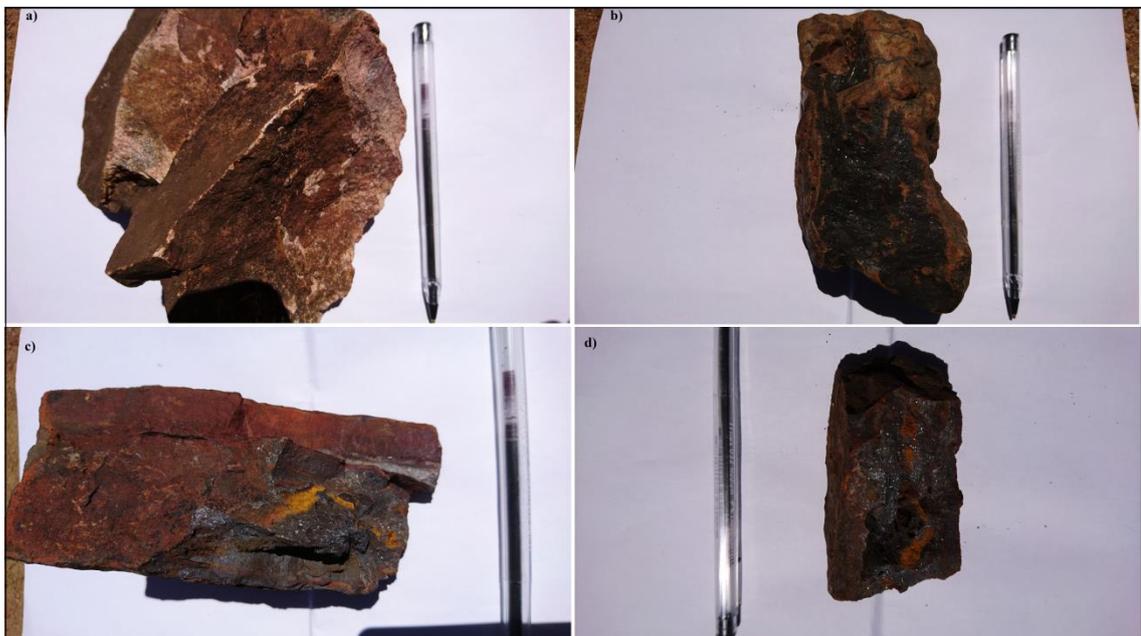
No local de estudo GSF foi utilizado 4 amostras para efeito de comparação de susceptibilidade magnética, os valores das amostras presente no local está de acordo com a tabela acima, resultado que o óxido de ferro presente no GSF é hematita, com valores de k variando deste 0,51 a 1,87 x 10<sup>-3</sup> conforme mostrado na tabela 2. Sendo que foi feito a média de 10 medidas de cada amostra, por causa de variações na aquisição das medidas.

Tabela 2: Valores de susceptibilidade magnética das amostras de rochas do GSF, sendo que possivelmente o óxido de ferro existente no GSF seja hematita.

Amostra GSF	Susceptibilidade (x 10 <sup>-3</sup> )
1	0,512
2	1,71
3	1,85
4	1,87

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 11: Amostra de rocha do GSF, óxido de ferro hematita.



Fonte: Elaborado pelo autor

## **6- Materiais e Métodos**

De acordo com o objetivo principal de determinar a geometria dos diques que intrudem o GSF e correlacionar com regiões onde os corpos não estão aflorantes, os métodos utilizados no presente trabalho foram (i) revisão bibliográfica; (ii) levantamento geofísico terrestre por magnetometria; (iii) processamento dos dados; (iv) interpretação dos dados e redação. Abaixo, cada método é descrito, incluindo os procedimentos e materiais utilizados.

### **6.1- Revisão bibliográfica**

A revisão bibliográfica foi realizada com o objetivo de obter embasamento teórico sobre o método de magnetometria e sobre o problema geológico. Foram realizadas leituras de textos e redação de resumos de artigos, livros, monografias e dissertações. Foi necessário utilizar mapas geológicos e cartas topográficas da área de estudo.

### **6.2- Levantamento geofísico por magnetometria**

A aquisição dos dados em campo foi realizada no dia 23 de janeiro de 2017, juntamente com a aquisição de dados topográfico. Foram utilizados dois magnetômetros de precessão de prótons modelo GSM-19 da GEM SYSTEM (Fig. 12), trena, sistema de posicionamento global (GPS) modelo MAP62CS da Garmin, estação total e balizas.

Figura 12- Magnetômetro de precessão de prótons modelo GSM-19 da GEM Systems.



Fonte: arquivo autor.

Não foram necessárias leituras na estação base para monitorar a deriva instrumental, pois os magnetômetros precessão de prótons não apresentam deriva (TELFORD; GELDART; SHERIFF, 1990). Contudo, o magnetômetro base foi utilizado para monitorar as variações diurnas. O magnetômetro base foi instalado nas proximidades do levantamento geofísico, mas a bateria do equipamento foi esgotada antes do final do levantamento, inviabilizando o uso dos dados nos perfis 2 e 3. Sendo assim, foram utilizados os dados do índice DST ([wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp](http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp)), que mede o distúrbio do campo magnético, para monitorar a variação diurna.

Os alvos consistem em estruturas geológicas intrudidas por diques de rochas contendo minerais magnéticos (Fig. 4). Essas estruturas possuem direção predominante NW e cerca de 1 m de espessura (MACHADO et al., 2016). Sendo assim, foram adquiridos 3 perfis com o magnetômetro móvel. Cada perfil possui 60 m de comprimento e direção NE-SW. Entre os perfis a distância foi de 14 m (Fig. 1). Foram realizadas leituras a cada 0,5 m totalizando 120 medidas para cada perfil.

### **6.3- Processamento dos dados**

Em um levantamento magnético, para cada dia de aquisição são gerados dois arquivos diferentes: um referente ao magnetômetro base e outro referente ao magnetômetro móvel. Esses arquivos contém o valor do campo magnético registrado pelo aparelho e a data e a hora exata de cada medida. Para o magnetômetro móvel também deve ser definida a localização topográfica do ponto de aquisição e a informação da linha percorrida (TELFORD; GELDART; SHERIFF, 1990).

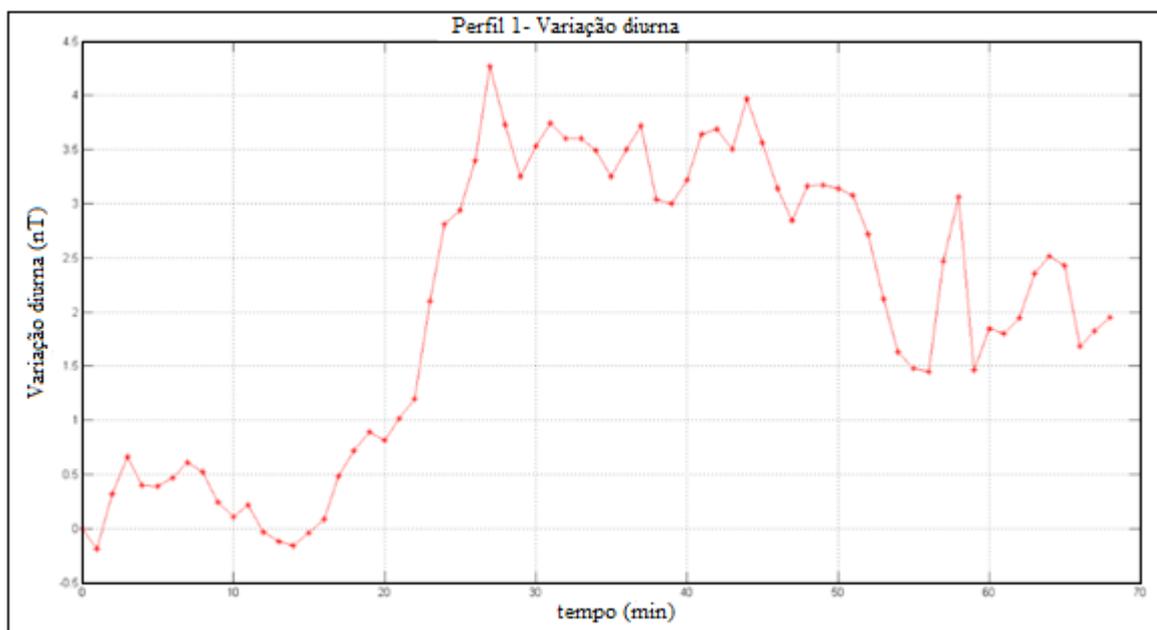
Os dados foram carregados no *software Oasis Montaj*. A correção dos dados magnéticos tem como objetivo eliminar qualquer tipo de influência externa aos dados que possam comprometer sua qualidade. Diversos fatores influenciam as medidas do campo magnético. As principais correções utilizadas neste levantamento foram: a correção da variação diurna, correção topográfica, remoção do IGRF. Após as correções, pode-se obter os valores da anomalia do campo magnético total, amplitude do sinal analítico, entre outros produtos.

#### **6.3.1 Correção da Variação Diurna**

A correção da variação diurna é feita para remover as interferências magnéticas de externas, oriundas de tempestades magnéticas (KEAREY; BROOKS; HILL, 2009). As leituras do magnetômetro base ao longo do levantamento mostraram uma variação de 4 nT, conforme mostrado no gráfico da figura 13. Contudo, o magnetômetro base realizou leituras somente nos primeiros 70 minutos do levantamento.

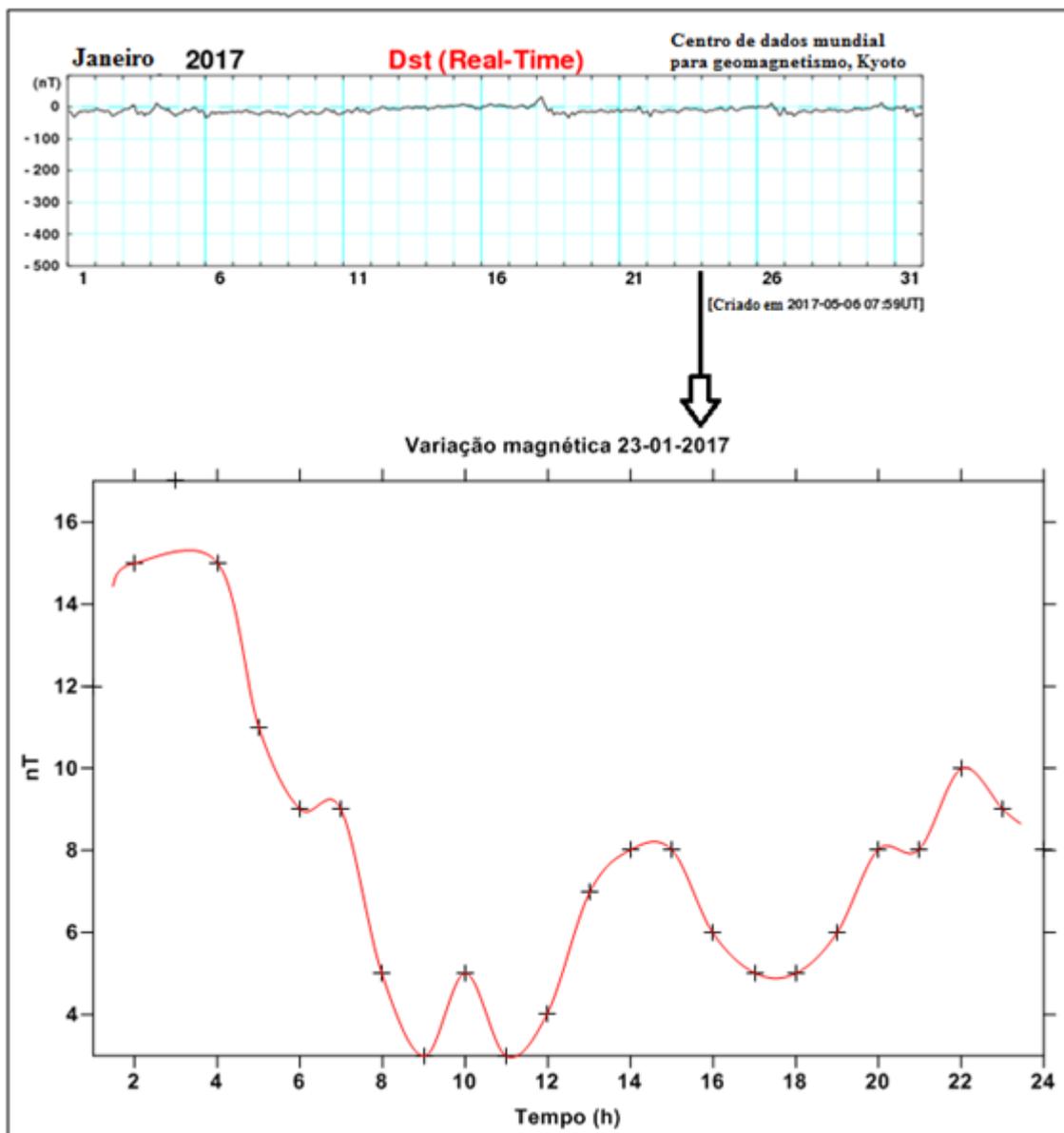
Os dados do Índice DST para o dia 23 de janeiro de 2017 mostram que os distúrbios do campo magnético no horário da aquisição em campo, entre as 11:00 e 15:00, foram de 4 nT (Fig. 14). Dessa forma, a variação diurna foi muito pequena em relação aos valores das anomalias magnéticas identificadas, que ocorrem com variações de até 1700 nT (ver capítulo 7 deste TCC), não sendo necessário a correção dos dados obtidos em campo.

Figura 13- Variação diurna do obtida a partir do magnetômetro base. A variação diurna é definida como a subtração das leituras medidas ao longo do dia pela leitura inicial.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 14: Índice DST mostrando os distúrbios do campo magnético para o mês de janeiro de 2017 e o gráfico do dia do levantamento. A aquisição em campo foi realizada no dia 23 de janeiro de 2017 entre as 11:00 e as 15:00.



Fonte: adaptado de [wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp](http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp) (2017).

### 6.3.2 Correção topográfica

A correção topográfica foi realizada com o objetivo de remover dos dados os efeitos da topografia (KEAREY; BROOKS; HILL, 2009). Para isso, foi utilizado modelo digital de elevação (MDE) construído por meio de fotogrametria aérea (GUADAGNIN; PEREIRA, 2017). Foram adquiridas fotografias aéreas em campo utilizando veículo aéreo não-tripulado,

com sobreposição de 70% entre cada fotografia nas linhas de voo e 50% entre as linhas de voo. Foram utilizadas 385 fotografias que foram integradas por fotogrametria digital utilizando o *software* Agisoft Photoscan, gerando o MDE com resolução espacial de 10 cm e ortofotomosaico com 2,5 cm (Fig. 1). Sobre o MDE foram sobrepostos os 3 perfis geofísicos e as coordenadas X, Y e Z foram obtidas utilizando o *software* MOVE 2017.1. A descrição completa dos procedimentos adotados para a construção do MDE está publicada em GUADAGNIN; PEREIRA (2017).

### **6.3.3 Remoção do IGRF**

O IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*) é a representação teórica do campo magnético normal da Terra (KEAREY; BROOKS; HILL, 2009). Para se definir uma anomalia magnética é necessário subtrair o valor do campo magnético normal da Terra de cada medida adquirida em campo (KEAREY; BROOKS; HILL, 2009). A partir desta correção que se consegue obter resultados de anomalias acerca da forma orientação e profundidade de um corpo (KEAREY; BROOKS; HILL, 2009).

### **6.3.4 Processamento dos dados corrigidos**

Após realizadas as correções, os dados corrigidos podem ser utilizados para a interpretação da anomalia do campo magnético total. Além disso, podem ser aplicados filtros para destacar feições, realçar ou anular determinadas propriedades físicas de interesse. Diversas técnicas de realce das anomalias magnéticas têm sido estudadas, aplicadas e aprimoradas ao longo últimos anos. Nesse trabalho foi utilizada a Amplitude do Sinal Analítico (ASA), que transforma o dipolo magnético em um monopolo, realçando consequentemente a anomalia (NABIGHIAN, 1972).

A ASA (equação 4) é calculada para determinar as bordas de fontes magnéticas anômalas. O resultado da aplicação desta técnica é que os picos máximos das anomalias magnéticas referentes a fonte ocorrem sobre suas bordas.

(4)

$$ASA = \sqrt{\left(\frac{dA}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dA}{dy}\right)^2 + \left(\frac{dA}{dz}\right)^2}$$

- A = Anomalia magnética

## 7- Resultados e discussões:

A aplicação do método da magnetometria terrestre na área de estudo em 3 perfis paralelos (Figs. 1 e 15), resultou nos dados abaixo apresentados.

### 7.1. Perfis de magnetometria terrestre

Os dados adquiridos em campo mostram que no perfil 1 o valor máximo do campo magnético foi de cerca de 24000 nT, sendo que a rocha aflora nestes valores altos e, o valor mínimo de cerca de 21800 nT (Fig. 15), com duas anomalias magnéticas bem marcadas (Fig. 15) e mais duas anomalias, resultando possivelmente 4 diques com tamanho de 1 a 2 m e extensão de 20 m. O formato geométrico de anomalia dipolar mostra a presença de sinal positivo ao norte em relação ao perfil, com seu respectivo sinal negativo ao sul (Fig. 15).

O perfil 2 apresentou valores máximo de cerca de 23600 nT e mínimo de 22200 nT (Fig. 16), portanto a amplitude das anomalias é menor do que no perfil 1. Ao longo do perfil 2 podem ser observadas duas anomalias magnéticas com comprimento de onda menores e amplitudes maiores, e outras anomalias de maior comprimento de onda (Fig. 16).

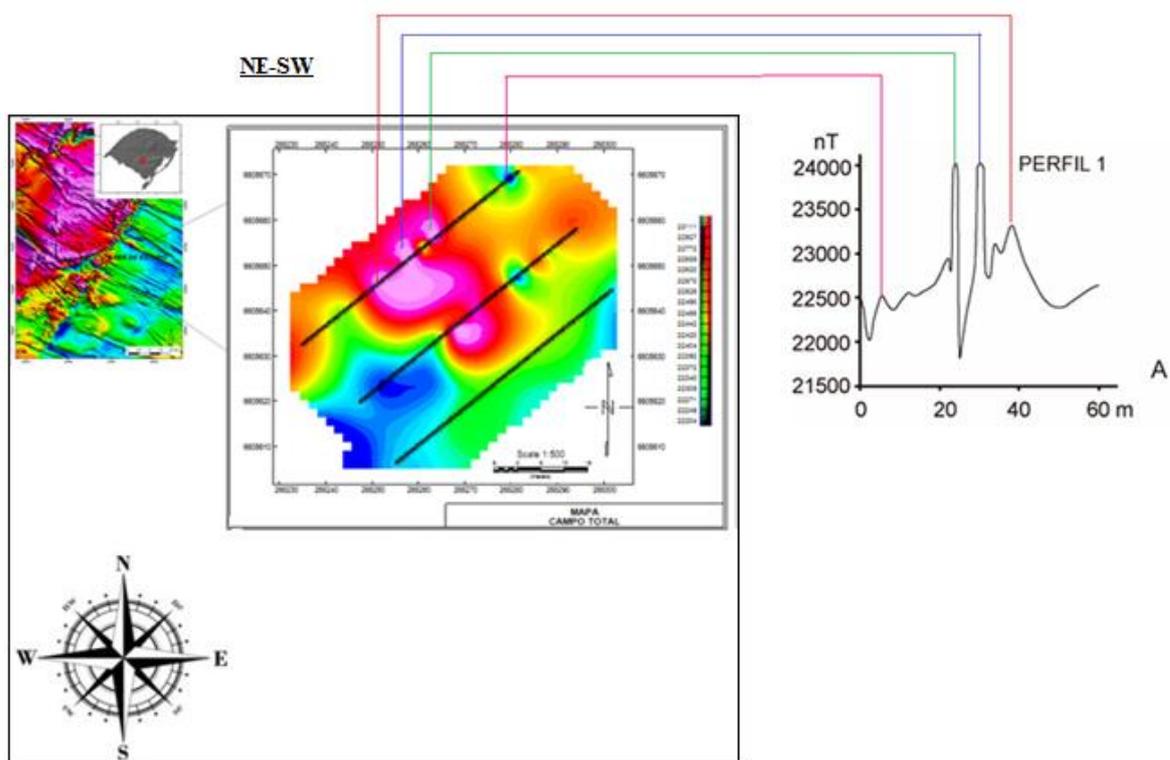
O perfil 3 apresentou valores máximo de 22464 nT e mínimo de 22277 nT, portanto não apresentou anomalia magnética significativa na dimensão do levantamento, somente um gradiente pequeno de aumento e diminuição dos valores do campo magnético total, na direção SW (Fig. 15).

### 7.2. Mapas do campo magnético total e ASA

Os dados pontuais medidos e corrigidos foram interpolados utilizando o algoritmo da mínima curvatura. A partir da interpolação, foram gerados mapas do campo magnético total e

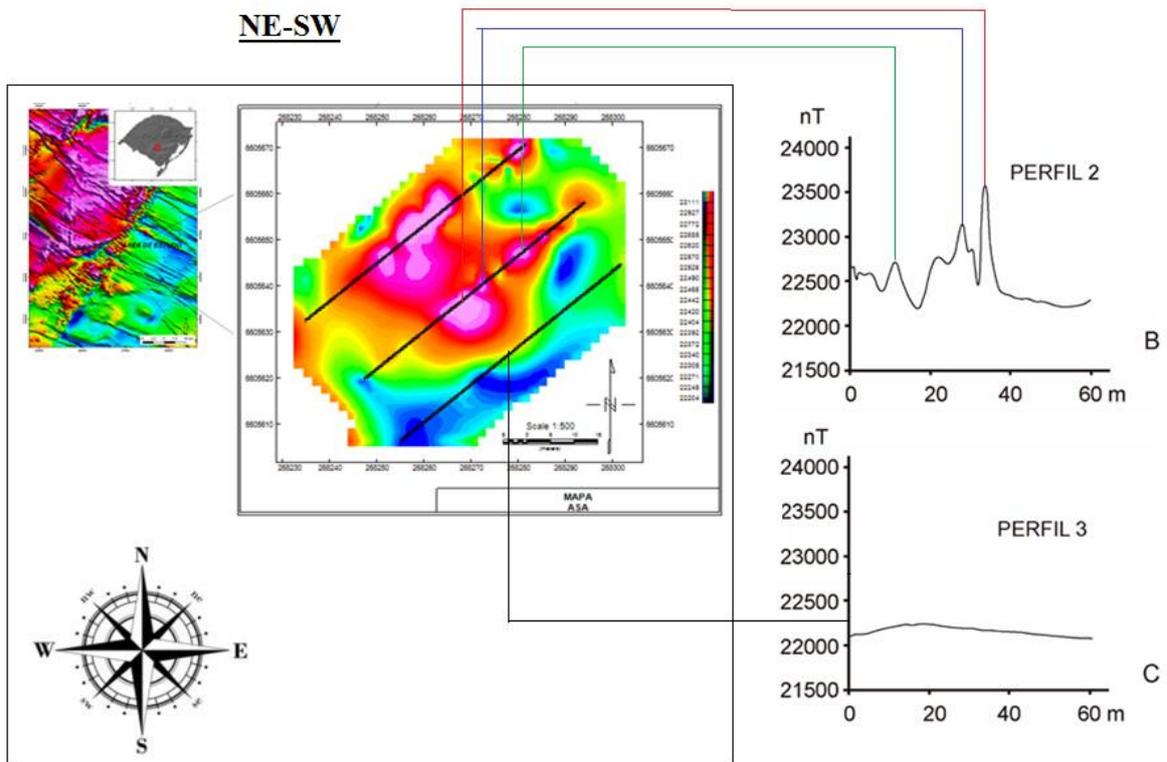
ASA (Fig. 16). No mapa do campo magnético total é possível observar na região central a presença de dipolo magnético anômalo com amplitudes que variam de 22203 nT a 24000 nT com diferença de 1796 nT. Sendo os maiores valores obtidos no primeiro e no segundo perfis.

Figura 15- Perfil 1 + campo total. Os perfis tem a direção NE-SW conforme mostrado na figura 1.



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 16: Perfil 2 e 3 + mapa de ASA



Fonte: Elaborado pelo autor

A região norte da área de estudo não mostra valores anômalos proeminentes que possam fornecer informações relevantes. Ao passo que a região sul apresenta pequenas áreas que possuem baixas amplitudes do campo magnético total com relação ao restante da área de estudo (Fig. 16). As anomalias identificadas mostram eixo na direção NW–SE, que concorda com a direção dos diques contendo hematita intrusivos no GSF (MACHADO et al., 2016).

Ressalta-se a alta resolução oferecida pelos dados magnetométricos terrestres, mostrando o caráter dipolar do campo magnético residual no setor central da área de estudo. O fato do intervalo de amostragem no levantamento magnetométrico terrestre ser de 0,5 metro, permite obter um melhor detalhamento em termos de cobertura de pontos físicos medidos para uma melhor caracterização geofísica das assinaturas magnéticas na área de estudo.

A análise do mapa da ASA permite evidenciar o realce de fontes anômalas na região central do mapa. Essa técnica, transforma o dipolo magnético em um monopólo delimitando corpos rasos colocando o máximo de sua amplitude sobre as bordas das fontes. Com o

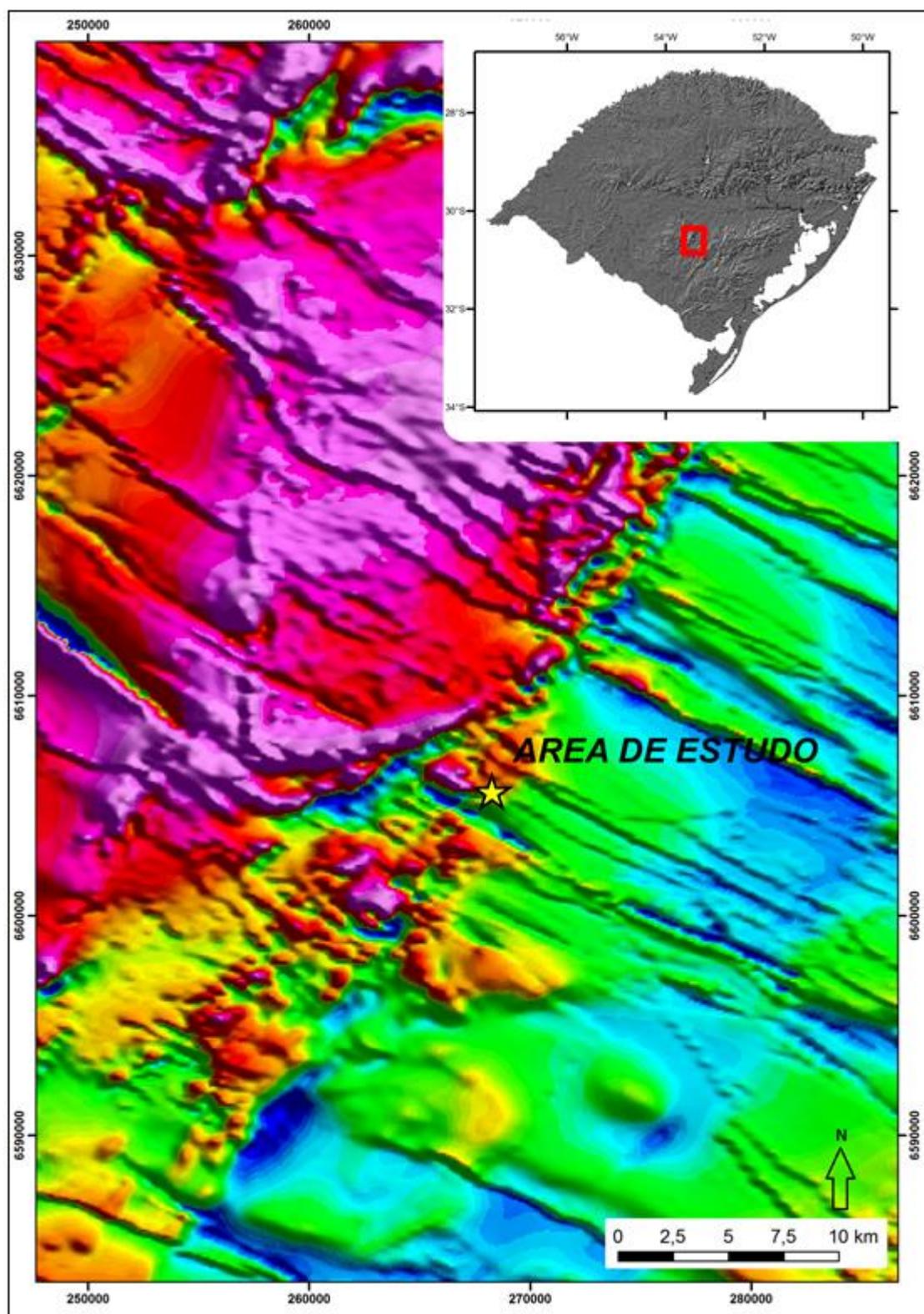
aumento da profundidade, a amplitude do sinal diminui (TELFORD; GELDART; SHERIFF, 1990).

### **7.3. Correlação entre a magnetometria terrestre e aérea**

Geralmente se usa aerolevantamentos magnéticos quando se quer estudar corpos intrusivos, como diques, que tem magnetização maior que a rocha encaixante. Segundo SCHWAR; HOOD; TESKEY (1987) a quantidade grandes de diques é geralmente associado a falhas e fraturas, que por sua vez é associado às anomalias magnéticas. Logo, ao usar aerolevantamentos para detectar diques, em regiões onde estes estejam cobertos por vegetação e conseqüentemente de difícil acesso, gera uma grande probabilidade de detectar corpos de magnetizações diferentes, profundidades e dimensões associadas a estes respectivos lineamentos magnéticos (SCHWAR; HOOD; TESKEY, 1987).

Os dados aerogeofísicos mostram diversas anomalias orientadas na direção NW–SE próximas a área de estudo (Fig. 17). No mapa da figura 17 é possível observar lineamentos magnéticos que correspondem a diques de rochas máficas (WILDNER et al., 2008). A análise das imagens aeromagnetométricas permitiu a identificação de feições magnéticas indicativas de diques e lineamentos estruturais. Dessa forma os dados geofísicos magnéticos aéreos juntamente com os dados geofísicos magnéticos terrestres, mostra que existem estruturas de direção NW–SE que são importantes no contexto geológico regional e podem estar relacionadas a intrusões na forma de diques.

Figura 17: Mapa do campo magnético total da aeromagnetometria.



Fonte: CPRM (2010).

## **9- Considerações Finais**

A aplicação do método de magnetometria terrestre conforme detalhado nos materiais e métodos permitiu compreender a geometria dos corpos magnéticos na área de estudo.

Os mapas do campo magnético total e da ASA mostram anomalias na porção central da área de estudo com orientação aproximada na direção NW–SE. Nas porções S–SE da área o campo magnético total tende a suavizar, indicando um afinamento das estruturas nessa região.

A integração dos dados terrestres com os dados aerogeofísicos mostra que os lineamentos magnéticos observados regionalmente são materializados por estruturas magnéticas de direção NW–SE.

Trabalhos geofísicos e geológicos adicionais na região do GSF são necessários para compreender a geometria dos corpos magnéticos, contribuindo para um melhor entendimento dos processos geológicos envolvidos na região.

## **10- Referências Bibliográficas**

**BITENCOURT, M.F. Metamorfitos da Região de Caçapava do Sul, RS-Geologia e Relações com o Corpo Granítico.** I Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, Porto Alegre, RS. 1983. p. 37-47.

**BORBA, A.W.; MARASCHIN, A.J.; MIZUSAKI, A.M.P. Evolução Tectono-Estratigráfica e Paleoclimática da Formação Maricá (Escudo Sul-Rio-Grandense, Brasil): um Exercício de Geologia Histórica e Análise Integrada de uma Bacia Sedimentar Neoproterozóica.** Pesquisas em Geociências, 2007. P. 34, 57-74.

**BORTOLOTTI, O.J. 1988. Metamorfismo termal dos mármore de Caçapava do Sul.** Ciência e Natura. Santa Maria, RS vol.10. (1988), p.25-48 : il.

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

**CÔRTEZ, A.P. Integração de dados Geofísicos e Geológicos na caracterização morfológica de ocorrência de cobre na borda norte da Bacia do Camaquã (RS).**

**COOPER, G.R.J.; COWAN, D.R. Edge enhancement of potential field data using normalized statistics.** Geophysics. Volume 73, n. 3, H1-H4. 2010.

**CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul.** Escala 1:750.000. 2008.

**FERNANDES, L.A.D.F.; MENEGAT, R.; COSTA, A.F.U; KOESTER, E.; PORCHER, C.C.; TOMMASI, A.; KRAEMER, G.; RAMGRAB, G.E.; CAMOZZATO, E. Evolução Tectônica**

**do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-Rio-Grandense: Parte II – Uma contribuição a partir das assinaturas geofísicas.** Revista Brasileira de Geociências 25, 375-384.

GRANT, F.S.; WEST, G.F. **Interpretation Theory in Applied Geophysics.** McGraw-Hill, 583 p., 1965.

GOOGLE EARTH. Versão 4.3 (beta). Europa Technologies – US Dept. of state Geographer, 2016.

GUADAGNIN, F.; PEREIRA, A.P. **Aquisição e processamento de dados aerofotográficos de parte da margem esquerda do Arroio Irapuá, município de Caçapava do Sul.** Trabalho Técnico – Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul, 2017.

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

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. **Geofísica de Exploração.** São Paulo, 2009. p. 355-390.

LASA PROSPECÇÕES S.A. **Relatório Final do Levantamento e Processamento dos Dados Magnetométricos e Gamaespectrométricos.** Volume I, 83 p., 2010.

LEITE, J.A.D.; HARTMANN, L.A.; MCNAUGHTON, N.J.; CHEMALE JR., F. **SHRIMP U/Pb zircon geochronology of Neoproterozoic juvenile and crustal-reworked terranes in southernmost Brazil.** International Geology Reviews 40, 688-705, 1998.

LOPES, S.M., **Correlação entre dados Geofísicos e Geológicos em ocorrência de cobre localizada na bacia sedimentar do Camaquã-RS.** Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista. Tese de mestrado, Rio Claro – SP. 2013.

LOPES, C.G.; PIMENTEL, M.M.; PHILIPP, R.P.; GRUBER, L.; ARMSTRONG, R.; JUNGES, S. **Provenance of the Passo Feio complex, Dom Feliciano Belt: Implications for the age of supracrustal rocks of the São Gabriel Arc, Southern Brazil.** Journal of South American Earth Sciences 58, 9-17.

LOWRIE, W. **Fundamentals of Geophysics**, Cambridge, 381 p., 2 ed., 2007.

MACHADO, B.N.; MATTÉ, V.; ALMEIDA, D.P.M.; RONDON, K.M.L.; CORREA, A.P.S.; BARCELLOS, M. **Geologia do Granito Santo Ferreira, sudeste de Caçapava do Sul/RS: Resultados preliminares de sensoriamento remoto e relações de campo.** Sociedade Brasileira de Geologia, 48º Congresso Brasileiro de Geologia, 2016.

MILSON, J, **Field geophysics.** John Milson, 3rd ed. Publicação: Chichester: John Wiley. 2003.174p.

MILSON, J. **Field Geophysics**, 3 ed. University College London. Pg. 51-67. 2008.

MILLIGAN, P.R.; GUNN, P.J. **Enhancement and presentation of airborne geophysical data.** AGSO Journal of Geology and Geophysics, 17. pg 63-75. 1997.

NABIGHIAN, M.N. **The analytical signal of 2D magnetic bodies with polygonal cross-section: Its properties and use for automated anomaly interpretation.** Geophysics 37, 507-517. 1972.

NARDI, L.V.S.; BITENCOURT, M.F. **Geologia, petrologia e geoquímica do Complexo Granítico de Caçapava do Sul.** Revista Brasileira de Geociências, 19, 153-169, 1989.

O'LEARY, D.W.; FRIEDMAN, J.D.; POHN, H.A. **Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms.** Geological Society of America Bulletin, v. 87, p. 1463-1469, 1976.

PHILIPP, R.P.; MACHADO, R.; NARDI, L.V.S.; LAFON, M.J. **O magmatismo granítico Neoproterozóico do Batólito Pelotas no Sul do Brasil: Novos dados e revisão da geocronologia regional.** Revista Brasileira de Geociências, 32(2). Pg. 277-290. 2002.

PHILIPP, R.P.; PIMENTEL, M.M.; CHEMALE JR., F. **Tectonic evolution of the Dom Feliciano Belt in Southern Brazil: Geological relationships and U-Pb geochronology.** Brazilian Journal of Geology, 46(Suppl 1): Pg. 83-104. 2016.

PORCHER, C.A.; CUNHA LOPES, R. **Cachoeira do Sul: Folha SH.22-Y-A.** Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. CPRM, Brasília 2000.

REMUS, M.V.D.; HARTMANN, L.A.; MCNAUGHTON, N.J.; GROVES, D.I.; FLETCHER, I.R. **The link between hydrothermal epigenetic copper mineralization and the Caçapava Granite of the Brasiliano cycle in southern Brazil.** Journal of South American Earth Sciences 13, 191-216.

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 29, 131-142, 1989.

SANTOS, D. F, ROSALES, M. T, PILAR, D. A, SILVEIRA, R., **Aplicação do método gamaespectrométrico terrestre em escala de detalhe para a caracterização de ocorrências minerais na localidade Cerro dos Martins, Caçapava do Sul-RS. 2012**

SCHWARZ, E.J.; HOOD, P.J.; TESKEY, DJ. 1987. **Magnetic expression of Canadian diabase dykes and downward modelling.** In: HALLS, H.C. & FAHRIG, W.F. Mafic Dyke Swarms. 34, St. John's, Newfoundland, Geological Association of Canada, p. 153-162. (Special Paper).

SCHON J.H. **Physical properties of rocks: fundamentals and principles of petrophysics.** Pergamon, 592 p., 1996.

TELFORD, W.M.; GELDART, I.P.; SHERIFF, R.E. **Applied Geophysics.** 2 ed. Cambridge University Press, Nova Iorque, 1990, 774p.

TIPLER, P.A. **Física para cientistas e engenheiros: eletricidade e magnetismo, ótica / 5.** Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006. 550 p.

TONIOLO, J.A.; REMUS, M.V.D.; MACAMBIRA, M.J.B.; MOURA, C.A.V. **Metalogênese do Depósito de Cobre Cerro dos Martins, RS, Revisão e Geoquímica Isotópica de Sr, S, O e C.** Pesquisas em Geociências, 2004, 31(2), 41–67.

TRAVASSOS, R.P. **Interpretação Estrutural Regional do Escudo Sul-Riograndense – Rio Grande do Sul, Brasil, com base em aeromagnetometria.** Universidade de Brasília, Dissertação de Mestrado, 2014.

WILDNER, W.; RAMGRAB, G.E.; CUNHA LOPES, R.; IGLESIAS, C.M.F. **Geologia e Recursos Minerais do estado do Rio Grande do Sul.** CPRM, Programa Geologia do Brasil, escala 1:750.000, 2008.

[www.wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp](http://www.wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp)