

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

## INTEGRAÇÃO DE GEOLOGIA E MAGNETOMETRIA NA PORÇÃO SUDESTE DO CINTURÃO DOM FELICIANO, RS

Renato Luiz da Silveira

ORIENTADOR – Prof. Dr. Edinei Koester

Porto Alegre – 2020

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**INTEGRAÇÃO DE GEOLOGIA E MAGNETOMETRIA NA  
PORÇÃO SUDESTE DO CINTURÃO DOM FELICIANO, RS**

Renato Luiz da Silveira

ORIENTADOR – Prof. Dr. Edinei Koester

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Alexandre Felipe Bruch  
Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Everton Frigo  
Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Pampa

Prof. Dr. Jairo Francisco Savian  
Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dissertação de Mestrado apresentada como  
requisito parcial para a obtenção do Título  
de Mestre em Geociências.

Porto Alegre – 2020

*"AOS MEUS QUERIDOS  
FAMILIARES, ORIENTADOR  
E COLEGAS GEÓLOGOS  
POR ACREDITAREM  
EM MIM E APOIAR-ME NOS  
MOMENTOS  
"DE DIFICULDADES".*

*“A sorte favorece os audazes”*

(Alexandre “O Grande”)

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa geológico simplificado do Escudo Uruguaio-sul-rio-grandense (modificado de Masquelin <i>et al.</i> , 2012). A) Configuração do paleocontinente Gondwana Ocidental; B) Cinturões orogênicos da Província Mantiqueira (Almeida <i>et al.</i> , 1981) e do Orógeno Damara (Gray <i>et al.</i> , 2008); C) Cinturão Dom Feliciano e Cráton Río de la Plata no Escudo Uruguaio-sul-rio-grandense e os diferentes domínios geofísicos: ocidental, central e oriental. Indicação da área de estudo apresentada na Figura 2 (retângulo preto).....	16
<b>Figura 2.</b> Domínios geofísicos do Escudo Sul-rio-grandense propostos por Costa (1997).....	21
<b>Figura 3.</b> Compartimentação geotectônica do Escudo Uruguaio-Sul-rio-grandense a partir das assinaturas geofísicas, obtidas com a gravimetria e aeromagnetometria, Fernandes <i>et al.</i> (1995b).....	22
<b>Figura 4.</b> Mapa geofísico de primeira derivada vertical do Escudo Sul-rio-grandense com destaque para as principais descontinuidades geofísicas e a separação do Cinturão Dom Feliciano em Domínio Geofísico Oeste (DGO), Domínio Geofísico Central (DGC) e Domínio Geofísico Leste (DGE) e do Domínio Geofísico Sudeste (DGSE). Extraído de Ramos <i>et al.</i> (2014).....	24
<b>Figura 5.</b> Mapa aeromagnético residual da porção sudeste do Escudo Sul-rio-grandense enfatizando anomalias magnéticas E-W associadas a diques básicos. (Costa e Ramgrab, 1989).....	25
<b>Figura 6.</b> Mapa magnetométrico da segunda derivada vertical para a região de Pinheiro Machado, RS, com a individualização e diversos corpos básicos (e.g. Alto Alegre Passo da Fabiana). As linhas tracejadas marcam as principais estruturas regionais relacionando-as aos corpos básicos, os quais estão delimitados com contorno em linha branca contínua (Barbosa <i>et al.</i> , 2016).....	26
<b>Figura 7.</b> Histograma mostrando os valores médios e intervalos de suscetibilidade de tipos de rochas mais comuns (Kearey, 2009).....	27
<b>Figura 8.</b> Plano de vôo típico para um levantamentos aeromagnéticos (Kearey, 2009).....	29
<b>Figura 9.</b> a) Imagem dos dados não micronivelados; b) imagem dos dados aeromagnéticos depois do micronivelamento (Minty, 1991).....	30
<b>Figura 10.</b> Fluxograma esquemático com as técnicas de filtragens utilizadas no processamento dos dados aeromagnetométricos e os produtos gráficos finais obtidos através da aplicação dos diferentes filtros.....	34

## **LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1.</b> Suscetibilidade magnética de rochas conforme Telford (1990).....	28
<b>Tabela 2.</b> Exemplos de valores de susceptibilidade magnética medida em algumas unidades estudadas no presente trabalho.....	36

## CIP - Catalogação na Publicação

Luiz da Silveira, Renato  
INTEGRAÇÃO DE GEOLOGIA E MAGNETOMETRIA NA PORÇÃO  
SUDESTE DO CINTURÃO DOM FELICIANO, RS / Renato Luiz  
da Silveira. -- 2020.  
70 f.  
Orientador: Edinei Koester.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa  
de Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, BR-RS,  
2020.

1. Aerogeofísica. 2. Magnetometria. 3. Terreno  
Punta del Este. 4. Terreno Pelotas. 5. Modelagem 2/5D.  
I. Koester, Edinei, orient. II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os  
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

## RESUMO

No sudeste do Cinturão Dom Feliciano, RS, ocorre o limite entre os Terreno Pelotas e o Terreno Punta Del Leste, sendo este limite materializado pelo Zona de Cisalhamento Ayrosa Galvão, uma estrutura com orientação NE-SW. Essa zona delimita dois importantes domínios geofísicos, o domínio 01, com predomínio de alinhamento magnéticos e lineamentos geológicos NE-SW e o domínio geofísicos 02 e 03, ambos com o predomínio com predomínio de alinhamento magnéticos e lineamentos geológicos E-W. A integração de dados geológicos e de aeromagnetometria foi realizada a partir da execução de dois perfis geofísicos (N-S) na área. No perfil A-A', realizado em parte do Terreno Pelotas e parte no Terreno Punta del Este, uma análise qualitativa do modelo sugere três patamares de susceptibilidade na ordem do décimo, centésimo) e milésimo para unidade padrão de  $10^{-3}$  (SI), refletindo diferenças de unidades geológicas. O modelo geofísico-geológico refletem a ordem decimal associado as rochas máficas, e.g. o Gabro Desvio Herval e a demais intrusões de composição básicas, já na ordem do centésimo, podem ser associadas as rochas do Complexo Pinheiro Machado e/ou Gnaisses Arroio Pedrado. A Suíte Dom Feliciano e granitos sincinemáticos, como a Granito Três Figueiras, apresentam os valores na ordem de milésimo. O perfil modelado sugere a presença de rochas básicas em subsuperfície preenchendo fratura extensionais formando corpos tabulares subvertical. Na porção sul do perfil, um dos corpos modelados esta associada à zona de cisalhamento Arroio Grande que serviu com conduto ao fluido magmático básico. Este corpo situa-se a 385 metros em subsuperfície e se estende cerca de 16 km de profundidade com uma espessura de 250 metros e mergulho de  $80^{\circ}$  N. No perfil B-B', realizado exclusivamente no Terreno Punta del Este, uma análise qualitativa do modelo também sugere três patamares de susceptibilidade na ordem do décimo, centésimo e milésimo para unidade padrão de  $10^{-3}$  (SI), refletindo diferenças de unidades geológicas. O modelo geofísico-geológico refletem a ordem decimal associado a rochas máfias, e.g. o Basaltos da Formação Serra Geral, já na ordem do centésimo, podem ser associadas às rochas do Complexo Arroio Grande e/ou Complexo Arroio Telho. O Granito Bretanha e granitos sin-cinemáticos, como a Granito Chasqueiro, apresentam os valores na ordem de milésimo. O perfil modelado sugere a presença de rochas básicas não aflorantes em superfície, preenchendo fratura extensionais formando corpos não tabulares, subverticais a inclinados, em geral com 12 km de profundidade e espessuras da ordem de 300 m. Assim, o arcabouço geológico-

geofísico da área permite que a área seja interpretada como uma zona de fechamento de um paleo-oceano com geração de um arco magmático sobre uma crosta pretérita, e que posteriormente ocorreu à atuação de zona de cisalhamento com a intrusão de granitoides seguido do relaxamento termal e a intrusão de granitoides tardios e rochas básicas associadas ao neoproterozoico. O último evento na área está registrado pelas intrusões mesozoicas associado ao magmatismo da Fm Serra geral.

Palavras-chave: Aeromagnetometria, Escudo Sul-rio-grandense, Terreno Pelotas, Terreno Punta del Este

## ABSTRACT

In the southeast of the Dom Feliciano Belt, RS, there is the limit between the Pelotas Terrane and the Punta Del Leste Terrane, this limit is registered by the Ayrosa Galvão Shear Zone, a NE-SW structure. This zone delimits two important geophysical domains: domain 1, with predominance of magnetic alignment and NE-SW geological lineaments and geophysical domain 2 and 3, both with predominance with predominance of magnetic alignment and E-W geological lineaments. The integration of geological data and aeromagnetometry was carried out from the execution of two geophysical profiles (N-S) in the area. In the AA' profile, carried out in part of the Pelotas Terrane and part in the Punta del Este Terrane, a qualitative analysis of the model suggests three levels of susceptibility in the order of tenth, hundredth and thousandth for standard  $10^{-3}$  (SI) units, reflecting differences in geological units. The geophysical-geological model reflects the decimal order associated with mafic rocks, e.g. Gabbro Desvio Herval and other basic composition intrusions, already in the order of the hundredth, can be associated with the rocks of the Pinheiro Machado Complex and / or Gnaisses Arroio Pedrado. The Dom Feliciano Suite and synkinematic granites, such as Granito Três Figueiras, present values in the order of a thousandth. The modeled profile suggests the presence of basic rocks in a subsurface extension fractures forming subvertical tabular bodies. In the southern portion of the profile, one of the modeled bodies is associated with the Arroio Grande shear zone, which served as a conduit for the basic magmatic fluid. This body is located at 385 meters in subsurface and extends about 16 km in depth with a thickness of 250 meters and dipping of  $80^\circ$  N. In the profile B-B', carried out exclusively in the Punta del Este Terrane, a qualitative analysis of the model it also suggests three levels of susceptibility in the order of tenth, hundredth and thousandth for the standard unit of  $10^{-3}$  (SI), reflecting differences in geological units. The geophysical-geological model reflects the decimal order associated with mafic rocks, e.g. the Basalts of the Serra Geral Formation, already in the order of the hundredth, can be associated with the rocks of the Arroio Grande Complex and/or Arroio Telho Complex. Synkinematic granites, such as Chasqueiro Granite, present values in the order of a thousandth. The modeled profile suggests the presence of basic rocks not outcropping on the surface, filling extension fractures forming non-tabular bodies, subvertical to inclined, generally 12 km deep and thickness of the order of 300 m. Thus, the geological-geophysical framework of the area allows the area to be interpreted as a closing zone of a paleo-ocean with the generation of a magmatic arc over a past crust, and that later the shear zone occurred with the intrusion of granitoids followed by thermal relaxation and the intrusion of late granitoids and basic rocks associated with neoproterozoic. The last event in the area is registered by the Mesozoic intrusions associated with the magmatism of Fm Serra Seral.

Keywords: Aeromagnetic, Sul-rio-grandense Shield, Pelotas Terrane, Punta del Leste Terrane.

## SUMÁRIO

### PARTE I

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1 Objetivos .....	14
1.2 Localização da área de estudo e arcabouço geológico do Escudo Sul-rio-grandense.....	15
1.3 Arcabouço geofísico do Escudo Sul-rio-grandense.....	20
1.4 Magnetometria: Propriedades magnéticas das rochas .....	26
1.5 Redução das observações magnéticas.....	29
1.6 Transformações do Campo Potencial - Continuação para cima.....	31
1.7 Materiais e métodos.....	32
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>37</b>

### PARTE II

<b>Artigo: “Arcabouço geofísico-geológico do setor sudeste do Cinturão Dom Feliciano, RS”, submetido ao periódico “Geologia USP, Série Científica” .....</b>	<b>44</b>
--	-----------

### PARTE III

<b>Anexos.....</b>	<b>70</b>
--------------------	-----------

### **Estrutura da dissertação:**

Esta dissertação de mestrado está estruturada em torno do artigo **“Arcabouço geofísico-geológico do setor sudeste do Cinturão Dom Feliciano, RS”** submetido ao periódico “Geologia USP, Série Científica”. Sua organização compreende as seguintes partes principais:

Parte I: Introdução sobre o tema e descrição do objeto de pesquisa de mestrado, onde estão sumarizados os objetivos e a filosofia de pesquisa desenvolvida, bem como o estado da arte sobre o tema da pesquisa;

Parte II: Artigo submetido a periódico com corpo editorial permanente e revisores independentes, escritos pelo autor durante o desenvolvimento do mestrado;

Parte III: Anexos.

# PARTE I

## 1 INTRODUÇÃO

Através do uso integrado de dados aeromagnéticos, gravimétricos e geológicos em uma abordagem quantitativa Rosales (2004) estimou os padrões geométricos de corpos básicos e ultrabásicos mesozoicos na porção sudeste do Cinturão Ribeira.

Por sua vez, Costa e Ramgrab (1989) através de modelamento 2/5D de dados aeromagnéticos estabeleceram padrões geométricos de corpos intrusivos básico Escudo Sul-rio-grandense, interpretando os mesmo como diques básico associadas ao magmatismo da Formação Serra Geral.

A integração de aeromagnetometria com a geologia possibilitaram a Fernandes *et al.* (1995b) e Costa (1997) delimitar importantes blocos geofísicos no Escudo Sul-rio-grandense, uma importante contribuição a evolução do conhecimento geológico do escudo. Dessa forma, o uso de dados aeromagnéticos tem auxiliado os estudos geológicos uma vez que permite individualizar descontinuidades geofísicas (e.g. suturas, zonas de cisalhamento), separar lineamento e domínios magnéticos, rastrear corpos anômalos.

Assim, nessa dissertação serão integrados dados geológicos e dados aeromagnetométricos da porção sudeste do Cinturão Dom Feliciano, RS, uma área onde as interpretações geológicas tem evoluído ao longo dos últimos anos, com a ocorrência de rochas de fundo de assoalho oceânico (Ramos *et al.*, 2018), de arco magmático toniano (~780 Ma, Vieira *et al.*, 2019), por vezes apresentando estruturas ainda pouco investigas (e.g. Zonas e Cisalhamento Arroio Grande, Klein *et al.*, 2019), onde os estudos geofísicos em conjunto com os estudos geológicos, podem contribuir no entendimento da evolução dessa área do Cinturão Dom Feliciano. Ainda, é apresentado o artigo denominado “**Arcabouço geofísico-geológico do setor sudeste do Cinturão Dom Feliciano, RS**” submetido para publicação no periódico “*Revista Série Científica-USP.*”, onde são realizados perfis magnetométricos e geológicos que são integrados e interpretados visando a evolução do cenário geológico do sudeste do Cinturão Dom Feliciano.

## 1.1 Objetivos

O objetivo dessa dissertação é integrar dados de magnetometria e de geologia da porção sudeste do Cinturão Dom Feliciano apresentando uma interpretação sobre a evolução geológica da área.

Como objetivos específicos:

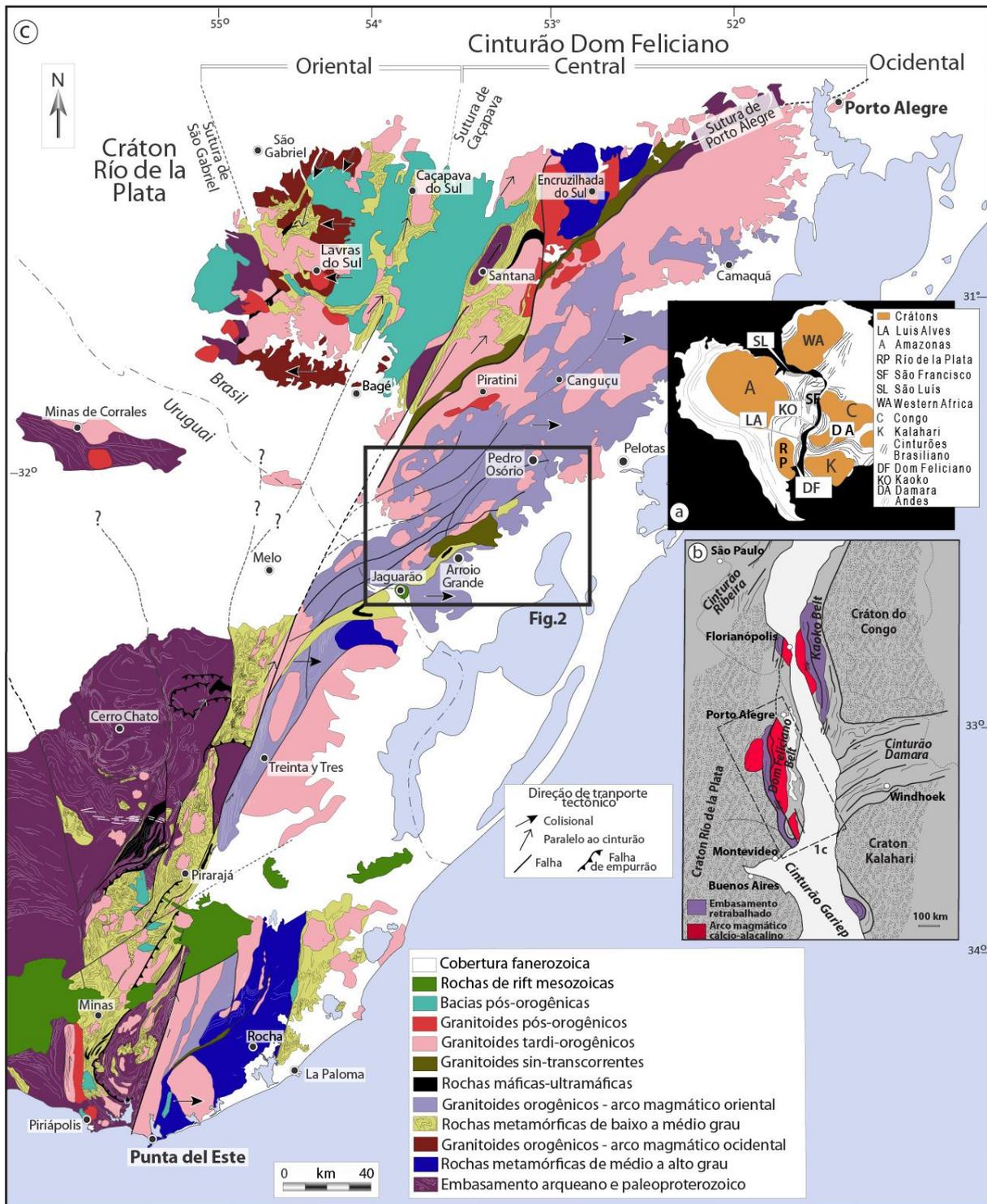
- Descrever as rochas em dois perfis aproximadamente norte-sul na região sudeste do cinturão;
- Analisar o comportamento das assinaturas magnéticas nos dois perfis;
- Identificar domínios geofísicos na área onde serão descritos os dois perfis;
- Identificar discontinuidades geofísicas com base nessa integração geologia e geofísica na área de estudo (e.g. zonas de cisalhamentos, suturas, reativações);
- Integrar e interpretar os dados obtidos com os disponíveis na literatura;
- Propor um modelo de evolução geológica para as rochas na região sudeste do Cinturão Dom Feliciano, RS.

## 1.2 Localização da área de estudo e arcabouço geológico do Escudo Sul-rio-grandense

A região de estudo está situada no extremo sul da porção brasileira do Escudo Sul-rio-grandense. Esse escudo é separado em duas grandes unidades, o Cráton Rio de la Plata e o Cinturão Dom Feliciano, esse último configura quase a totalidade do Escudo Sul-rio-grandense (porções oriental, central e ocidental), excluindo-se o extremo oeste onde afloram as rochas do Cráton Rio de la Plata (Fig. 1).

O Craton Rio de La Plata é uma área no oeste no escudo onde predominam rochas granulíticas paleoproterozoicas do Complexo Granulítico Santa Maria Chico interpretado como o registro de um arco magmático de 2,4 a 2,1 Ga (Nardi e Hartman, 1979).

O Cinturão Dom Feliciano é um cinturão orogênico neoproterozoico desenvolvido durante o ciclo orogênico Brasileiro, o qual resultou na amalgamação do paleocontinente Gondwana Ocidental (Heilbron *et al.*, 2004). O Cinturão Dom Feliciano se estende por aproximadamente 1200 km desde Punta del Este, no Uruguai, até o nordeste do estado de Santa Catarina no Brasil.



**Figura 1.** Mapa geológico simplificado do Escudo Uruguaio-sul-rio-grandense (modificado de Masquelin *et al.*, 2012) – A) Configuração do paleocontinente Gondwana Ocidental; B) Cinturões orogênicos da Província Mantiqueira (Almeida *et al.*, 1981) e do Orógeno Damara (Gray *et al.*, 2008); C) Cinturão Dom Feliciano e Crátón Río de la Plata no Escudo Uruguaio-sul-rio-grandense e os diferentes domínios geofísicos: ocidental, central e oriental. Indicação da área de estudo apresentada na Figura 2 (retângulo preto).

As porções do Cinturão Dom Feliciano foram delimitadas a partir de descontinuidades geofísicas de escala continental (Fernandes *et al.*, 1995; Costa, 1997). Sob ponto de vista geológico-geológico esses domínios no Cinturão Dom Feliciano podem ser simplificados como:

a) Domínio Ocidental, em limite a oeste com o cráton, tem o predomínio de rochas ígneas e metamórficas relacionadas a arcos magmáticos e fragmentos de rochas de assoalho oceânico e bacias associadas (Kraemer, 1995; Leite *et al.*, 1998);

b) Domínio Central, em limite com o Domínio Ocidental dado pela Sutura de Caçapava, onde dominam rochas metasedimentares vinculadas a bacias de *back-arc* e/ou *forearc*, bem como fragmentos de rochas paleoproterozoicas ortoderivadas (Porcher *et al.*, 1999, Remus *et al.*, 2002; Philipp *et al.*, 2004; Gregory, 2015);

c) Domínio Oriental, em limite com o Domínio Central, dado pela Sutura de Porto Alegre (e/ou Zona de Cisalhamento Transcorrente Dorsal de Canguçu), formado predominantemente por rochas granitoides criogenianas (Complexo Pinheiro Machado) relacionadas a um arco magmático e/ou pós-colisionais e intenso magmatismo vinculado a zonas de cisalhamento (Philipp, 1998; Koester *et al.*, 2002; Bitencourt e Nardi, 2002). A porção sudeste do Domínio Oriental do Cinturão Dom Feliciano foi subdividida no denominado Terreno Punta del Este, em limite dado pela Sutura Arroio Grande (ou Zona de Cisalhamento Arroio Grande), e formado por rochas metasedimentares vinculadas a bacias de *back-arc* e/ou *forearc*, bem como fragmentos de rochas de assoalho oceânico e rochas neoproterozoicas tonianas orto e paraderivadas vinculadas a um arco magmático (Lenz *et al.*, 2012; Peel *et al.*, 2018; Ramos *et al.*, 2018, Cruz, 2019).

No final do neoproterozoico (< 600 - 550 Ma) diversos corpos plutônicos intrudem de forma sistemática todo o Escudo Sul-rio-grandense (e.g. Granito Santo Afonso – Cráton Rio de la Plata (Camozzato *et al.*, 2013); Granito Caçapava do Sul – Domínio Ocidental (Bitencourt e Nardi, 1999); Sienito Piquiri – Domínio Central (Pla Cid *et al.*, 2004); Granito Capão do Leão – Domínio Oriental (Silva, 2015); Granito Bretanha, Terreno Punta del Este (Cruz, 2019)). Ainda no final do neoproterozoico e início do Cambriano ocorre acima das rochas do escudo a deposição de Bacia do Camaquã representado por expressiva sedimentação e vulcanismo na porção centro-oeste do escudo (Paim *et al.*, 2000).

A porção onde se desenvolveu a presente pesquisa, está inserida no limite entre os domínios oriental e o domínio sudeste, respectivamente o Terreno Pelotas e o Terreno Punta del Leste

Ao longo da área de estudo podem ser sumarizadas nove unidades (ver Ramos *et al.*, 2018, Cruz, 2019) assim resumidas para adequação no presente trabalho: (a) rochas intrusivas básicas – Gabros Desvio Herval; b) granitoides da Suíte Pinheiro Machado; c) granitoides da Suíte Dom Feliciano; d) Embasamento do Terreno Punta del Este (Gnaisses Arroio Pedrado); e) Granito Chasqueiro; f) Granito Três Figueiras, g) metamorfitos do Complexo Arroio Grande; h) Granito Bretanha; i) metamorfitos do Complexo Arroio Telho. Maiores detalhes dessas unidades podem ser obtidos nas referências em apresentadas em cada unidade:

*Gabros Desvio Herval* – De forma restrita, ocorrem na região entre os limites dos domínios Leste e Sudeste alguns corpos básicos intrusivos, os quais foram individualizados em trabalhos anteriores (Fragoso-Cesar, 1991; Dal Olmo-Barbosa, 2017; Dal Olmo-Barbosa *et al.*, 2018). Segundo o último autor, essas rochas compreendem intrusões gabroicas de pequeno porte, com caráter predominantemente básico. Esta ocorrência está inserida na referida Associação I, composta por rochas gabroicas, em geral cumuladas, com idade de cristalização de  $591 \pm 4$  Ma (Gabros Passo da Fabiana). Constituem rochas subalcalinas, com afinidade cálcio-alcalina médio-K (Al) com altos teores de alumina ( $Al_2O_3 > 17\%$ ) (Dal Olmo-Barbosa *et al.*, 2018). Destaca-se ainda como caráter importante para este trabalho, a contrastante assinatura magnética destes corpos com as encaixantes, sendo os primeiros geralmente representados por altos magnéticos relativos e/ou pronunciadas anomalias dipolares.

*Complexo Pinheiro Machado* – Na região entre os limites dos domínios Leste e Sudeste são encontrados granitoides da Complexo Pinheiro Machado. Ao longo do caminamento predominam granitoides porfíricos com foliação bem desenvolvida e deformação indicativa de alta temperatura. Esta suíte, também denominada de Complexo Pinheiro Machado, devido a ocorrências localizadas de rochas metamórficas diversas (Fragoso-César, 1991), apresenta litologias variadas compreendendo desde granitoides porfíricos, ortognaisses, migmatitos e enclaves máficos, comumente milonitizados contendo xenólitos metamórficos. Segundo Philipp (1998) o magmatismo granítico desta suíte está associado com a evolução das zonas de cisalhamento direcionais dúcteis de alto ângulo, as quais controlaram a evolução do Cinturão Dom

Feliciano como um todo. Esses granitoides, entretanto, podem estar relacionados ao encerramento de um paleo-oceano, devido à sua assinatura geoquímica relacionada à subducção e a presença de xenólitos com assinatura geoquímica oceânica (Ramos e Koester, 2015).

Suíte Dom Feliciano – Na região entre os limites dos domínios Leste e Sudeste são encontrados granitoides que correspondem a sienogranitos e monzogranitos, respectivamente, das fácies Serra do Erval e Cerro Grande (CPRM, 2008). Os monzogranitos são, de maneira geral, porfiríticos, homogêneos, englobando enclaves granodioríticos a tonalíticos. Segundo Philipp *et al.* (2001), os corpos dessa suíte intrudem todas as demais suítes do Terreno Pelotas, ocupando cerca de 20 % da área total do mesmo. Segundo Philipp *et al.* (2002) a Suíte Dom Feliciano tem grande homogeneidade composicional, estrutural e petrográfica. Nesta, os granitos são predominantes, ocorrendo de forma subordinada quartzo-sienitos e sienitos, os quais raramente contém enclaves microgranulares máficos e micáceos.

Gnaisse Arroio Pedrado - O Gnaisse Arroio Pedrado corresponde a um granito porfirítico metamorfoisado em fácies anfíbolito, com trama subvertical e assinatura química shoshonítica, vinculada aos estágios finais do magmatismo de arco magmático Piratini. Sua idade de cristalização é de  $680 \pm 4$  Ma, com metamorfismo estimado em  $660 \pm 4$  Ma (Vieira *et al.*, 2019).

Granito Chasqueiro – Na porção final do perfil A-A' e inicial do perfil B-B', já no Domínio Sudeste, são encontrados afloramentos do Granito Chasqueiro. Esse granito apresenta coloração cinza claro e composição monzogranítica a sienogranítica, com textura porfirítica a heterogranular grossa com fenocristais de ortoclásio em matriz equigranular, hipidiomórfica grossa (5 a 8 mm), composta por quartzo, microclínio, plagioclásio, biotita e rara hornblenda. Segundo Vieira *et al.* (2016), o Granito Chasqueiro possui composição entre monzogranítica e sienogranítica com M' variando entre 4 e 7 %. Sua principal característica é a textura porfirítica, constituída por megacristais hipidiomórficos de K-feldspato com tamanho médio de 4 cm, podendo chegar a 8 cm. Os megacristais de K-feldspato compõem 30 a 60% da rocha e estão imersos em uma matriz hipidiomórfica equigranular grossa (5 a 8 mm), constituída por K-feldspato, plagioclásio, quartzo, biotita  $\pm$  anfíbólio. Ainda segundo esse autor, o granito varia de sieno a monzogranito subalcalino, do tipo cálcio-alcalino alto-K, de natureza metaluminosa a levemente peraluminosa, com a idade cristalização de  $574 \pm 3$  Ma.

Granito Três Figueiras – A sul do Granito Chasqueiro são encontrados extensos lajeados do Granito Três Figueiras. Em geral os afloramentos são constituídos por leucogranito com duas micas (muscovita e biotita), granada e turmalina, com textura heterogranular média, alotriomórfica. Possui algumas zonas deformadas e milonitizadas em diferentes graus, com foliação magmática e metamórfica orientada segundo a direção ENE–WSW e mergulho subvertical, relacionadas à Zona de Cisalhamento Arroio Grande, a qual afeta quase a totalidade desta unidade. Segundo Philipp e Machado (2005) e Klein *et al.* (2018), é comum a presença de enclaves máficos e metamórficos. A idade de cristalização desse granito está compreendida entre ca. 585 (Klein *et al.*, 2018) e 573 Ma (Cruz *et al.*, 2019).

Complexo Arroio Grande – A sul do Granito Três Figueiras foram encontradas unidades metaultramáficas-máficas e metassedimentares do Complexo Arroio Grande. Entre as unidades metaultramáficas e metamáficas são encontrados corpos métricos a decamétricos de serpentinitos e anfibolitos. A principal ocorrência são micaxistos e quartzitos. Todas as unidades estão milonitizadas, com suas estruturas concordantes à Zona de Cisalhamento Arroio Grande, a qual afeta a área como um todo. Segundo Ramos *et al.* (2018), essas rochas representam fragmentos metamorfizados de uma paleo-bacia oceânica, cuja idade mínima de incorporação à crosta continental é de ca. 640 Ma.

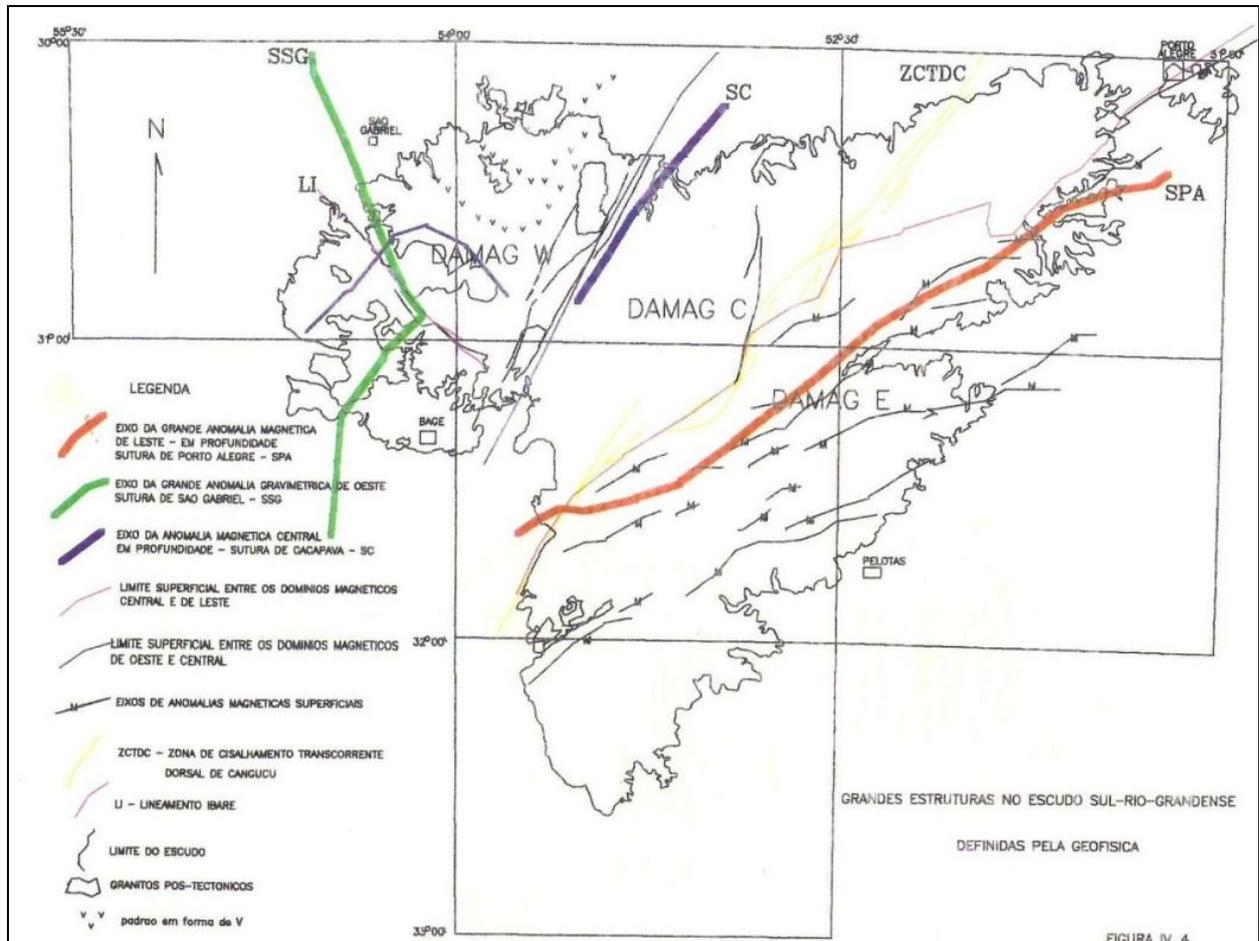
Granito Bretanha - Granito porfirítico (megacristais de K-feldspato) com matriz equigranular grossa, maciço, com química calcico-alcalina vinculada aos estágios finais do magmatismo criogeniano ( $572 \pm 5$  Ma) na região (Cruz, 2019).

Complexo Arroio Telho – A sul do Complexo Arroio Grande são encontrados xistos pelíticos do Complexo Arroio Telho. Nos afloramentos visitados predominam muscovita xistos, similares aos encontrados em Arroio Grande. De acordo com Cruz *et al.* (2019), a idade máxima de deposição dessas rochas é de ca. 630 Ma.

### **1.3 Arcabouço geofísico do Escudo Sul-rio-grandense**

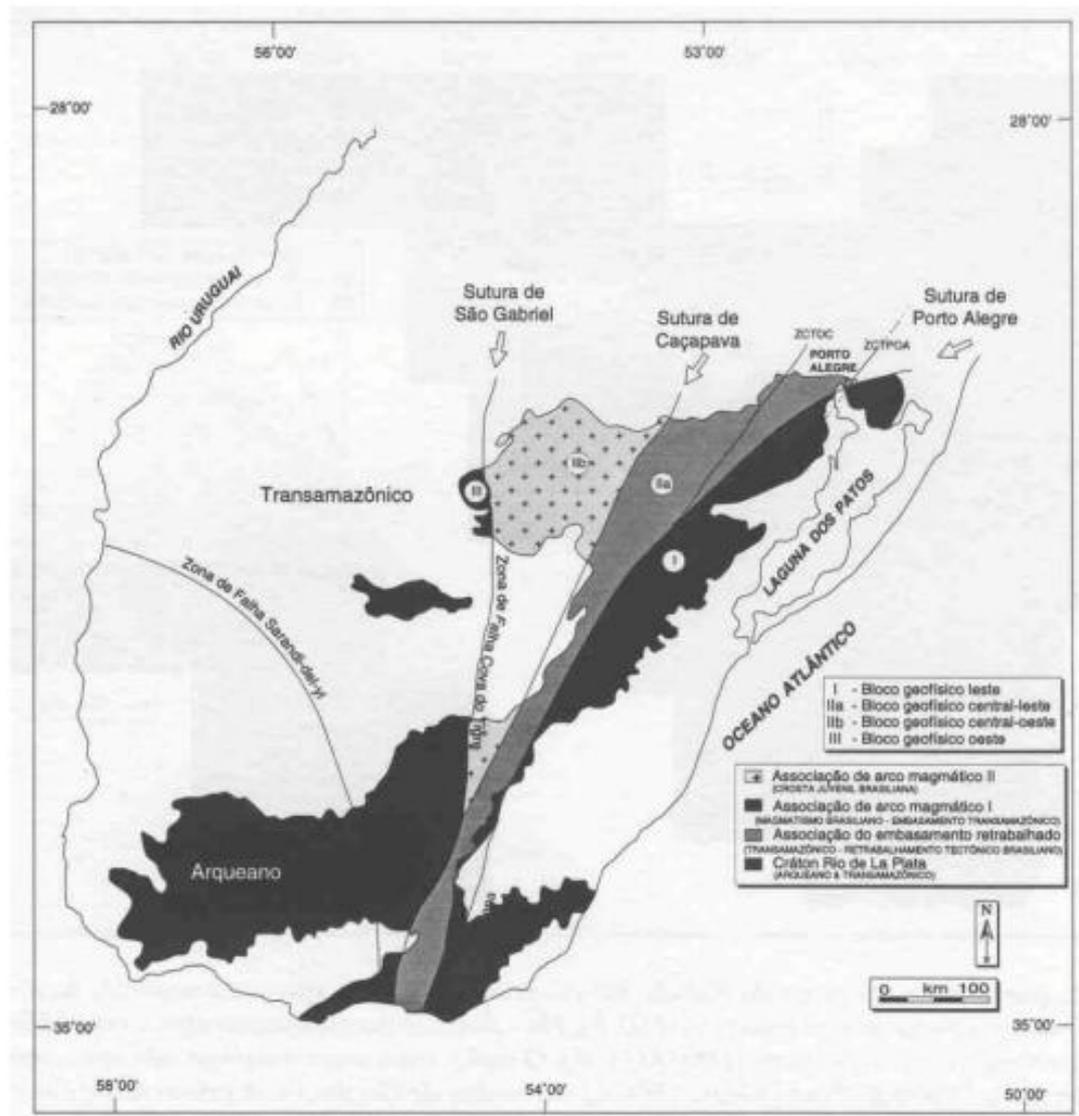
Segundo Hallinan *et al.* (1993) o Cinturão Dom Feliciano é caracterizado por anomalias magnéticas alinhadas com as estruturas principais NE-SW. Costa *et al.*, (1997), interpretando dados dos dados areogeofísicos do projeto Camaquã (Jackson *et al.*, 1973) e projeto Areogeofísico do Sudoeste do Brasil (Anjos e Mourão, 1987), definiu três domínios geofísicos denominados: Domínio Leste, Domínio Central e

Domínio Oeste (Fig. 3). Estes domínios foram definidos por assinaturas anômalas magnéticas e gravimétricas, associadas a estruturas profundas mapeadas conhecidas ou não em superfície.



**Figura 3.** Domínios geofísicos do Escudo Sul-rio-grandense propostos por Costa (1997).

Segundo Fernandes *et al.* (1995b) a porção ocidental, central e oriental do ESRG são separados por importantes discontinuidades gravimétricas e aeromagnetométricas que correspondem às associações de rochas com características petrogenéticas compatíveis e típicas de determinados ambientes geotectônicos. Denominaram estas discontinuidades de blocos geofísicos (Fig. 4).



**Figura 4.** Compartimentação geotectônica do Escudo Uruguaio-Sul-rio-grandense a partir das assinaturas geofísicas, obtidas com a gravimetria e aeromagnetometria. (Extraído de Fernandes *et al.*, 1995b).

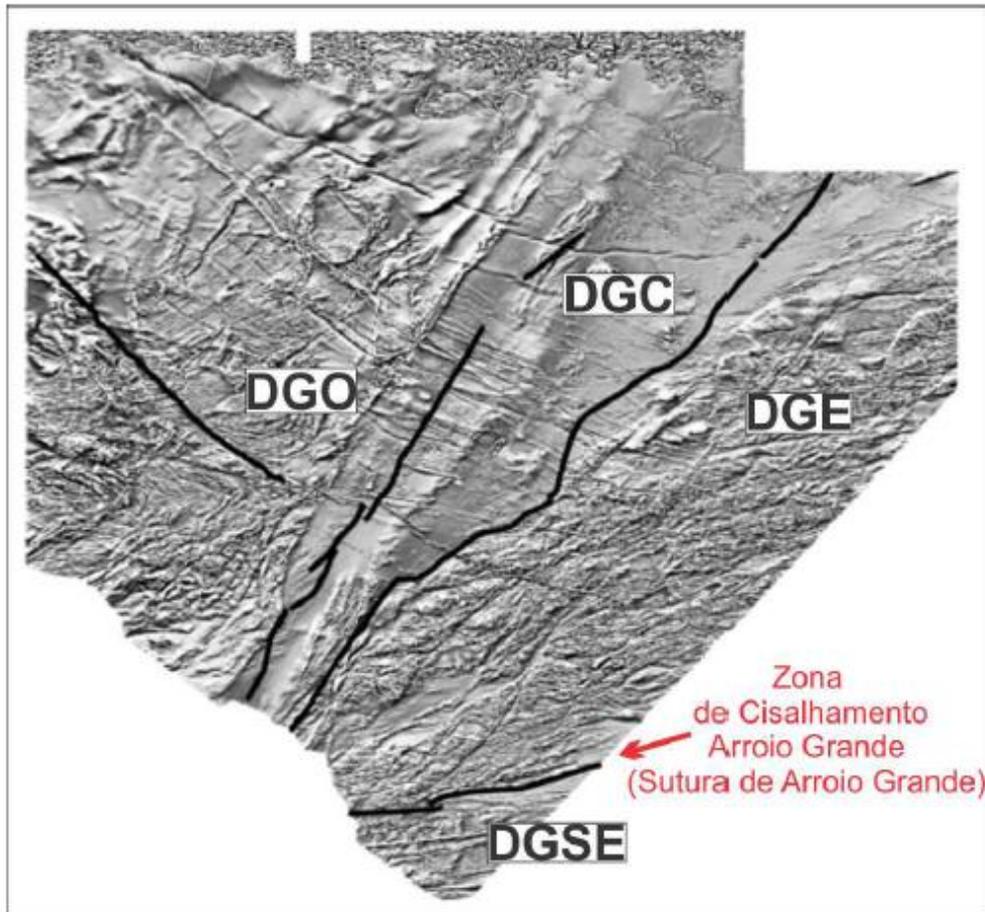
A porção sudeste do Domínio Oriental, em função de sua assinatura pretectônica e assinatura geofísica foi separado desse domínio, sendo denominada de Domínio Geofísico Sudeste (DGSE, Ramos *et al.*, 2014, Sutura Arroio Grande ?) conforme apresentado na Figura 5. Essa mesma região foi denominada por Cruz *et al.* (2019) de Terreno Jaguarão. Além das assinaturas magnéticas distintas, em geral leste-oeste, diferente do predomínio NE-SW do Domínio Oriental, ou Domínio Geofísico Leste (DGE) de Ramos *et al.* (2014), as associações petroectônicas também são diferentes. No Domínio Geofísico Sudeste (ou Terreno Jaguarão) são encontradas as rochas geradas em assoalho oceânico (metaultramáficas, anfíbolitos, gabros, além de xistos e mármore) do Complexo Arroio Grande (Ramos *et al.*, 2017) e rochas

metassedimentares detríticas com fontes paleo- a neoproterozoicas do Complexo Telho (Cruz, 2019).

Ramos *et al.* (2018) interpreta esse Domínio Geofísico Sudeste como à extensão, em território brasileiro, do Terreno Punta del Este. Para (Preciozzi *et al.*, 1999) o Terreno Punta del Este compreende um embasamento gnáissico com idades magmáticas em torno de 780 Ma (e.g. Gnaisses do Cerro Bori, Complexo Cerro Olivo - Lenz *et al.*, 2011; Masquelin *et al.*, 2012 – correlacionáveis aos Gnaisses Piratini e Chácara das Pedras; Koester *et al.*, 2016) e herança mesoproterozoica correlacionável ao Cinturão Namaqua na Namíbia (Basei *et al.*, 2011) e rochas oceânicas (serpentinitos, anfíbolitos, metassedimentares detríticas) do Complexo Paso del Dragón (Preciozzi *et al.*, 1979; Peel, 2012), esse último correlacionável ao Complexo Arroio Grande acima mencionado e a unidades da Bacia Rocha (Uruguai) (Basei *et al.*, 2005) e Terreno Marmora (Cinturão Gariep, Namíbia) (Peel, 2012; Ramos *et al.*, 2017; 2018).

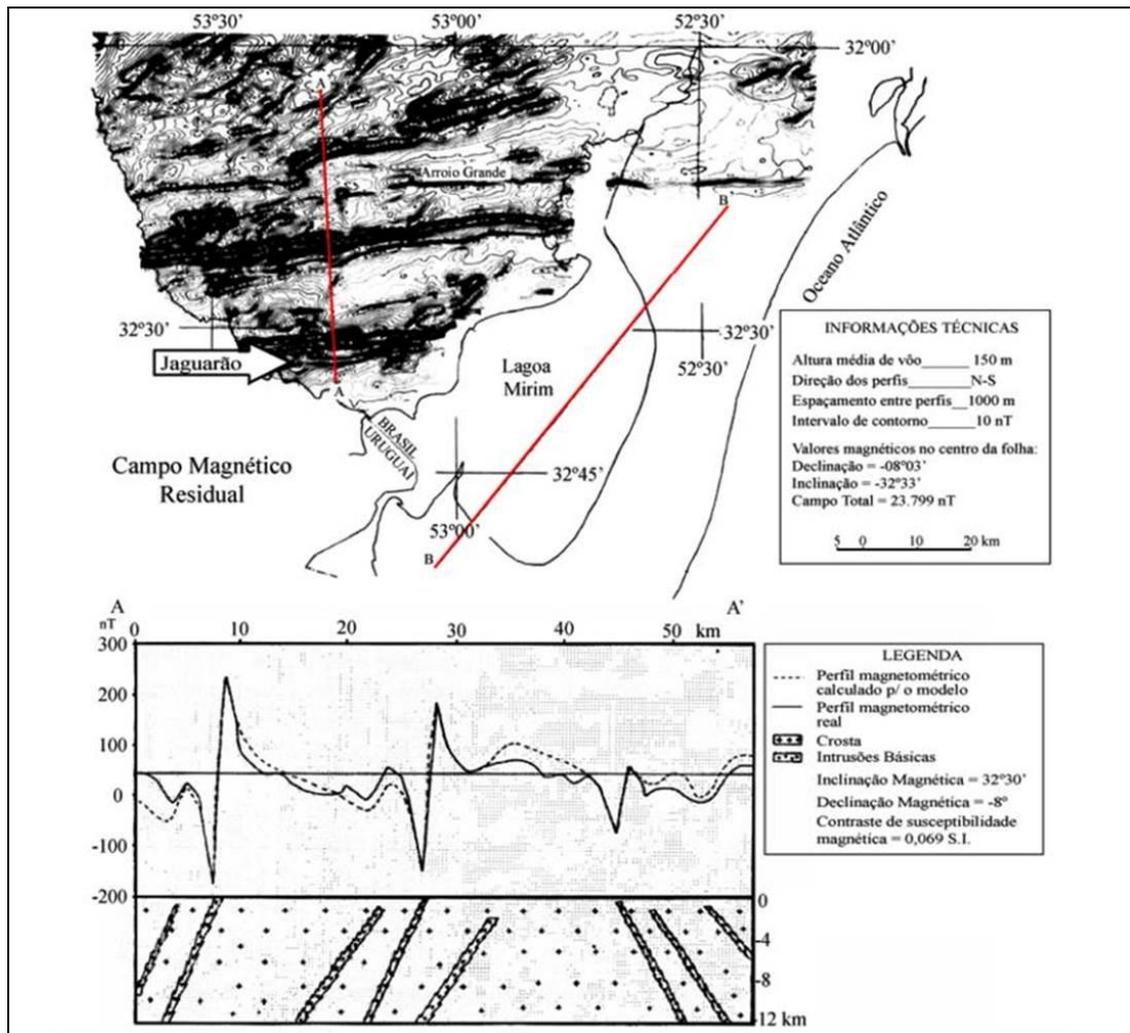
Independente da divisão do Domínio Oriental (e Sudeste) a formação das rochas nesse(s) domínio(s) tem diversas interpretações, onde são postulados para essas associações de rochas modelos que envolvem a subducção de litosfera oceânica em margem continental espessa (Figueiredo *et al.*, 1990; Philipp, 1990; Fragoso-César, 1991; Fernandes *et al.*, 1992, 1995; Philipp, 1998; Chemale Jr., 2000), colisão continental (Hartmann *et al.*, 2000, Philipp e Machado, 2001) e reativação de fontes mantélicas modificadas em períodos tardi a pós-colisional (Bitencourt e Nardi, 1993; 2000).

No presente trabalho, será adotada a nomenclatura de Domínios Ocidental, Central, Oriental e Sudeste para as grandes divisões tectônicas do Cinturão Dom Feliciano, sendo que a área de estudo se encontra no Domínio Oriental e Sudeste.



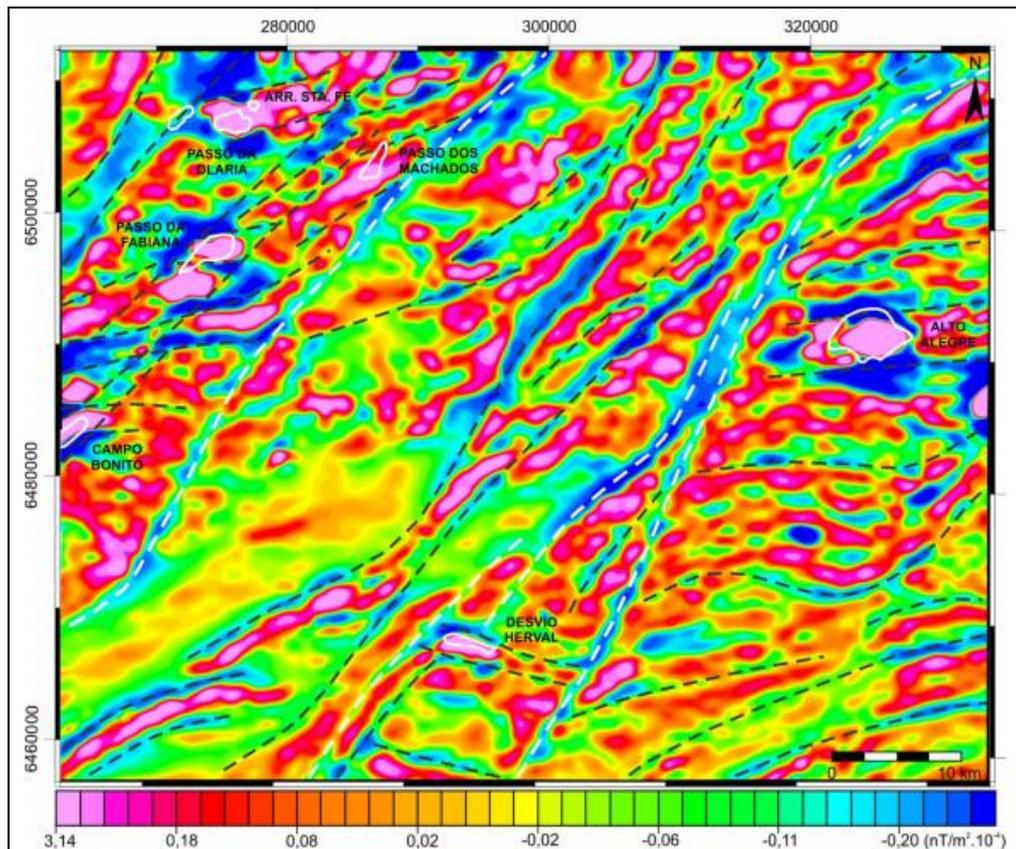
**Figura 5.** Mapa geofísico de primeira derivada vertical do Escudo Sul-rio-grandense com destaque para as principais descontinuidades geofísicas e a separação do Cinturão Dom Feliciano em Domínio Geofísico Oeste (DGO), Domínio Geofísico Central (DGC) e Domínio Geofísico Leste (DGE) e o Domínio Geofísico Sudeste (DGSE). Extraído de Ramos *et al.* (2014).

O arcabouço geofísico do sudeste do Cinturão Dom Feliciano foi estudado em detalhes no trabalho de Costa *et al.* (1989), propondo que na porção sudeste do cinturão do Feliciano ocorre um sistema de fraturas profundas de direção E-W reativado no evento tectono-magmático Sul-Atlântico, evidenciando derrames de natureza intermediária a ácida, de idade Mesozoica. Conforme o mapa aerogeofísico (Fig. 6), estas estruturas revelaram extensos alinhamentos magnéticos de direção N70°E a E-W. O perfil modelado A-A', S-N relaciona as anomalias magnéticas E-W a diques básicos de 12 km de comprimento de subsuperfície.



**Figura 6.** Mapa aeromagnético residual da porção sudeste do Escudo Sul-rio-grandense enfatizando anomalias magnéticas E-W associadas a diques básicos. (Costa e Ramgrab, 1989).

Barbosa *et al.* (2016), interpretando mapas magnético de parte da região sudeste do Cinturão Dom Feliciano, área situada na folha SH. 22-Y-C Pedro Osório, delimitou seis corpos intrusivos básicos associados a altos magnéticos (Fig. 7). Estes corpos intrusivos estão posicionados entre lineamentos magnéticos principais NNE-SSW, com interferência de lineamentos secundários, de orientação NE-SW.



**Figura 7.** Mapa magnetométrico da segunda derivada vertical para a região de Pinheiro Machado, RS, com a individualização de diversos corpos básicos (e.g. Alto Alegre, Passo da Fabiana). As linhas tracejadas marcam as principais estruturas regionais relacionando-as aos corpos básicos, os quais estão delimitados com contorno em linha branca contínua (Barbosa *et al.*, 2016).

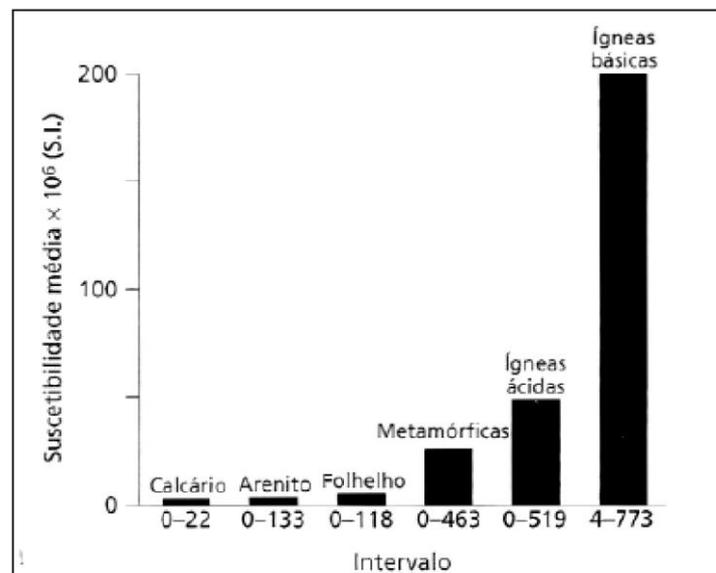
Assim, além desses trabalhos, diversos outros tem sido desenvolvido e publicados no escudo com ênfases em geofísica, como o de identificação de estruturas no escudo (Travassos, 2014), o de prospecção de minerais metálicos de Santos (2014) e de revisão dos domínios geológicos do escudo com base em suas estruturas geofísicas de Hartmann *et al.* (2016).

#### 1.4 Magnetometria: Propriedades magnéticas das rochas

A magnetização que se observa nas rochas, como resultado da presença de minerais magnéticos na sua composição, pode ser classificado em dois tipos: magnetização induzida e magnetização residual remanescente ou remanente. A magnetização induzida é provocada pelo campo atual da Terra, enquanto a magnetização remanescente é adquirida ao longo da história geológica das rochas segundo Kearey (2009).

A magnetização remanescente conhecida como magnetização química desenvolve-se quando ocorrem transformações químicas ou crescimentos de grãos ferromagnéticos (ainda que haja temperaturas abaixo da de Curie), durante a formação das rochas metamórficas e sedimentares Kearey (2009). O mineral magnético mais comum é a magnetita, que tem uma temperatura de Curie de 578°C. Embora o tamanho, a forma e a dispersão dos grãos magnéticos em uma rocha afetem seu caráter magnético, é razoável classificar o comportamento magnético das rochas de acordo com seu conteúdo global de magnetita. Um histograma ilustrando as suscetibilidades dos tipos de rochas mais comuns é apresentado na (Fig. 8).

Os minerais formadores de rocha mais comuns exibem uma suscetibilidade magnética muito baixa, e as rochas devem seu caráter magnético à proporção geralmente baixa de minerais magnéticos que contêm. Há somente dois grupos geoquímicos que geram tais minerais. O grupo ferro-titânio-oxigênio possui uma série de solução sólida de minerais magnéticos que vai da magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), o outro óxido de ferro comum, a hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), é antiferromagnético e, assim, não gera anomalias magnéticas, a menos que um antiferromagnetismo parasita se desenvolva. Do grupo ferro-enxofre, temos o mineral magnético pirrotita ( $\text{FeS}_{1+x}$ ,  $0 < x < 0,15$ ), cuja suscetibilidade magnética é dependente de sua composição segundo Kearey (2009).



**Figura 8.** Histograma mostrando os valores médios e intervalos de suscetibilidade de tipos de rochas mais comuns (Kearey, 2009).

A susceptibilidade magnética é uma propriedade física inerente às rochas. Trata-se de uma grandeza adimensional diretamente proporcional ao conteúdo de minerais

ferromagnéticos, e dependente do sistema de unidades de J e H. A Tabela 2 apresenta os valores de suscetibilidade magnética de algumas rochas, cm destaque para os elevados valores das rochas básicas e ultrabásicas, repectivamente 70 para basaltos e 125 para piroxenitos.

**Tabela 1.** Suscetibilidade magnética de rochas, conforme Telford (1990).

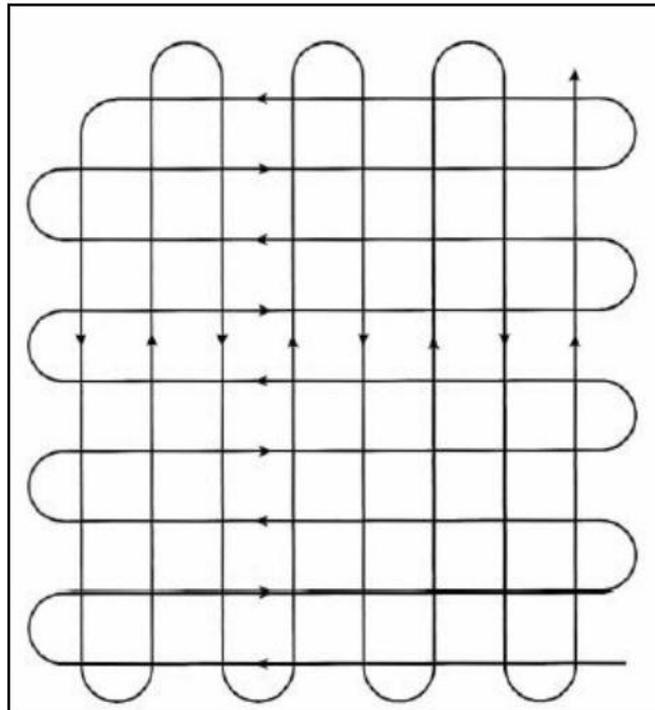
Rochas Sedimentares	Suscetibilidade magnética ( $k$ ) $10^{-3}$ SI	
	Varição	Média
Dolomita	0 – 0.9	0.1
Calcário	0 – 3	0.3
Arenito	0 – 20	0.4
Folhelhos	0.01 – 15	0.6
<b>Rochas Metamórficas</b>		
Anfibolito		0.7
Xisto	0.3 – 3	1.4
Filito		1.5
Gnaisse	0.1 – 25	
Serpentinito	3 – 17	
Quartzito	0 – 35	4
Ardósia		6
<b>Rochas Igneas</b>		
Granito	0 – 50	2.5
Riolito	0.2 – 35	
Olivina-diabásio	0 – 50	2.5
Dolerito	1 – 35	17
Diabásio	1 – 160	25
Pórfiro	0.3 – 200	55
Gabro	1 – 90	60
Basalto	0.2 – 175	70
Diorito	0.6 – 120	70
Piroxênio	85	125

### 1.5 Redução das observações magnéticas

A redução de dados magnéticos é necessária para remover das observações todas as causas de variação magnéticas outras que não aquelas geradas pelos efeitos magnéticos da subsuperfície (Kearey, 2009).

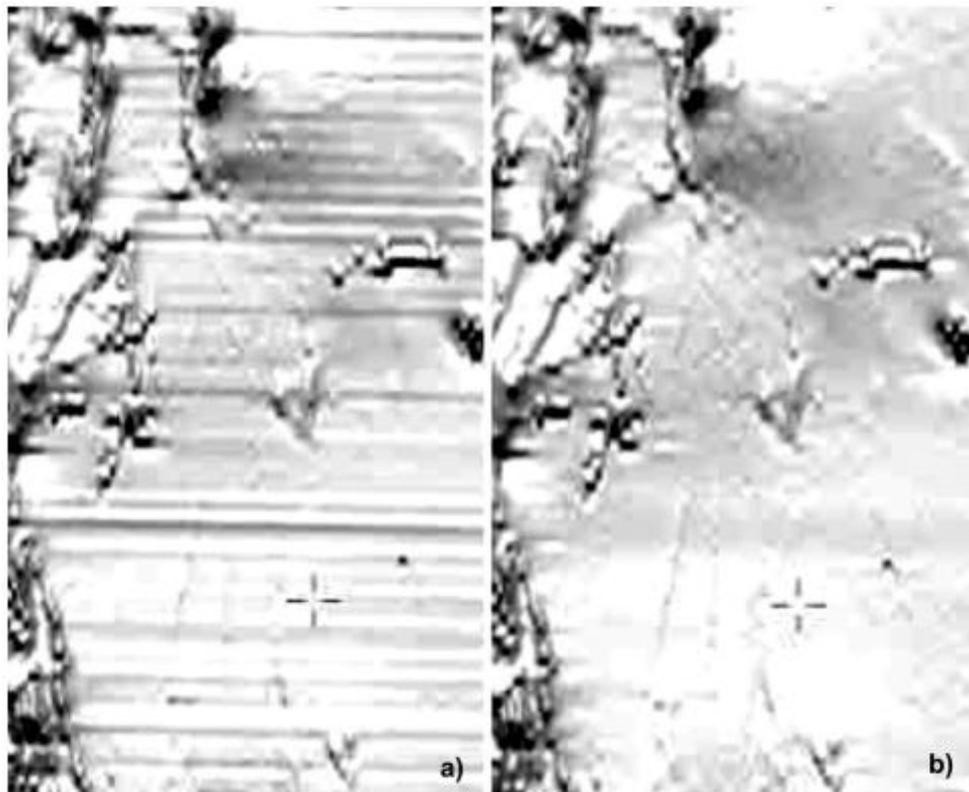
Os efeitos da variação diurna podem ser removidos de várias maneiras em terra, pode ser empregado um método similar ao do monitoramento da deriva gravimétrica, no qual o magnetômetro é lido periodicamente durante todo o dia, numa estação base fixa. As diferenças observadas nas leituras da base são, então, distribuídas entre as leituras nas estações ocupadas durante o dia, de acordo com seu horário de observação (Kearey, 2009).

A variação diurna durante um levantamento aeromagnético pode ser alternativamente determinada pelo arranjo de numerosos pontos de intersecção no plano do levantamento (Fig. 9). Análises das diferenças nas leituras de cada ponto de intersecção, representando a mudança de campo em uma série de diferentes períodos de tempo, permitem que todo o levantamento seja corrigido, para a variação diurna, por um processo de ajuste de rede, sem a necessidade de um instrumento na base (Kearey, 2009).



**Figura 9.** Plano de vôo típico para um levantamentos aeromagnéticos (Kearey, 2009).

Variações numéricas referentes ao nivelamento das malhas de amostragem costumam gerar imperfeições nas imagens produzidas a partir de dados aerogeofísicos. Dentre as técnicas de suavização dessas variações, destacam-se a decorrugação e o micronivelamento (Minty, 1991). O desnível entre as linhas de vôo gera padrões caracterizados por ruídos alongados que acompanham a direção de sobre vôo. Entretanto, esses ruídos estão confinados a estas linhas de vôo e apresentam comprimento de onda longitudinal maior que o espaçamento das linhas de controle e comprimentos de onda transversais. A remoção de ruídos relacionados ao desnivelamento das linhas de vôo não ocasiona perda das informações relevantes geradas pelas altas frequências (Minty, 1991). Os resultados de esta suavização podem ser observados na Figura 10, que mostra a diferença dos dados micronivelados dos dados não nivelados.



**Figura 10.** a) Imagem dos dados não micronivelados; b) imagem dos dados aeromagnéticos depois do micronivelamento (Minty, 1991).

O *Internacional Geomagnetic Reference Field* (IGRF) é a representação teórica, para um dado intervalo de tempo, do campo magnético normal da Terra, somando-se os campos causados por materiais magnéticos da crosta e correntes elétricas induzidas por campos magnéticos externos à crosta. Pode ser necessária a remoção

se a área for muito grande e ou se é necessário à obtenção de uma grande precisão. Em áreas pequenas, um único IGRF pode ser útil.

### 1.6 Transformações do Campo Potencial - Continuação para cima

O campo potencial, de uma fonte de espaço livre, medido ao longo do plano de observação de um avião pode ser continuado acima ou abaixo (Naidu e Mathew, 1998). Esse filtro responde através da representação espectral das derivadas do campo potencial. Este filtro opera a partir de uma malha de dados gerando outra em um "datum" situado a uma distancia qualquer do plano de observação. O objetivo e basicamente reduzir os efeitos de fontes superficiais e ruídos produzidos por altas frequências, mostrando a influencia de fontes profundas, incluindo informações regionais (Peters, 1949).

A derivada horizontal trata-se de um filtro que ressalta as altas frequências, aplicado na direção "x" ou "y", permite mostrar a tendência das principais estruturas ao realçar os gradientes das possíveis fontes anômalas (Stanley, 1977). Pode ajudar a definir um contato brusco entre as duas rochas tipos possuindo diferentes magnetizações (Naidu e Mathew, 1998). A ideia de uma "derivada horizontal" pode ser estendida para uma derivada tal definida como sinal analítico.

Com a utilização da derivada vertical (DV), componentes de alta frequência em um conjunto de dados são amplificadas em diferentes graus (Naidu e Mathew, 1998). Trata-se de um filtro que amplifica os comprimentos de onda curtos, acentuando os gradientes das bordas dos corpos magnéticos rasos (Peters, 1949).

O gradiente horizontal, em geral, indica mudanças abruptas do campo magnético anômalo, facilitando o delineamento de estruturas geológicas rasas ou posicionadas a pouca profundidade (Nabighian, 1972).

O conceito de Sinal Analítico 2-D foi desenvolvido por Nabighian (1972;1974). Esta técnica é caracterizada por não ter dependência com relação à direção do vetor magnetização da fonte. Ou seja, pode ser correlacionada, à intensidade de magnetização da fonte. A amplitude (valor absoluto) do sinal analítico 3D, em um ponto qualquer com coordenada  $(x,y)$ , pode ser obtido a partir de três gradientes ortogonais do Campo Magnético Total usando a seguinte expressão (Roest *et al.*, 1992):

Neste caso  $|A(x,y)|$  é a Amplitude do Sinal Analítico no ponto de coordenadas  $(x,y)$  e  $T$  é a Anomalia Magnética de Intensidade Total no ponto de coordenadas  $(x,y)$ .

Segundo Roest *et al.* (1992), o Sinal Analítico da Anomalia Magnética de Intensidade Total reduz os dados magnéticos a anomalias cujo sinal máximo coincide com as bordas dos corpos magnetizados e cuja forma pode ser usada para determinar as profundidades destas bordas para a área toda (Reeves, 2005).

## 1.7 Materiais e métodos

A metodologia empregada neste trabalho consistiu na combinação de técnicas de filtragens no domínio da frequência (FFT) em dados aeromagnéticos de alta resolução (linhas de vôo espaçadas de 500 metros), aliadas a susceptibilidade magnética e descrição macroscopia de amostra de rochas.

Foram utilizados neste trabalho dados compilados do Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul de CPRM (2010) disponibilizados no formato ASCII (XYZ), GDB's, compatíveis com a plataforma do *OASIS MONTAJ GEOSOFT* (2007), onde estão agrupadas informações de posicionamento corrigidas e todos os demais canais de informação registrados a bordo da aeronave.

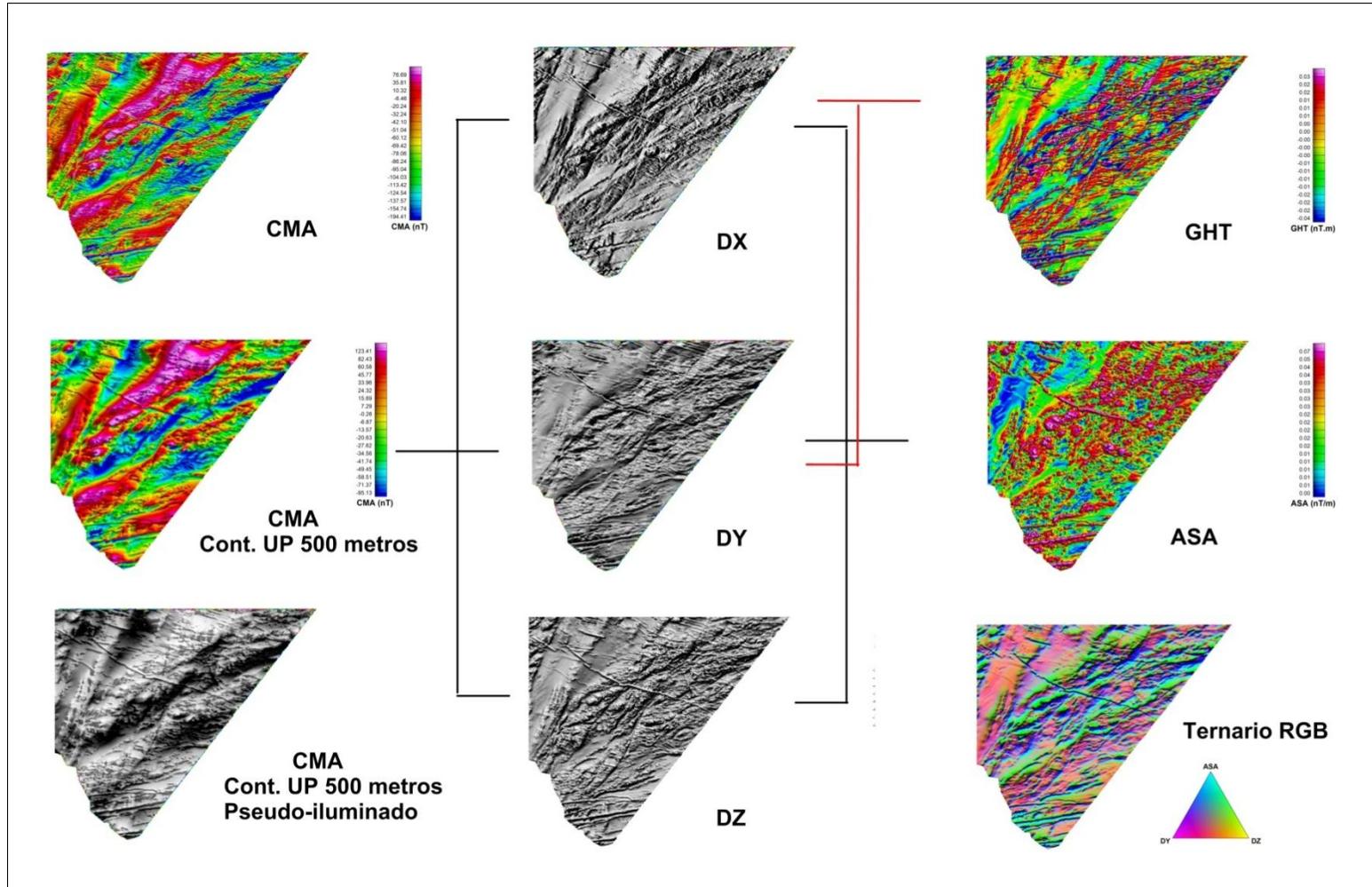
Os parâmetros de execução do levantamento são descritos, resumidamente, a seguir:

- ✓ Direção das linhas de vôo: N-S;
- ✓ Espaçamento entre as linhas de vôo: 500 m;
- ✓ Direção das linhas de controle: E-W;
- ✓ Espaçamento entre as linhas de controle: 10 km;
- ✓ Intervalo entre medições geofísicas consecutivas: 0,1 s (magnetômetro) e 1,0 s (espectrômetro);
- ✓ Altura média de vôo: 100 m;
- ✓ Velocidade aproximada de vôo;
- ✓ PR-SSB: 227 km/h;

O tratamento e processamento dos dados aeromagnetométricos envolveu a aplicação de filtros FFT (*Fast Fourier Transform*) ao campo magnético total micronivelado reduzido do IGRF, eliminando ruídos de alta frequência e realçando feições magnéticas anômalas.

Para a malha de amostragem dos dados areogeofísicos se optou pelos métodos de interpolação bi-direcionais para magnetometria, com tamanho de célula de 125 metros, ou seja,  $\frac{1}{4}$  do espaçamento entre as linhas vôo de 500 metros.

A Figura 11 mostra um fluxograma esquemático dos procedimentos das filtragens FFT utilizadas no processamento dos dados aeromagnetométricos e os produtos gráficos obtidos como resultado final da aplicação dos diferentes filtros (e.g. mapas de imagens das anomalias magnéticas).



**Figura 1.** Fluxograma esquemático com as técnicas de filtragens utilizadas no processamento dos dados aeromagnetométricos e os produtos gráficos finais obtidos através da aplicação dos diferentes filtros.

Para extração dos lineamentos magnéticos utilizam-se como base os mapas de imagens da primeira derivada vertical do campo magnético e amplitude do sinal analítico, através da interpretação visual destes produtos são empregados à técnica de vetorização extraindo traços retilíneos ou suavemente encurvados de relevo positivo e negativo). Com base no padrão de distribuição dos lineamentos a área foi discriminada em Domínios magnéticos. Aos dados vetorizados através da rotina de análise exploratória do *Software SPRING 4.2*

Para a modelagem magnetométrica foi utilizado o *software Mag2dc*, desenvolvido pela *University Witwatersrand Johannesburg, South Africa*, que permite a confecção de modelos geofísicos com geometria 2/5 D a partir da entrada dos dados do campo magnético anômalo da área de estudo e dos parâmetros do campo magnético do local (intensidade, inclinação e declinação). A Tabela 1 apresenta as características técnicas do *software* de modelagem.

**Tabela 1.** Características técnicas do *software* Mag2dc.

<b>Especificações do software Mag2dc</b>	
Numero máximo de pontos	650
Número máximo de polígonos por modelos	16
Número máximo de vértices por polígono	50
Arquivos de saída	ASCII, HP-GL, DXF

### **Medições das propriedades físicas das rochas**

Os dados de susceptibilidade magnética adquiridos em amostra de mão das unidades litológicas documentadas pelo mapa geológico (CPRM, 2008) utilizado um Suscetíbilímetro *KT-10 Magnetic Suscetibility Meter Terraplus*, pertencente ao Instituto de Geociências (IGeo) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

A Tabela 2 apresenta alguns exemplos de valores de suscetibilidade magnética para litologias e seus minerais associados a unidade geológica estudadas no presente trabalho.

**Tabela 2.** Exemplos de valores de susceptibilidade magnética medida em algumas unidades estudadas no presente trabalho.

<b>Unidade</b>	<b>K (susceptibilidade magnética) 10<sup>-3</sup> (SI)</b>	<b>Litologia</b>	<b>Mineralogia</b>
Complexo Pinheiro Machado	0,0690	Granito porfírico	K-Feldspato, plagioclásio, quartzo, biotita, hornblenda
Complexo Pinheiro Machado	0,0980	Granito	K-Feldspato, quartzo, biotita, magnetita
Suíte Dom Feliciano	0,0200	Granitoides	K-Feldspato, quartzo, biotita
Gabro Desvio Herval	0,1600	Leucograbro	Piroxênio, plagioclásio
Granito Três Figueiras	0,0034	Granito	K-Feldspato, plagioclásio, quartzo, biotita, muscovita
Complexo Arroio Grande	0,1800	Serpentinito	Serpentina, talco
Granito Chasqueiro	0,0910	Granito porfírico	K-Feldspato, plagioclásio, quartzo, biotita, hornblenda

### **Modelagem Magnética 2/5 D**

O modelo geofísico apresentado no presente trabalho foi baseado nas interpretações qualitativas e quantitativas das transformações do campo potencial, correlacionando com informações geológicas compiladas.

Para a confecção do modelo referente aos perfis A-A' e B-B', orientado segundo a direção N-S, foram utilizados dados de susceptibilidade magnética adquiridos em amostra de mão das unidades litológicas documentadas pelo mapa geológico modificado de Ramos *et al.* (2018) e Cruz (2019).

As unidades presentes na área de estudo, que estão diretamente associadas à modelagem são: rochas do Complexo Pinheiro Machado, Suíte Dom Feliciano, Gabro Desvio Herval, Gnaisse Arroio Pedrado, Granito Chasqueiro, Granito Três Figueiras, Complexo Arroio Grande, Complexo Telho, Granito Bretanha

## REFERÊNCIAS

- Anjos, I.L.S., Mourão, L.M.F. (1987). Projeto Aerogeofísico Extremo Sudeste do Brasil. Processamento de dados, Relatório final, Convênio DNPM/CPRM. Brasil, v.5 (inédito).
- Babinski, M., Chemale Jr., F., Van Schmus, W.R., Hartmann, L.A., Silva, L.C. (1997). U-Pb and Sm-Nd geochronology of the Neoproterozoic Granitic-Gneissic Dom Feliciano Belt, Southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 10(3/4), 263-274.
- Barbosa, L.D., Koester, E., Gastal, M.C., Ramos, R. C.(2017). Basic Ediacaran magmatism (562 Ma) in southeast Sul-Riograndense Shield: U-Pb SHRIMP zircon dating of Alto Alegre Diorite. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 36, Natal, 1990. Anais, Natal, SBG, v. 4, p. 1623-1738.
- Barbosa, L., Koester, E., Gastal, M. do C. (2018). Rochas intrusivas básicas no sudeste do Cinturão Dom Feliciano, RS: petrografia e geoquímica das associações I e II. *Geologia USP. Série Científica*, 18(2), 149-170.
- Basei, M.A.S., Frimmel, H.E., Nutman, A.P., Preciozzi, F., Jacob, J. (2005). A connection between the Neoproterozoic Dom Feliciano (Brazil/Uruguay) and Gariep (Namibia/South Africa) orogenic belts e evidence from a reconnaissance provenance study. *Precambrian Research*, 139, 195 e 221.
- Basei, M.A.S., Campos Neto, M.C., Castro, N.A., Nutman, A.P., Wemmer, K., Yamamoto, M.T., Hueck, M., Osako, L., Siga, O., Jr., Passarelli, C.R. (2011a), Tectonic evolution of the Brusque Group, Dom Feliciano Belt, Santa Catarina, Southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 32, 324–350.
- Bitencourt, M.F., Nardi, L.V.S. (1993). Late-to Post-collisional Brasiliano Magmatism in Southernmost Brazil. In: Workshop MAGMA: Magmatismo Granítico e Mineralizações Associadas, Rio de Janeiro. Extended Abstracts. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1, 3-4.
- Bitencourt, M.F., Nardi, L.V.S. (2000). Tectonic setting and sources of magmatism related to the Southern Brazilian Shear Belt. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(1),186-189.
- Bitencourt, M.F., Nardi, L.V.S., Philipp, P.P. (2002). Evolução Crustal do Sul do Brasil: Evidências do Estudo dos Granitóides. (Apresentação de Trabalho/Seminário). Chemale Jr., F., 2000. Evolução geológica do Escudo sul-rio-grandense. In: Holz, M., De Ros, L.F. (Eds.), *Geologia do Rio Grande do Sul*. Edição CIGO/UFRGS, Porto Alegre, pp. 13e52.
- Camozzato, E., Philipp, R.P., Laux, J.H., Nardi, L.V.S. (2013). Magmatismo Pós-Colisional no Terreno Taquarembó: geologia e geoquímica das Suítes Santo Afonso, Saibro e Vauthier e Granito Passo da Chácara, RS.. In: XIV Congresso Brasileiro de Geoquímica, 2013, Diamantina. XIV Congresso Brasileiro de Geoquímica. Belo Horizonte: SBGq., v. 1. p.36.
- Chemale Jr., F. (2000). Evolução Geológica do Escudo Sul-rio-grandense. In: Holz, M. & De Ros, L.F. (Ed.). *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, CIGO, Instituto de Geociências-UFRGS. p. 13-54.

- Costa, A.F.U. (1997). Teste e modelagem geofísica das associações litotectônicas pré-cambrianas no Escudo Sul-rio-grandense. Porto Alegre, 257p. Tese de Doutorado em Ciências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Costa, A.F.U., Ramgrab, G.E. (1989). Lineamento Jaguarão – caracterização aeromagnética. *Revista Brasileira de Geociências*, 7(1), 41–45.
- Costa, A.F.U., Ramgrab, G.E., Vasconcelos, R. (1990). Interpretação do campo magnético na porção oriental do Escudo Sul-Rio-Grandense. XXXVI Congresso Brasileiro de Geologia, v. 5, 2439-2444. Natal: SBG.
- CPRM. (2000). Carta Geológica Folha Pedro Osório, folha SH. 22-Y-C. Escala 1:250.000. Porto Alegre: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.
- CPRM. (2008). Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul. Escala 1:750.000. Porto Alegre: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.
- CPRM. (2010). Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 260p.
- Cruz, R.F. (2018). Projeto sudeste do Rio Grande do Sul: mapa de integração de cartografia geológica. CPRM. 1 mapa colorido. Carta geológica. Escala 1:250.000.
- Cruz, R.F. (2019). Projeto Sudeste do Rio Grande do sul: escalas 1:250.000 e 1:100.000; estado do Rio Grande do Sul. CPRM, 1-173.
- Fernandes, L.A.D., Tommasi, A., Porcher, C.C. (1992). Deformation patterns in the southern Brazilian branch of the Dom Feliciano Belt: a reappraisal. *Journal of South American Earth Science*, 5(1), 77-96.
- Fernandes, L.A.D., Menegat, R., Costa, A.F.U., Koester, E., Porcher, C.C., Tommasi, A., Kraemer, G., Ramgrab, G.E., Camozzato, E. (1995a). Evolução tectônica do cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-Rio-Grandense: Parte I – Uma contribuição a partir do registro geológico. *Revista Brasileira de Geociências*, 25(4), 351-374.
- Fernandes, L.A.D., Menegat, R., Costa, A.F.U., Koester, E., Porcher, C.C., Tommasi, A., Kraemer, G., Ramgrab, G.E., Camozzato, E. (1995b). Evolução tectônica do cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-rio-Grandense: Parte II - uma contribuição a partir das assinaturas geofísicas. *Revista Brasileira de Geociências*, 25(4), 351-374.
- Figueiredo, M. C. H., Fragoso-César, A.R.S., Kronberg, B. L. (1990). Litogeoquímica das principais unidades do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 36, Natal, 1990. Anais, Natal, SBG, v. 4, p. 1623-1738
- Fragoso-Cesar, A.R.S. (1991). Tectônica de Placas no Ciclo Brasileiro: As orogenias dos Cinturões Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica, USP. 333 p.
- Fragoso-Cesar, A.R.S., Figueiredo, M.C.H., Soliani Jr, E., Faccini, U.F. (1986). O Batólito Pelotas (Proterozóico Superior/Eo-Paleozóico) no Escudo do Rio Grande do Sul. XXXIV Congresso Brasileiro de Geologia, v. 3, 1322-1343. Goiânia: SBG.

- Gerhard, N.P., Koester, E., Porcher, C.C., Weinberg, R.F., Pimentel, M.M., Barbosa, L.D.O. (2015). In: VIII Hutton Symposium on Granites and Related Rocks, Florianópolis, Book of Abstracts, p. 96.
- Gray, D.R., Foster, D.A., Meert, J.G., Goscombe, B.D., Armstrong, R., Trouw, R.A.J., Passchier, .W. (2008). A Damara orogen perspective on the assembly of southwestern Gondwana. In: Pankhurst, R.J., Trouw, R.A.J., Brito-Neves, B.B., De Wit, M.J. (Eds.), West Gondwana: Pre-cenozoic Correlations across the South Atlantic Region, vol. 294. Geological Society of London, Special Publication, pp. 257 a 278.
- Gregory, T.R., M.F., Bitencourt, Nardi, L. V., Florisbal, L. M, Chemale, F. Jr. (2015). Geochronological data from TTG-type rock associations of the Arroio dos Ratos Complex and implications for crustal evolution of southernmost Brazil in Paleoproterozoic times. *Journal of South American Earth Sciences*, 57, 49–60.
- Hartmann, L.A., Remus, M.V.D. (2000). Origem e evolução das rochas ultramáficas do Rio Grande do Sul desde o Arqueano até o Cambriano. In: Holz, M. & De Ros, L.F. (Eds.). *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, edição CIGO/ UFRGS, p. 53-78.
- Hartmann, L.A., Chemale Jr., F., Philipp, R.P. (2007). Evolução Geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-cambriano. In: Iannuzzi, R., Frantz, J.C. (Eds), 50 Anos de Geologia, Instituto de Geociências – Contribuições (97-123). Porto Alegre: Editora Comunicação e Identidade. 289 p.
- Hartmann, L.A., Lopes, W.R., Savian, J.F. (2016). Integrated evaluation of the geology, aerogammaspectrometry and aeromagnetometry of the Sul-Riograndense Shield, southernmost Brazil. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*, 88(1), 75-92
- Heilbron, M., Pedrosa-Soares, A.C., Campos Neto, M., Silva, L.C., Trouw, R.A.J. (2004). A Província Mantiqueira. In: Mantesso Neto, A., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R. & Brito Neves, B.B. (Eds.). *O desvendar de um continente: a moderna geologia da América do Sul e o legado da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, Ed. Beca, p. 203-234.
- Hueck, M., Oyhantçabal, P., Philipp, R.P., Basei, M.A.S., Siegesmund, S. (2018). The Dom Feliciano Belt in Southern Brazil and Uruguay. In: Siegesmund, S., Basei, M., Oyhantçabal, P., Oriolo, S. (Eds.). *Geology of Southwest Gondwana*. Springer, *Regional Geology Reviews*, p. 267-302
- Kearey, P.; Brooks, M., HILL, I. (2009). *Geofísica de Exploração*. Tradução: Maria Cristina Moreira Coelho. São Paulo: Oficina de textos, p. 438.
- Klein, F.G., Koester, E., Vieira, D.T., Porcher, C.C., Ramos, R.C., Philipp, R.P. (2018). Geologia do Granito Três Figueiras: magmatismo peraluminoso de 585 Ma no sudeste do Cinturão Dom Feliciano. *Pesquisas em Geociências*, 45(2), 1-27.
- Koester, E., Porcher, C.C., Pimentel, M.M., Fernandes, L.A.D., Vignol-Lelarge, M.L., Oliveira, L.D., Ramos, R.C. (2016). Further evidence of 777 Ma Subduction-related Continental arc magmatism in Eastern Dom Feliciano Belt, southern Brazil: the Chácara das Pedras Orthogneiss. *Journal of South American Earth Sciences Sciences*, 68, 155-166.
- Kraemer, G. (1995). *Evolução Magmática e Tectônica da Suíte Ortometamórfica Imbicuí, Região de Lavras do Sul, RS. Dissertação (Mestrado)*. Porto Alegre: Instituto de Geociências, UFRGS, 95 p.

- Leite J.A.D., Hartmann L.A., McNaughton N.J., Chemale Jr. F. (1998). SHRIMP U/Pb zircon geochronology of Neoproterozoic juvenile and crustal-reworked terranes in: southernmost Brazil. *International Geology Review*, 40:688-705.
- Lenz, C., Fernandes, L.A.D., McNaughton, N.J., Porcher, C.C., Masquelin, H. (2011). U-Pb SHRIMP ages for the Cerro Bori Orthogneisses, Dom Feliciano Belt in Uruguay: evidences of a ~800 Ma magmatic and ~650 Ma metamorphic event. *Precambrian Research*, 185, 149-163.
- Masquelin, H., Fernandes, L.A.D., Lenz, C., Porcher, C.C., McNaughton, N.J. (2012). The Cerro Olivo Complex: a pre-collisional Neoproterozoic magmatic arc in Eastern Uruguay. *International Geology Review*, 54, 1161-1183.
- Minty, B.R.S. (1991). Simple Micro-Levelling for Aeromagnetic Data. *Exploration Geophysics*.
- Nabighian, M.N. (1972). The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-sections its properties and use for automated anomaly interpretation. *Geophysics*, 37: 507-517.
- Nabighian, M.N. (1974). Additional comments on the analytic signal of two dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section. *Geophysics*, 39, 85-92.
- Naidu, J., Mathew, M. (1998). *Analysis of Geophysical Potential Fields*, Elsevier, *Advances in Exploration Geophysics*.
- Oasis Montaj, V 6.4.2 (HJ) – Standart Edition. Copyright 2007, Geosoft Inc.
- Paim, P.S.G., Chemale Jr., Lopes, S.G. (2000). A Bacia do Camaquã. In: Michel Holz; Luiz Fernando de Ros. (Org.). *Geologia do Rio Grande do Sul*. 1ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 268 p.
- Plá Cid, J., Nardi, L.V.S., Stabel, L.Z., Conceição, R.V., Balzaretto, N.M. (2003). High-pressure minerals in mafic microgranular enclaves: evidences for co-mingling between lamprophyric and syenitic magmas at mantle conditions. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 145: 444-459.
- Peel, E. (2012). *Petrografia, Geoquímica e geocronologia do Complexo Paso del Dragón, NE do Uruguai, implicações tectônicas na evolução do Cinturão Dom Feliciano*. PhD. thesis, Universidade de São Paulo, 198p.
- Philipp, R.P. (1990). *Geologia e petroquímica dos granitóides da região de Monte Bonito, Pelotas, RS*. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Dissertação de Mestrado, 231p.
- Porcher, C.C.; McNaughton, N.J., Leite, J.A.D., Hartmann, L.A., Fernandes, L.A.D. (1999). Idade U-Pb SHRIMP em zircão do vulcanismo ácido do Complexo Metamórfico Porongos. In: 1o Simpósio sobre vulcanismo e ambientes associados, Gramado. *Boletim de Resumos*. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia.
- Philipp, R.P. (1998). *Evolução Geológica e Tectônica do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul*. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências, USP.

- Philipp, R.P., Machado R. (2001). Estratigrafia e significado tectônico das suítes graníticas do Batólito de Pelotas no RS. *Revista Brasileira de Geociências*, 31(3), 257–266.
- Philipp, R. P., Machado, R. (2005). The Late Neoproterozoic granitoid magmatism of the Pelotas Batholith, southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, Londres, v. 19, p. 461-478,
- Philipp, R.P., Campos, Sacks, R. (2005). Controles Geológicos das Jazidas de Granitos Ornamentais da Região de Encruzilhada do Sul, RS: Origem das Variedades Comerciais do Granito Encruzilhada do Sul. *Pesquisas em Geociências*, 32: 30-37.
- Philipp, R.P., Machado, R. (2001). Suítes Graníticas do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul: petrografia, tectônica e aspectos petrológicos. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 31, n.3, p. 257-268.
- Philipp, R.P., Machado, R., Nardi, L.V.S., Lafon, J.M. (2002). O magmatismo granítico Neoproterozoico do Batólito Pelotas no sul do Brasil: novos dados e revisão da geocronologia regional. *Revista Brasileira de Geociências*, 32(2), 277-290.
- Philipp, R.P., Pimentel, M.M., Chemale Jr., F. (2016). Tectonic evolution of the Dom Feliciano Belt in Southern Brazil: geological relationships and U-Pb geochronology. *Brazilian Journal of Geology*, 46(1), 83-104.
- Peters, L.J. (1949). The direct approach to magnetic interpretation and its practical application. *Geophysics.*, 14: 290-320
- Preciozzi, F., Spoturno, J., Heinzen, W. (1979). Carta geo-estrutural del Uruguay, escala 1:2.000.000. Montevidéo, Instituto Geológico y Ingeniería. Terra Arocena, 62p.
- Preciozzi, F., Masquelin, H., Basei, M.A.S. (1999). The Namaqua/Grenville terrane of eastern Uruguay. Córdoba, II Simpósio Sul Americano de Geologia Isotópica, Resumos, p. 338-340.
- Ramos, R.C., Koester, E. (2015). Lithogeochemistry of the meta-igneous units from Arroio Grande Ophiolitic Complex, southernmost Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, 45(1), 65-78.
- Ramos R.C., Koester E. (2014). Geologia da associação metamáfica-ultramáfica da região de Arroio Grande, sudeste do Escudo Sul-Rio-Grandense. *Pesquisas em Geociências*, 41(1), 25-38.
- Ramos, R.C., Koester, E., Porcher, C.C., Barbosa, L.D., Vieira, D.T., Beloni, M.S. (2017). Correlação geoquímica entre os metamafitos dos Mármore Matarazzo e do Ofiolito Arroio Grande (Complexo Arroio Grande, SE do Cinturão Dom Feliciano, Brasil). In: X Simpósio Sul-brasileiro de Geologia, Curitiba, Anais.
- Ramos, R.C., Koester, E., Vieira, D.T., Porcher, C.C., Gezatt, J.N., Silveira, R.L. (2018). Insights on the evolution of the Arroio Grande Ophiolite (Dom Feliciano Belt, Brazil) from Rb-Sr and SHRIMP U-Pb isotopic geochemistry. *Journal of South American Earth Sciences*, 86:38-53.
- Reeves, C. (2005). Aeromagnetic Surveys: principles practice & interpretation. Earthworks.
- Saalmann, K., Gerdes, A., Lahaye, Y., Hartmann, L.A., Remus, M.V.D., Läufer, A. (2011). Multiple accretion at the eastern margin of the Rio de la Plata craton: the prolonged

- Brasiliano orogeny in southernmost Brazil. *International Journal of Earth Sciences*, 100, 355-378.
- Roest, W.R.J., Verhoef, J., Pilkington, M. (1992). Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal, *Geophysics*, 57:116-125.
- Rosales, M.J.T. (2004). Integração de dados gravimétricos terrestres e aeromagnéticos e sua aplicação do estudo geológico-estrutural da Faixa Apiaí. Tese de Doutorado. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, 271 p.
- Stanley, J.M. (1977). Simplified gravity interpretation by gradients at the geological contact. *Geophysics.*, 42: 1230-1235.
- Shukowsky, W., Vasconcelos, A.C.B.C., Mantovani, M.S.M. (1991). Estruturação dos terrenos pré-cambrianos da região sul do Brasil e oeste do Uruguay, e sua continuidade sob os sedimentos da Bacia do Paraná: Um estudo por modelamento gravimétrico. *Revista Brasileira de Geofísica*, 9, 275-287.
- Silva, L.C., McNaughton, N.J., Armstrong, R., Hartmann, L.A., Fletcher, I.R. (2005). The Neoproterozoic Mantiqueira Province and its African connections: a zircon-based U-Pb geochronologic subdivision for the Brasiliano/Pan-African systems of orogens. *Precambrian Research*, 136, 203-240.
- Travassos, R.P. (2014). Interpretação estrutural regional do Escudo Sul-rio-grandense, RS, Brasil, com base em aeromagnetometria. Brasília, 64p. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.
- Telford, W.D., Geldart, L.P., Sheriffi, R.E. (1990). *Applied Geophysics*, Second Edition. Cambridge University Press.
- Terraplus Inc. KT-10 Magnetic Susceptibility Meters. User guide < disponível em <http://www.terraplus.ca/products/pdf/KT-10.pdf>>
- Vieira, D.T., Koester, E., Ramos, R.C., Porcher, C.C., (2019a). Sr-Nd-Hf isotopic constraints and U-Pb geochronology of the Arroio Pedrado Gneisses, Dom Feliciano Belt, Brazil: a 680 Ma shoshonitic event in the final stages of the Piratini Arc evolution. *Journal of South American Earth Sciences*, 95, 102294
- Vieira, D.T., Koester, E., Ramos, R.C., Porcher, C.C., Fernandes, L.A.D. (2020). New zircon SHRIMP U-Pb ages for the synkinematic magmatism in the Dorsal de Canguçu Transcurrent Shear Zone, Dom Feliciano Belt (Brazil): tectonic implications. *Journal of South American Earth Sciences*. Submetido

## **PARTE II**

1 **Arcabouço geofísico-geológico do setor sudeste do Cinturão Dom Feliciano, RS, Brasil**  
2 **Geophysical-geological framework of the southeastern sector of the Dom Feliciano Belt,**  
3 **RS, Brazil**

4

5 Renato Luiz da Silveira<sup>1</sup>, Edinei Koester<sup>2</sup>, Mario Jesus Tomas Rosales<sup>3</sup>, Rodrigo Chaves  
6 Ramos<sup>1</sup>, Daniel Triboli Vieira<sup>1</sup>; Carla Cristine Porcher<sup>2</sup>, Laercio Dal Olmo-Barbosa<sup>1</sup>

7 <sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade  
8 Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP 91.540-000, Porto Alegre,  
9 RS, Brasil. E-mail: [renato.geofisica@gmail.com](mailto:renato.geofisica@gmail.com), rodrigo.chaves@ufrgs.br,  
10 [danieltriboli@hotmail.com](mailto:danieltriboli@hotmail.com), dal.olmo@ufrgs.br

11 <sup>2</sup> Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande  
12 do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP 91.540-000, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail:  
13 [koester@ufrgs.br](mailto:koester@ufrgs.br), carla.porcher@ufrgs.br

14 <sup>3</sup> Centro de Ciências Exatas da Terra, Universidade Federal do Pampa. Av. Pedro  
15 Anunciação, S/n CEP 96.570-000, Caçapava do Sul, RS, Brasil. E-mail:  
16 rostomar@gmail.com

17 **Número de Palavras:** 9.062

18 **Total de figuras:** 08 figuras (7 coloridas)

19 **Total de tabelas:** 2 tabelas

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30 **Resumo:**

31 No setor sudeste do Cinturão Dom Feliciano, RS, está localizado o limite entre os Terrenos  
 32 Pelotas e Punta del Este, região com diversos granitoides e rochas metamórficas  
 33 neoproterozoicas e vulcânicas mesozoicas. Três domínios magnéticos foram individualizados  
 34 com base em diferentes orientações dos lineamentos observados: Domínio I, II e III, com  
 35 lineamentos dominantes, respectivamente, N40-90°E, N60-90°E, e N70-90°E. Foram  
 36 realizadas modelagens magnéticas 2/5D em dois perfis geológicos-geofísicos N-S de cerca de  
 37 6 km de extensão, distantes entre si aproximadamente 3 km. O perfil A-A' secciona o Terreno  
 38 Pelotas, até a porção norte do Terreno Punta del Este, enquanto o perfil B-B' secciona apenas  
 39 o Terreno Punta del Este. No perfil A-A' em uma análise qualitativa do modelo, observa-se  
 40 três patamares de susceptibilidade que refletem o contraste litológico da região,  
 41 respectivamente: rochas básicas aflorantes (Gabro Desvio Herval); granitoides associados a  
 42 estruturas tardias (Suíte Dom Feliciano); rochas granitoides/metamórficas associadas a Suíte  
 43 Pinheiro Machado e Gnaisse Arroio Pedrado. No perfil B-B' também se observa três  
 44 patamares de susceptibilidade refletindo as diferentes litologias da região: corpos básicos  
 45 tabulares anastomosados não aflorantes; granitoides associadas a estruturas de cisalhamento  
 46 (Granitos Chasqueiro e Três Figueiras), granitoides associados a estruturas tardias (Granito  
 47 Bretanha) e rochas metamórficas associadas aos Complexos Arroio Telho e Arroio Grande. A  
 48 caracterização magnetométrica das rochas da região, em conjunto com os dados geológicos,  
 49 possibilitam um avanço no entendimento do setor sudeste do Cinturão Dom Feliciano.  
 50 Sugere-se assim, como limite entre os Terrenos Pelotas e Punta del Este a Zona de  
 51 Cisalhamento Ayrosa Galvão, bem como a identificam-se corpos sincinemáticos às zonas de  
 52 cisalhamento e magmatismo máfico neoproterozoico ou mesozoico.

53

54 **Abstract:**

55 In the southeastern sector of the Dom Feliciano Belt, RS, is located the limit between the  
 56 Pelotas and Punta del Este Terranes, a region with several neoproterozoic granitoid bodies  
 57 and metamorphic rocks, as well as mesozoic volcanic rocks. Three magnetic domains were  
 58 individualized based on the different orientations of the observed lineaments: Domain I, II  
 59 and III, with dominant lineaments, respectively, N40-90°E, N60-90°E, and N70-90°E. 2.5D  
 60 magnetic modeling was performed on two N-S geological-geophysical profiles of about 6 km  
 61 in length, approximately 3 km apart. The A-A' profile cuts the Pelotas Terrane, up to the  
 62 northern portion of the Punta del Este Terrane, while the B-B' profile cuts only the Punta del  
 63 Este Terrane. In profile A-A' a qualitative analysis of the model, three levels of susceptibility  
 64 are observed reflecting the lithological contrast of the region, respectively: basic rocks  
 65 (Desvio Herval Gabbro); granitoids associated with late structures (Dom Feliciano Suite);  
 66 granitoid/metamorphic rocks associated with Pinheiro Machado Suite and Arroio Pedrado  
 67 Gneiss. In the B-B' profile, three levels of susceptibility are also observed, reflecting the  
 68 different lithologies of the region: non-outcropping anastomosed tabular basic rocks;  
 69 granitoids associated with shear structures (Chasqueiro and Três Figueiras Granites),  
 70 granitoids associated with late structures (Bretanha Granite) and metamorphic rocks  
 71 associated with the Arroio Telho and Arroio Grande Complex. The magnetometric  
 72 characterization of the rocks in the region, coupled with the geological data, makes it possible  
 73 to advance the understanding of the southeastern sector of the Dom Feliciano Belt. As the  
 74 boundary between the Pelotas and Punta del Este Terranes is suggested by the Ayrosa Galvão  
 75 Shear Zone, as well as the identification of synkinematic bodies in shear zones and  
 76 neoproterozoic or mesozoic mafic magmatism.

77 **Palavras-chave:** Aerogeofísica, Modelagem 2/5D; Terreno Punta del Este; Terreno Pelotas.

78 **Keywords:** Aerogeophysics; 2.5D Modelling; Punta del Este Terrane; Pelotas Terrane.

79

## 80 1 INTRODUÇÃO

81

82 A integração de estudos geológicos e geofísicos tem sido importante para a evolução  
83 do conhecimento acerca da história evolutiva de terrenos pré-cambrianos. A magnetometria,  
84 por suas características de revelar estruturas em profundidades de escalas translitosféricas  
85 (Lowrie, 2007) tem sido importante no estudo, por exemplo, de suturas e zonas de  
86 cisalhamento. O comportamento das assinaturas magnéticas anômalas de rochas geradas por  
87 acreção crustal de arcos magmáticos em ambientes colisionais, além da identificação de  
88 zonas de sutura em limites de blocos litosféricos tectonicamente paralelizados ao longo de  
89 grandes lineamentos continentais, constitui um dos principais usos desta técnica.

90 . No extremo sul do Brasil a aplicação integrada de métodos geofísicos e geológicos  
91 iniciaram no final da década de 80 (*e.g.* Costa e Ramgrab, 1989; Shukowsky *et al.*, 1991),  
92 com estudos de gravimetria associados ao entendimento do posicionamento de alguns corpos  
93 ígneos na região de Caçapava do Sul, setor central do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-  
94 rio-grandense. Também no setor central do escudo, em Costa *et al.* (1990) a magnetometria  
95 foi aplicada na região de Minas do Camaquã (Bacia de Camaquã) onde foram identificadas  
96 anomalias magnéticas interpretadas como corpos básicos não aflorantes.

97 Somente em finais da década de 90, a partir dos dados aerogeofísicos (CPRM, 1990),  
98 foram produzidas as primeiras interpretações geofísicas integradas para o Cinturão Dom  
99 Feliciano (Fernandes *et al.*, 1995a,b; Costa, 1997). Nesses trabalhos, com a integração de  
100 dados aeromagnetométricos, foram propostas divisões do Escudo Sul-rio-grandense  
101 relacionadas às principais associações petrotectônicas, denominadas de domínios geofísicos  
102 (oeste, central e leste). Releituras desses trabalhos foram realizadas, por exemplo, em  
103 Travassos (2014) e Hartmann *et al.* (2016) onde, a partir de dados geofísicos  
104 aerogamaespectrométricos e aeromagnéticos (extraídos de CPRM, 2010), foram realizados  
105 estudos em áreas-chave do Escudo Sul-rio-grandense, bem como aprimorada a  
106 individualização dos domínios anteriormente propostos.

107 Recentemente, importantes diferenças nas assinaturas geofísicas obtidas a partir de  
108 dados de CPRM (2010) foram observadas no extremo sul do Cinturão Dom Feliciano. Em  
109 Ramos *et al.* (2014) foi identificado que uma dessas diferenças coincidem com a localização  
110 do Complexo Arroio Grande, constituído majoritariamente por rochas que representam  
111 fragmentos metamorfizados de um complexo ofiolítico, possivelmente marcando uma sutura  
112 entre terrenos distintos. Esse setor foi denominado de Domínio Geofísico Sudeste, o qual  
113 coincide com a extensão em território brasileiro do Terreno Punta del Este (Ramos *et al.*,  
114 2018).

115 Partindo dessas premissas, o presente trabalho apresenta um estudo geofísico-  
116 geológico integrado, com o estudo de dados magnetométricos no limite dos Terrenos Pelotas  
117 e Punta del Este, extremos sudeste do Cinturão Dom Feliciano no Rio Grande do Sul. A  
118 integração de dados geológicos com o processamento e interpretação de dados aerogeofísicos  
119 (aeromagnetométricos) de alta resolução (linhas de vôo espaçadas de 500 m) tem o objetivo  
120 de um maior detalhamento da região, com a integração de estruturas como zonas de  
121 cisalhamento e suturas no arcabouço tectônico. A caracterização subsuperficial de estruturas  
122 associadas a regimes tectônicos, reativação de falhas e limites de terrenos, permitem um

123 avanço no entendimento da evolução geológica do setor sudeste do Cinturão Dom Feliciano,  
124 que marca um provável limite tectono-geofísico entre os terrenos Pelotas e Punta del Este.

125

## 126 2 CONTEXTO GEOLÓGICO

127

128 A área de estudo insere-se no contexto geológico do Cinturão Dom Feliciano,  
129 desenvolvido no neoproterozoico durante o Ciclo Orogênico Brasileiro - PanAfricano, o qual  
130 resultou na amalgamação do paleocontinente Gondwana Ocidental (Figura 1A e 1B). Esse  
131 cinturão orogênico se prolonga por aproximadamente 1.200 km desde Punta del Este, no  
132 Uruguai, até o nordeste do estado de Santa Catarina (Fragoso Cesar *et al.*, 1986; Fernandes *et*  
133 *al.*, 1995a,b; Heilbron *et al.*, 2004; Hueck *et al.*, 2018).

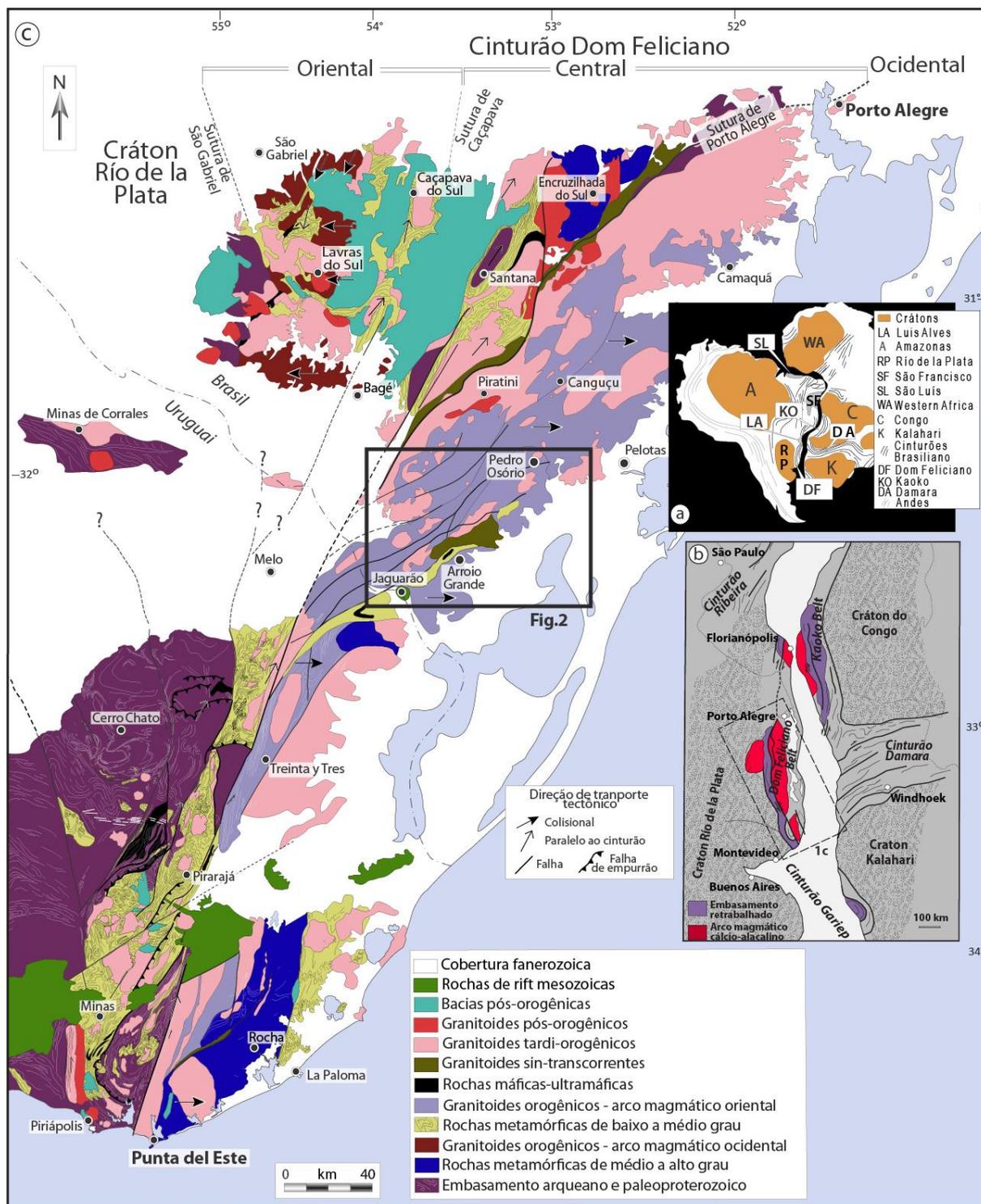
134 No Escudo Sul-rio-grandense o Cinturão Dom Feliciano está estruturado em quatro  
135 unidades tectono-geofísicas principais, denominadas de domínios geofísicos Oeste (ou  
136 Ocidental), Central, Leste (ou Oriental) (Fernandes *et al.*, 1995b; Costa, 1997), e o  
137 recentemente proposto Domínio Geofísico Sudeste (Ramos *et al.*, 2014), que corresponde a  
138 uma subdivisão do Domínio Oriental. De maneira geral esses domínios correspondem,  
139 respectivamente, aos terrenos São Gabriel e Vila Nova, terrenos Tijucas e Encruzilhada,  
140 Terreno Pelotas, e Terreno Punta del Este (Chemale Jr., 2000; Hartmann *et al.*; 2007;  
141 Saalman *et al.*, 2011; Philipp *et al.*, 2016; Ramos *et al.*, 2017; Hueck *et al.*, 2018).

142 O Domínio Oriental (Figura 1C) é limitado a leste pela cobertura fanerozoica (Planície  
143 Costeira) e a oeste pela Sutura de Porto Alegre, que se interliga a SW com a Zona de  
144 Cisalhamento Transcorrente Dorsal do Canguçu, marcando o limite entre os domínios Central  
145 e Oriental (Fernandes *et al.*, 1995a,b). Neste último predomina um conjunto de rochas  
146 denominado de Batólito Pelotas (Fragoso-César *et al.*, 1986), composto por rochas plutônicas  
147 multi-intrusivas e polifásicas, cujo magmatismo teve duração de cerca de 70 Ma (entre 630 e  
148 560 Ma; Babinski *et al.*, 1997; Silva *et al.*, 2005; Philipp *et al.*, 2016). Esses granitoides são,  
149 de maneira geral, agrupados nas suítes intrusivas Pinheiro Machado, Erval, Cordilheira, Dom  
150 Feliciano e Viamão (Fragoso-Cesar *et al.*, 1986; Philipp, 1998).

151 Subordinadamente ocorrem nessas suítes xenólitos centimétricos a decamétricos de  
152 rochas metamórficas para- e ortoderivadas (migmatitos, gnaisses, xistos, anfíbolitos e  
153 mármores), por vezes denominadas de “septos do embasamento” (Philipp *et al.*, 2002; Gerard,  
154 2015). Dentre esses se destacam o Gnaisse Piratini (Tambara *et al.*, 2019) e o Gnaisse  
155 Chácara das Pedras (Koester *et al.*, 2016) e o Gnaisse Arroio Pedrado (Vieira *et al.*, 2019) ,  
156 cujos protólitos apresentam assinatura de arco magmático continental relacionado à  
157 subducção e idades de cristalização em torno de 780-680 Ma (Vieira *et al.*, 2019),  
158 correspondendo ao embasamento onde o magmatismo posterior (630-560 Ma) se desenvolveu  
159 (Ramos *et al.*, 2017).

160 Em função de sua distinta assinatura geofísica e petrotectônica, o setor sudeste do  
161 Domínio Oriental foi individualizado, sendo denominado de Domínio Geofísico Sudeste  
162 (Ramos *et al.*, 2014). Diferentemente do Domínio Oriental, onde predominam estruturas NE-  
163 SW, no Domínio Geofísico Sudeste predominam as estruturas E-W, além de assinaturas  
164 magnéticas distintas. As associações petrotectônicas em ambos os domínios também são  
165 contrastantes.

166



167

168 **Figura 1.** Mapa geológico simplificado do Escudo Uruguaio-sul-rio-grandense (modificado de  
 169 Masquelin *et al.*, 2012) – A) Configuração do paleocontinente Gondwana Ocidental; B) Cinturões  
 170 orogênicos da Província Mantiqueira (Almeida *et al.*, 1981) e do Orógeno Damara (Gray *et al.*, 2008);  
 171 C) Cinturão Dom Feliciano e Cráton Río de la Plata no Escudo Uruguaio-sul-rio-grandense e os  
 172 diferentes domínios geofísicos: ocidental, central e oriental. Indicação da área de estudo apresentada  
 173 na Figura 2 (retângulo preto).

174

175 O Domínio Geofísico Sudeste foi recentemente interpretado (Ramos *et al.*, 2018)  
 176 como a extensão, em território brasileiro, do Terreno Punta del Este. O Terreno Punta del  
 177 Este, originalmente restrito ao sul do Uruguai (*e.g.* Preciozzi *et al.*, 1999; Basei *et al.*, 2005,

178 2011), compreende um embasamento gnáissico-migmatítico com idades magmáticas em torno  
179 de 780 Ma (*e.g.* Gnaiss Cerro Bori, Complexo Cerro Olivo - Lenz *et al.*, 2011; Masquelin *et*  
180 *al.*, 2012 – correlacionáveis ao Gnaiss Arroio Pedrado, Piratini e Chácara das Pedras; Vieira  
181 *et al.*, 2019) e herança mesoproterozoica correlacionável ao Cinturão Namaqua na Namíbia  
182 (Basei *et al.*, 2011), além de rochas oceânicas (serpentinitos, anfibolitos, metassedimentares  
183 detríticas) do Complexo Paso del Dragón (Preciozzi *et al.*, 1979; Peel, 2012). Este último é  
184 correlacionável ao Complexo Arroio Grande (serpentinitos, anfibolitos, gabros, dioritos,  
185 rochas metassedimentares siliciclásticas e químicas; Ramos *et al.*, 2018) e Arroio Telho  
186 (rochas metassedimentares siliciclásticas com fontes paleo- a neoproterozoicas) (Cruz, 2018;  
187 2019) no Brasil. Já no Uruguai correlaciona-se às unidades da Bacia Rocha (Basei *et al.*,  
188 2005), bem como ao Terreno Marmora (Cinturão Gariep) na Namíbia (Peel, 2012; Will *et al.*,  
189 2014; Ramos *et al.*, 2017; 2018).

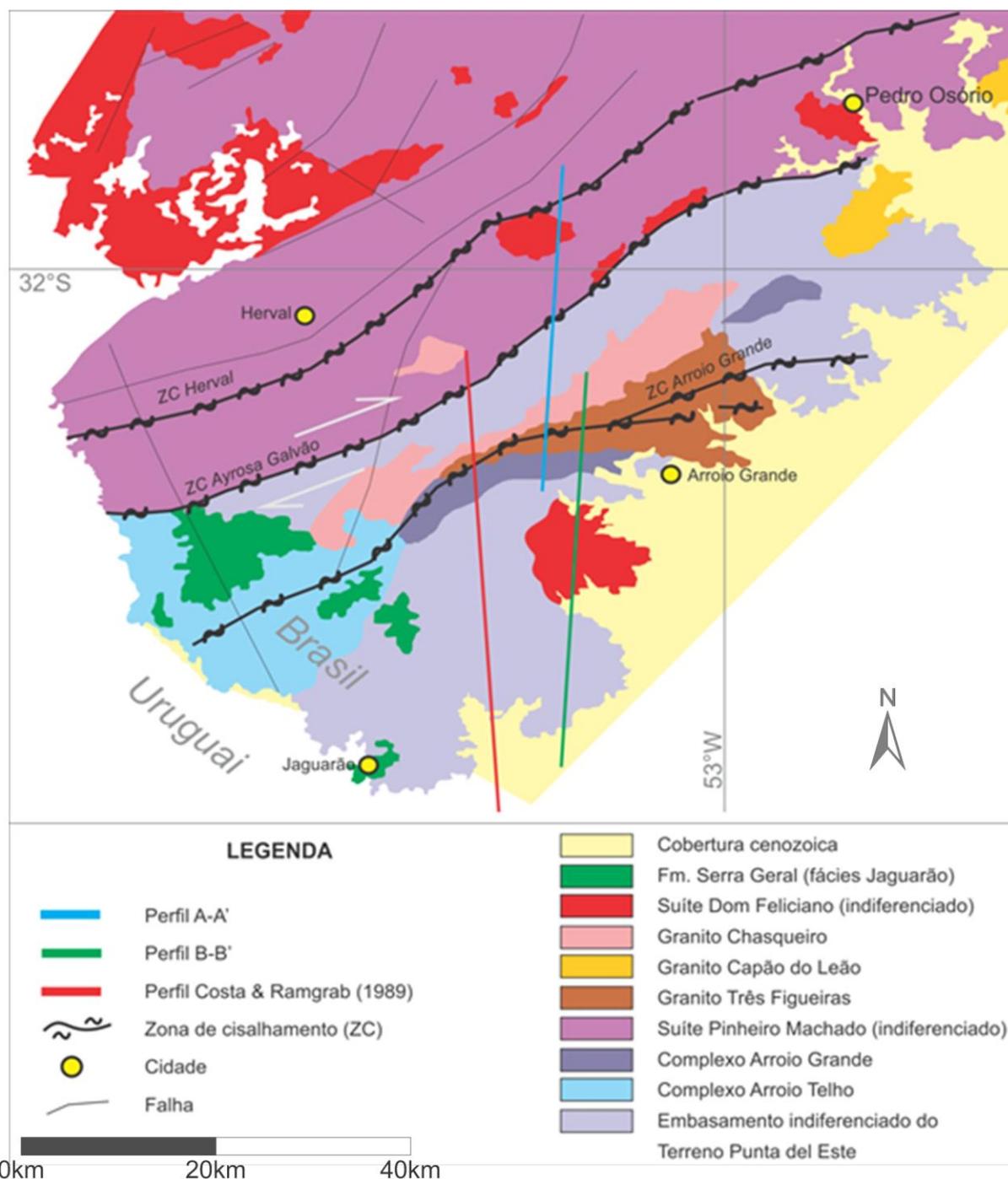
190 Essa individualização de domínios na porção sudeste do Cinturão Dom Feliciano  
191 também foi adotada por Cruz (2019), onde se sugere a partir de discontinuidades geofísicas a  
192 presença de três domínios distintos na região: Batólito Pelotas, equivalente ao Terreno  
193 Pelotas, e Domínio Intermediário e Terreno Jaguarão, ambos equivalentes ao Terreno Punta  
194 del Este.

195 Independente de domínios geofísicos, a Figura 2 apresenta um mapa geológico  
196 simplificado do setor sudeste do Cinturão Dom Feliciano, com a indicação dos dois perfis  
197 estudados na área, linhas azul e verde, aproximadamente norte-sul (perfis A-A' e B-B'), em  
198 comparação com o perfil estudado por Costa e Ramgrab (1989), destacado em vermelho.

199 Nesse mapa observam-se diversas zonas de cisalhamento da região, sendo as mais  
200 importantes a Ayrosa Galvão e a Arroio Grande. A Zona de Cisalhamento Ayrosa Galvão tem  
201 sido interpretada como o limite entre os dois terrenos - Pelotas e Punta del Este, conforme  
202 Ramos *et al.* (2018) e Cruz (2019). Sob o ponto de vista geofísico, essa zona de cisalhamento  
203 separa o Domínio Geofísico Leste e o Domínio Geofísico Sudeste (Ramos *et al.*, 2014).

204 Além dessas estruturas, a Figura 2 mostra as rochas vinculadas ao Terreno Pelotas  
205 (Suíte Pinheiro Machado) e ao Terreno Punta del Este (Complexo Arroio Grande e Complexo  
206 Arroio Telho), bem como seu embasamento indiferenciado. Ambos os terrenos são cortados  
207 por diversos granitoides neoproterozoicos (*e.g.* Granito Chasqueiro e Granito Três Figueiras),  
208 além de rochas vulcânicas, como basaltos e dacitos, vinculadas ao magmatismo mesozoico da  
209 Formação Serra Geral (Cruz, 2019).

210 Independente da subdivisão proposta para os domínios Oriental e Sudeste, a formação  
211 das rochas nesse(s) domínio(s) tem diversas interpretações, onde são postulados modelos que  
212 envolvem a subducção de litosfera oceânica em margem continental espessa (Figueiredo *et*  
213 *al.*, 1990; Philipp, 1990; Fragoso-César, 1991; Fernandes *et al.*, 1992, 1995a; Philipp, 1998;  
214 Chemale Jr., 2000; Ramos *et al.*, 2018; Vieira *et al.*, 2019), colisão continental (Hartmann *et*  
215 *al.*, 2000, Philipp e Machado, 2001) e reativação de fontes mantélicas modificadas em  
216 períodos tardi a pós-colisional (Bitencourt e Nardi, 1993; 2000).



217  
218

219 **Figura 2.** Mapa geológico simplificado da porção sudeste do Escudo Sul-rio-grandense (modificado  
220 de Ramos *et al.*, 2018) com a identificação dos dois perfis magnetométricos estudados (linhas azul e  
221 verde) e o perfil de Costa *et al.* (1990) (linha vermelha).

222

223

224

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

225

226

227

228

229

Para o desenvolvimento do presente estudo foram compilados dados aeromagnéticos provenientes do Projeto Areogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul (CPRM, 2010), adquiridos segundo linhas de voo N-S, com espaçamento médio de 500 m, altitude média de 100 m e intervalos de amostragem de 6-7 m. Estes dados foram disponibilizados no formato ASCII (XYZ), GDB's, compatíveis com a plataforma do *OASIS MONTAJ GEOSOFT* (2007),

230 onde estão agrupadas informações de posicionamento corrigidas e todos os demais canais de  
231 informação registrados a bordo da aeronave.

232 Utilizando técnicas de processamento e filtragem aplicada aos dados mencionados foi  
233 possível à identificação e realce de assinaturas anômalas nos mapas das diferentes  
234 transformações do campo potencial magnético. O tratamento e processamento dos dados  
235 aeromagnetométricos envolveu a aplicação de filtros FFT (*Fast Fourier Transform*) ao campo  
236 magnético total micronivelado reduzido do *IGRF (International Geomagnetic Reference*  
237 *Field)*, eliminando ruídos de alta frequência e realçando feições magnéticas anômalas.

238 Para a malha de amostragem dos dados aereogeofísicos se optou pelos métodos de  
239 interpolação bi-direcionais para magnetometria, com tamanho de célula de 125 m, ou seja, ¼  
240 do espaçamento entre as linhas de voo de 500 m.

241 Para extração dos lineamentos magnéticos foram utilizados, como base, os mapas de  
242 imagens da primeira derivada vertical do campo magnético e amplitude do sinal analítico.  
243 Através da interpretação visual destes produtos foi empregada a técnica de vetorização,  
244 extraindo traços retilíneos ou suavemente curvos de relevo positivo e negativo (Figura 4).

245  
246 Com base no padrão de distribuição dos lineamentos a área foi discriminada em  
247 domínios magnéticos. Aos dados vetorizados através da rotina de análise exploratória do  
248 *software* SPRING 4.2 foi possível à identificação de 80 lineamentos. A disposição espacial e  
249 direcional por domínios foi representada em diagramas em roseta (Figura 6).

250 Para a modelagem magnetométrica foi utilizado o *software* Mag2dc, desenvolvido  
251 pela Universidade de *Witwatersrand* (Johanesburgo, África do Sul), que permite a confecção  
252 de modelos geofísicos com geometria 2/5D a partir da entrada dos dados do campo magnético  
253 anômalo da área de estudo e dos parâmetros do campo magnético do local (intensidade,  
254 inclinação e declinação).

255 Os perfis modelados A-A' e B-B' foram orientados segundo a direção N-S. Com o  
256 auxílio de um susceptímetro KT-10 *Magnetic Susceptibility Meter Terraplus*, pertencente à  
257 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, foram adquiridos dados de susceptibilidade  
258 magnética em amostra de mão das unidades litológicas documentadas ao longo do  
259 caminhamento.

260

## 261 **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

262

### 263 **4.1 Mapeamento litológico dos perfis modelados**

264

265 Conforme mencionado anteriormente, os perfis geológico-geofísicos realizados  
266 (Figura 2) têm direção aproximada N-S, cortando o limite, representado pela Zona de  
267 Cisalhamento Ayrosa Galvão (Ramos *et al.*, 2014) entre os domínios geofísicos Leste  
268 (Terreno Pelotas) e Sudeste (Terreno Punta del Este). As litologias encontradas ao longo do  
269 caminhamento (Figura 3) podem ser sumarizadas em nove unidades: (a) rochas intrusivas  
270 básicas – Gabros Desvio Herval; b) granitoides da Suíte Pinheiro Machado; c) granitoides da  
271 Suíte Dom Feliciano; d) Embasamento do Terreno Punta del Este (Gnaiss Arroio Pedrado);  
272 e) Granito Chasqueiro; f) Granito Três Figueiras, g) metamorfitos do Complexo Arroio  
273 Grande; h) Granito Bretanha; i) metamorfitos do Complexo Arroio Telho.

274 *Gabros Desvio Herval* – De forma restrita, ocorrem na região entre os limites dos  
275 domínios Leste e Sudeste alguns corpos básicos intrusivos, os quais foram individualizados  
276 em trabalhos anteriores (Fragoso-Cesar, 1991, Dal Olmo-Barbosa, 2017; Dal Olmo-Barbosa  
277 *et al.*, 2018). Segundo o último autor, essas rochas compreendem intrusões gabroicas de  
278 pequeno porte, com caráter predominantemente básico. Esta ocorrência está inserida na referida  
279 Associação I, composta por rochas gabroicas, em geral cumuladas, com idade de cristalização

280 de 591 ± 4 Ma (Gabros Passo da Fabiana). Constituem rochas subalcalinas, com afinidade  
281 cálcio-alcalina médio-K (AI) com altos teores de alumina ( $Al_2O_3 > 17\%$ ) (Dal Olmo-Barbosa  
282 *et al.*, 2018). Destaca-se ainda como caráter importante para este trabalho, a contrastante  
283 assinatura magnética destes corpos com as encaixantes, sendo os primeiros geralmente  
284 representados por altos magnéticos relativos e/ou pronunciadas anomalias dipolares.

285 Complexo Pinheiro Machado – Na região entre os limites dos domínios Leste e  
286 Sudeste são encontrados granitoides da Suíte Pinheiro Machado. Ao longo do caminhamento  
287 predominam granitoides porfiríticos com foliação bem desenvolvida e deformação indicativa  
288 de alta temperatura. Esta suíte, também denominada de Complexo Pinheiro Machado, devido  
289 a ocorrências localizadas de rochas metamórficas diversas (Fragoso-César, 1991), apresenta  
290 litologias variadas compreendendo desde granitoides porfiríticos, ortognaisses, migmatitos e  
291 enclaves máficos, comumente milonitizados contendo xenólitos metamórficos. Segundo  
292 Philipp (1998) o magmatismo granítico desta suíte está associado com a evolução das zonas  
293 de cisalhamento direcionais dúcteis de alto ângulo, as quais controlaram a evolução do  
294 Cinturão Dom Feliciano como um todo. Esses granitoides, entretanto, podem estar  
295 relacionados ao encerramento de um paleo-oceano, devido à sua assinatura geoquímica  
296 relacionada à subducção e a presença de xenólitos com assinatura geoquímica oceânica  
297 (Ramos e Koester, 2015).

298 Suíte Dom Feliciano – Na região entre os limites dos domínios Leste e Sudeste são  
299 encontrados granitoides que correspondem a sienogranitos e monzogranitos, respectivamente,  
300 das fácies Serra do Erval e Cerro Grande (CPRM, 2008). Os monzogranitos são, de maneira  
301 geral, porfiríticos, homogêneos, englobando enclaves granodioríticos a tonalíticos. Segundo  
302 Philipp *et al.* (2001), os corpos dessa suíte intrudem todas as demais suítes do Terreno  
303 Pelotas, ocupando cerca de 20 % da área total do mesmo. Segundo Philipp *et al.* (2002) a  
304 Suíte Dom Feliciano tem grande homogeneidade composicional, estrutural e petrográfica.  
305 Nesta, os granitos são predominantes, ocorrendo de forma subordinada quartzo-sienitos e  
306 sienitos, os quais raramente contém enclaves microgranulares máficos e micáceos.

307 Gnaisse Arroio Pedrado - O Gnaisse Arroio Pedrado corresponde a um granito  
308 porfirítico metamorfozido em fácies anfíbolito, com trama subvertical e assinatura química  
309 shoshonítica, vinculada aos estágios finais do magmatismo de arco magmático Piratini. Sua  
310 idade de cristalização é de 680 ± 4 Ma, com metamorfismo estimado em 660 ± 4 Ma (Vieira  
311 *et al.*, 2019).

312 Granito Chasqueiro – Na porção final do perfil A-A' e inicial do perfil B-B', já no  
313 Domínio Sudeste, são encontrados afloramentos do Granito Chasqueiro. Esse granito  
314 apresenta coloração cinza claro e composição monzogranítica a sienogranítica, com textura  
315 porfirítica a heterogranular grossa com fenocristais de ortoclásio em matriz equigranular,  
316 hipidiomórfica grossa (5 a 8 mm), composta por quartzo, microclínio, plagioclásio, biotita e  
317 rara hornblenda. Segundo Vieira *et al.* (2016), o Granito Chasqueiro possui composição entre  
318 monzogranítica e sienogranítica com M' variando entre 4 e 7 %. Sua principal característica é  
319 a textura porfirítica, constituída por megacristais hipidiomórficos de K-feldspato com  
320 tamanho médio de 4 cm, podendo chegar a 8 cm. Os megacristais de K-feldspato compõem  
321 30 a 60% da rocha e estão imersos em uma matriz hipidiomórfica equigranular grossa (5 a 8  
322 mm), constituída por K-feldspato, plagioclásio, quartzo, biotita ± anfibólio. Ainda segundo  
323 esse autor, o granito varia de sieno a monzogranito subalcalino, do tipo cálcio-alcalino alto-K,  
324 de natureza metaluminosa a levemente peraluminosa, com idade de cristalização de 574 ± 3  
325 Ma.

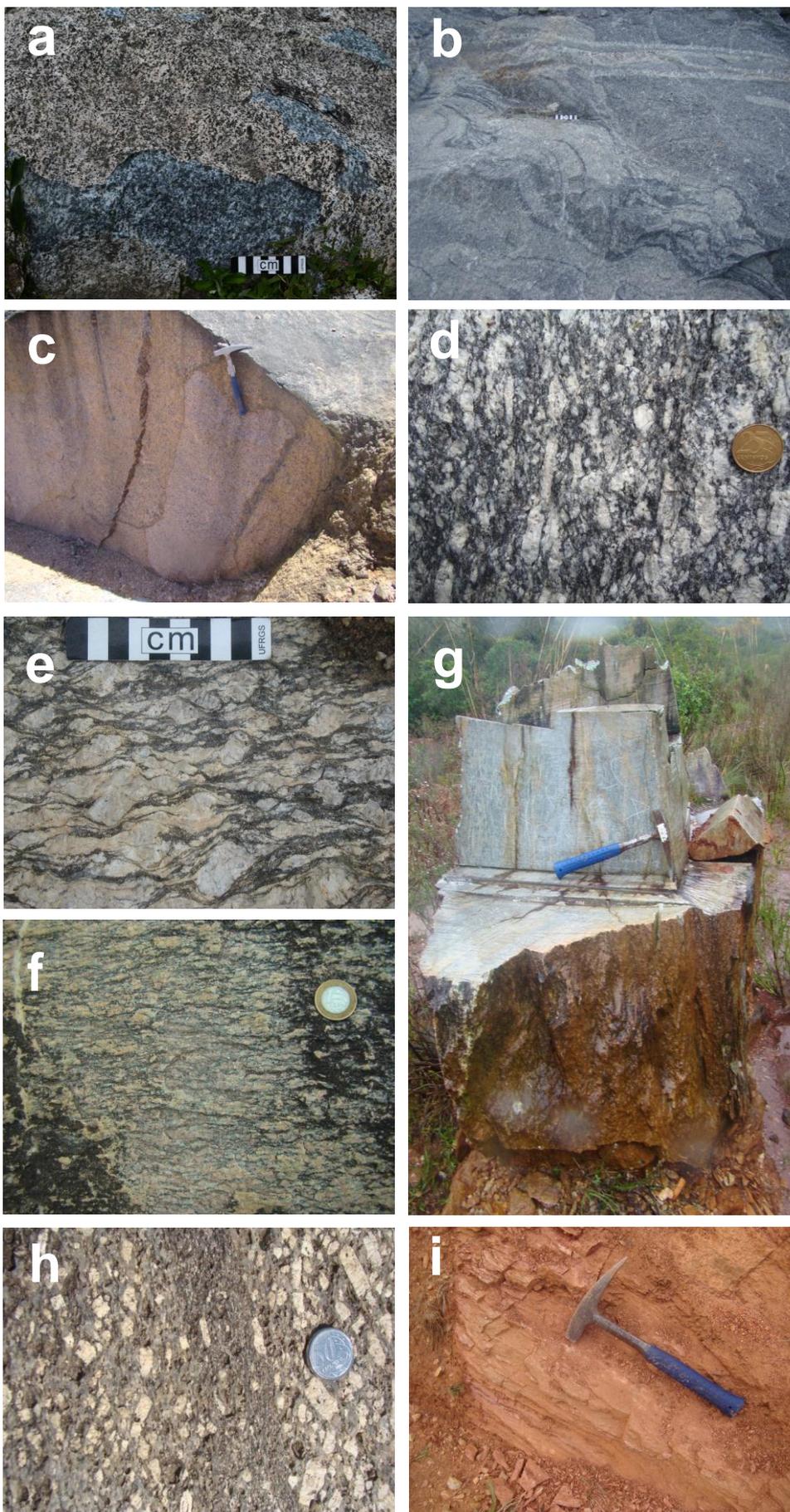
326 Granito Três Figueiras – A sul do Granito Chasqueiro são encontrados extensos  
327 lajeados do Granito Três Figueiras. Em geral os afloramentos são constituídos por  
328 leucogranito com duas micas (muscovita e biotita), granada e turmalina, com textura  
329 heterogranular média, alotriomórfica. Possui algumas zonas deformadas e milonitizadas em

330 diferentes graus, com foliação magmática e metamórfica orientada segundo a direção ENE–  
331 WSW e mergulho subvertical, relacionadas à Zona de Cisalhamento Arroio Grande, a qual  
332 afeta quase a totalidade desta unidade (Figura 2). Segundo Philipp e Machado (2005) e Klein  
333 *et al.* (2018), ocorrem raros enclaves máficos metamorfizados. A idade de cristalização desse  
334 granito está compreendida entre *ca.* 585 (Klein *et al.*, 2018) e 583 Ma (Cruz, 2019).

335 Complexo Arroio Grande – A sul do Granito Três Figueiras foram encontradas  
336 unidades metaultramáficas-máficas e metassedimentares do Complexo Arroio Grande. Entre  
337 as unidades metaultramáficas e metamáficas são encontrados corpos métricos a decamétricos  
338 de metaserpentinóis e anfíbolitos. A principal ocorrência são micaxistos e quartzitos. Todas  
339 as unidades estão milonitizadas, com suas estruturas concordantes à Zona de Cisalhamento  
340 Arroio Grande, a qual afeta a área como um todo. Segundo Ramos *et al.* (2018), essas rochas  
341 representam fragmentos metamorfizados de uma paleo-bacia oceânica, cuja idade mínima de  
342 incorporação à crosta continental é de *ca.* 640 Ma.

343 Granito Bretanha - Granito porfírico (megacristais de K-feldspato) com matriz  
344 equigranular grossa, maciço, com química cálcico-alcalina vinculada aos estágios finais do  
345 magmatismo criogeniano ( $572 \pm 5$  Ma) na região (Cruz, 2019).

346 Complexo Arroio Telho – A sul do Complexo Arroio Grande são encontrados xistos  
347 pelíticos do Complexo Arroio Telho. Nos afloramentos visitados predominam muscovita  
348 xistos, similares aos encontrados em Arroio Grande. De acordo com Cruz (2019), a idade  
349 máxima de deposição dessas rochas é de *ca.* 630 Ma.



351 **Figura 3.** Fotografias de rochas das unidades aflorantes nos perfis geológico-geofísicos realizados no  
352 presente trabalho. a) Gabro Desvio Herval; b) Suíte Pinheiro Machado (tonalitos); c) Suíte Dom  
353 Feliciano (granito); d) Granito Chasqueiro; e) Gnaisse Arroio Pedrado; f) Granito Três Figueiras; g)  
354 Complexo Arroio Grande (esteatitos); h) Granito Bretanha; i) Complexo Arroio Telho (xistos  
355 pelíticos).

356

#### 357 **4.2 Interpretação qualitativa dos dados magnetométricos**

358

359 Conforme ilustrado na Figura 4A, o comportamento da anomalia magnética residual  
360 apresenta uma resolução superior em termos de identificação e de realce de assinaturas  
361 anômalas magnéticas de longo comprimento de onda. Na porção central da área o  
362 comportamento da anomalia residual magnética se caracteriza pela presença de três pares  
363 anômalos magnéticos com uma direção preferencial segundo NE, apresentando um sinal  
364 positivo a norte e um sinal negativo a sul, com valores de amplitude variando desde 123 nT a  
365 + 60,58 nT.

366

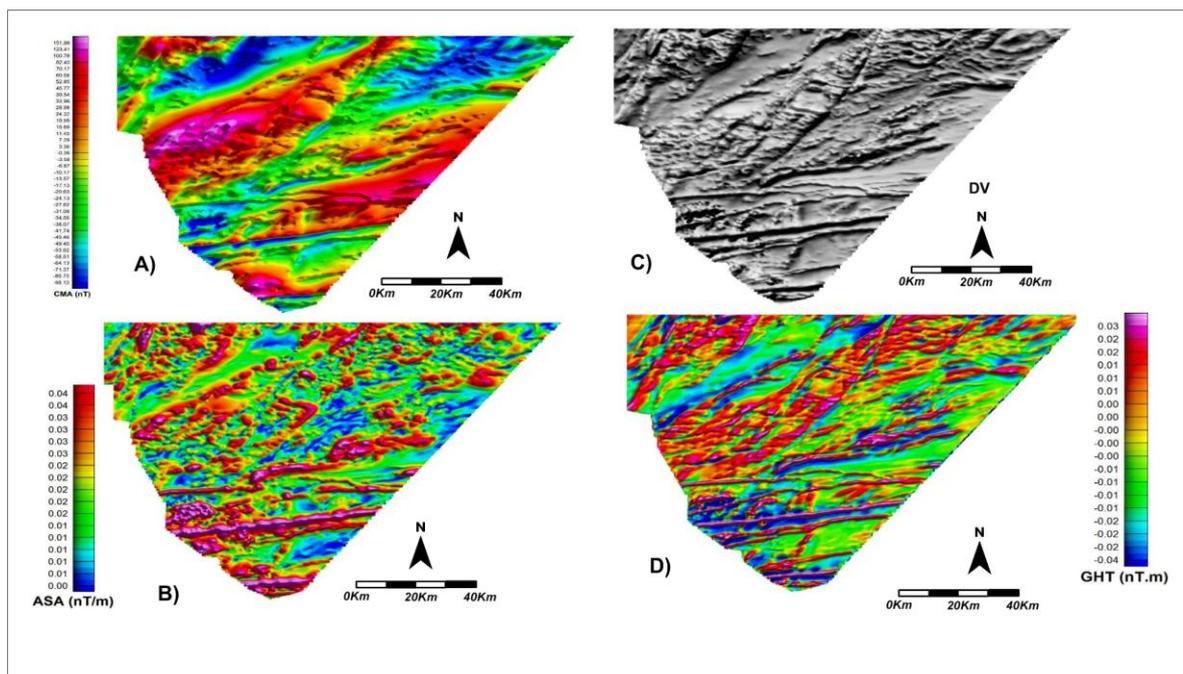
367 A partir de critérios interpretativos desses produtos identificaram-se assinaturas  
368 magnéticas regionais associadas a zonas de fraqueza tectônica, possuindo um controle  
369 estrutural, neste caso, *trends* seguindo a direção NE-SW em grande parte da área, e na porção  
370 sudeste, *trends* de direção E-W.

371 A Figura 4E mostra um mapa de imagem do Gradiente Horizontal, o qual possibilitou  
372 identificar a presença de assinaturas magnéticas anômalas de pequeno comprimento de onda  
373 dispostas espacialmente ao longo de lineamentos magnéticos regionais em uma faixa central  
374 da área de estudo com orientação preferencial segundo NE-SW. Na porção sudeste da área  
375 ocorrem lineamentos magnéticos com orientação E-W.

376 Através da interpretação do gradiente horizontal (Figura 4E) pode-se individualizar  
377 para área de estudo três domínios magnéticos, com base nos padrões dos lineamentos.

378 A partir dos resultados obtidos da interpretação do mapa da anomalia magnética da  
379 Amplitude do Sinal Analítico (ASA), conforme ilustrado na Figura 4B, foram identificadas  
380 assinaturas magnéticas anômalas de curto comprimento (1,4 – 3,7 km), na porção sudeste área  
381 de estudo. Estas apresentam um eixo principal de direção E-W, e estão associadas  
382 provavelmente a rochas básicas em subsuperfície. Padrões similares em ordem de grandeza  
383 são observados na porção norte da área, apresentando uma anomalia de curto comprimento de  
384 onda (3,2 km).

385



386

387 **Figura 4.** Diagrama esquemático com as técnicas de filtragem utilizadas no processamento dos dados  
 388 aeromagnetométricos e os produtos gráficos finais obtidos através da aplicação dos diferentes filtros,  
 389 fig.4a) mapa de imagem da anomalia magnética residual de intensidade Total, 4b). Mapa de imagem  
 390 da Amplitude do Sinal Analítico. 4c) mapa de imagem relevo sombreado primeira derivada vertical do  
 391 campo magnético de intensidade total, 4e) Mapa de imagem do gradiente Horizontal Total.

392

#### 393 4.2.1 Domínios e lineamentos magnéticos regionais

394

395 A Figura 5 mostra o mapa esquemático de domínios geofísicos inferidos a partir de  
 396 critérios interpretativos e da análise do comportamento da Anomalia de ASA, e do Gradiente  
 397 Horizontal dos dados da anomalia magnética residual de Intensidade Total. Conforme  
 398 ilustrado no mapa, ressaltam-se três domínios magnéticos (Tabela 1), classificados através da  
 399 orientação dos lineamentos e patamares magnéticos para toda área.

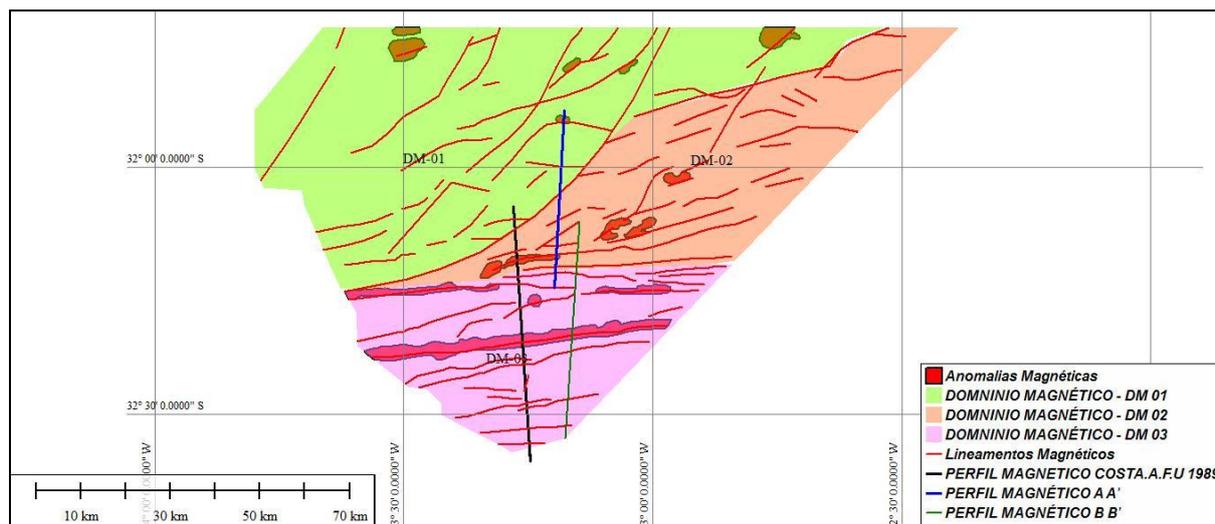
400 Os lineamentos magnéticos regionais de direção NE-SW integrados a informações  
 401 geológicas representam estruturas mais antigas do que os lineamentos NW-SE, com exceção  
 402 de um lineamento regional bem definido em todos os mapas de imagens. Esta estrutura, não  
 403 mapeada por CPRM (2010).

404 Os lineamentos magnéticos exibem padrões consistentes sobre os Domínios 01 e 02,  
 405 que abrangem grande parte da área de estudo, com tendência principal NE-SW, e secundária,  
 406 NW-SE. O domínio 03 apresenta também uma tendência E-W bem definida associando-se a  
 407 zonas de cisalhamento e a algumas fraturas possivelmente preenchidas por magma básico em  
 408 forma de diques. Os lineamentos com tendências direcionais E-W, NE-SW e NW-SE  
 409 representam estruturas que foram reativadas ao longo do tempo.

410 O domínio 01 e separado do domínio 02 por um lineamento regional de orientação  
 411 NE-SW associado à Zona de Cisalhamento Ayrosa Galvão e o domínio 02 do 03 por um  
 412 lineamento regional E-W associado a Zona de Cisalhamento Arroio Grande, sendo que  
 413 geologicamente o Domínio 01 está correlacionado ao Terreno Pelotas e os domínios 02 e 03  
 414 ao Terreno Punta de Este.

415

416



417  
418

419 **Figura 5.** Mapa de domínios lito-geofísicos baseado na interpretação dos dados magnetométricos. A  
420 linha preta representa o perfil magnético com orientação N-S modelado por Costa e Ramgrab (1989).  
421 As linhas azul e verde representam, respectivamente, os perfis magnéticos A-A' e B-B', com  
422 orientação N-S, realizados neste trabalho.

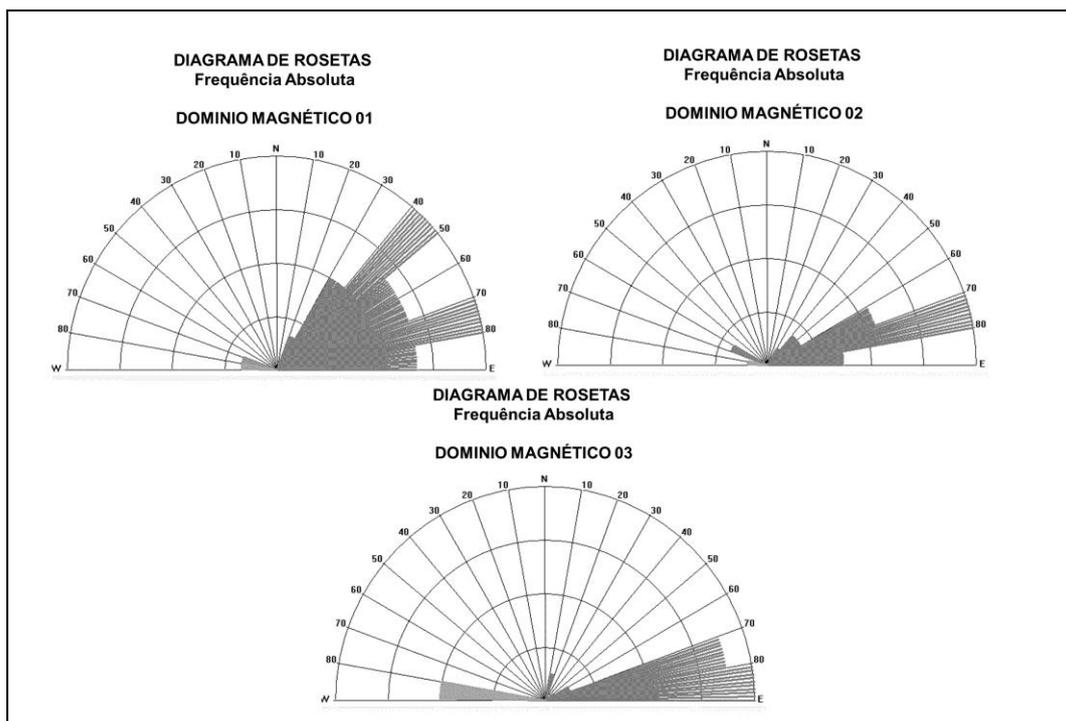
423

424 **Tabela 1.** Estatística descritiva dos lineamentos magnéticos do setor sudeste do Cinturão Dom  
425 Feliciano no Escudo Sul-rio-grandense.

	Domínio 01	Domínio 02	Domínio 03
<b>Total de Lineamentos</b>	30	29	21
<b>Comprimento Total</b>	4.61	3.34	4.61
<b>Comprimento Médio</b>	0.15 +/- 0.16	0.12 +/- 0.11	0.22 +/- 0.15
<b>Azimute Médio</b>	50.27 +/- 39.59	54.21 +/- 44.99	45.51 +/- 67.76
<b>Azimute Médio Ponderado</b>	46.27 +/- 25.77	83.66 +/- 21.27	89.54 +/- 19.69

426

427 Os diagramas de roseta apresentados na Figura 6 permitem a visualização das  
428 diferenças entre os três domínios magnéticos, além de apresentar um melhor panorama da  
429 tectônica da área. Os diagramas apresentam a frequência absoluta dos lineamentos na  
430 totalidade obtidos com intervalos de 10°, conforme o ângulo azimutal. Dessa maneira, os  
431 diagramas evidenciam as direções predominantes dos lineamentos estruturais.



432  
433

434 **Figura 6.** Diagramas de rosetas dos lineamentos extraídos a partir da interpretação dos dados  
435 aerogeofísicos.

436

#### 437 4.2.2 Modelagem magnética 2/5D

438

439 Os modelos geofísicos foram baseados nas interpretações qualitativas e quantitativas  
440 das transformações do campo potencial, correlacionando com informações geológicas  
441 compiladas. Para a confecção dos modelos referentes aos perfis A-A' e B-B' foram utilizados  
442 dados de susceptibilidade magnética adquiridos em amostra de mão das unidades litológicas  
443 documentadas no mapeamento litológico (ver seção 4.1).

444

#### 445 Interpretação do perfil A-A'

446

447 Os dados calculados se ajustaram adequadamente ao comportamento do campo  
448 magnético observado (Figura 7A). Em uma análise qualitativa do modelo, observa-se três  
449 patamares de susceptibilidade na ordem do décimo (0,18), centésimo (0,069) e milésimo  
450 (0,0034) para unidade padrão de  $10^{-3}$  (SI). Estas diferenças de patamares refletem na diferença  
451 de cores nos polígonos modelados.

452 O perfil modelado sugere a presença de rochas básicas em subsuperfície não  
453 registradas por CPRM (2008) e Cruz (2019) nos mapeamentos geológicos realizados  
454 previamente na área. Essas rochas poderiam representar o preenchimento de fraturas  
455 extensionais, formando corpos tabulares subverticais.

456 Na porção sul do perfil, um dos corpos modelados está associado à Zona de  
457 Cisalhamento Arroio Grande, a qual poderia ter servido como um possível conduto para os  
458 magmas básicos. Este corpo situa-se a 385 m em subsuperfície e se estende a 16.588 m de  
459 profundidade com uma espessura de 250 m, e mergulho de  $80^{\circ}$ N.

460 O polígono 05, situado na porção norte do perfil, caracteriza-se por ser um corpo  
461 parcialmente aflorante com 16086 m de comprimento em subsuperfície, com uma espessura  
462 de 800 m a 3,5 km de profundidade, variando a 270 m até a base.

463 O Gabro Desvio Herval (polígono 05) situado na porção norte do perfil, caracteriza-  
464 se por ser um corpo tabular subvertical, conforme sugerido em Dal Olmo-Barbosa *et al.*  
465 (2018), com mergulho de 82°S, aflorante parcialmente com 16.086 m de comprimento em  
466 subsuperfície, apresenta a 3,5 km de profundidade uma espessura de 800 m variando a 270 m  
467 até a base.

468 Este corpo tabular intrudindo o Complexo Pinheiro Machado controlado  
469 estruturalmente pela Zona de Cisalhamento Erval apresenta característica similar ao (polígono  
470 13) que se caracteriza por um corpo básico central preenche uma fratura regional associada à  
471 Zona de Cisalhamento Ayrosa Galvão, que segundo CPRM. (2008) e os dados modelados  
472 neste perfil e um contato entre o terreno Pelotas e o Punta de Leste. Ambos os Corpos  
473 apresentam a mesma susceptibilidade magnética, parâmetros geométricos similares, correlatos  
474 a zonas de cisalhamento, sendo diferenciados apenas pelo fato do corpo associado ao Gabro  
475 Desvio Erval ( polígono 05) esta aflorante em relação ao corpo do (polígono 13). Com base  
476 nessas informações pode-se inferir que o corpo modelado (polígono 13) e oriundo do mesmo  
477 evento magmático do Gabro Desvio Erval.

478 Os corpos básicos tabulares com mergulho de 82°S localizados na porção central do  
479 perfil não foram documentados em mapeamentos anteriores (CPRM 2008; Cruz, 2019). Esses  
480 corpos encontram-se em subsuperfície a 196 m de profundidade (polígono 13), 1729 m  
481 (polígono 11) e 980 m (polígono 10) com espessuras em torno de 280 m estendendo a 16,2  
482 km de profundidade. O polígono 07, situado na porção sul do perfil, abrange uma pequena  
483 intersecção do granito Chasqueiro que se caracteriza, conforme o modelo, como um corpo em  
484 formato elíptico deformado na parte principal, atingindo 5249 m em subsuperfície e raiz  
485 tabular com profundidade de 16365 m. Este formato deformado do corpo, com deformação  
486 magmática e tectônica, pode estar associado à zona de cisalhamento.

487 O polígono 08, na porção sul do perfil, associado ao Granito Três Figueiras,  
488 caracteriza-se por um corpo tabular raso aflorante, atingindo em subsuperfície 3371 m com  
489 espessuras em torno de 4,5 km em superfície, e na base em torno de 835 m em subsuperfície.  
490 Esta geometria tabular do corpo na porção modelada está relacionada ao fato deste granito ser  
491 sintranscorrentes, associado à zona de Cisalhamento Arroio Grande.

492 O polígono 09, localizado na porção sul do perfil, está associado ao Complexo  
493 Arroio Grande e caracteriza-se por um corpo tabular raso não aflorante, atingindo em  
494 subsuperfície 395 m, e espessuras em torno de 3,5 km em superfície.

495 O polígono 12 com valor de susceptibilidade magnética inferida do Gabro Desvio  
496 Erval, caracteriza-se por um corpo alongado extenso abrangendo toda extensão do perfil  
497 modelado localizado a 16 km em subsuperfície, podendo ser associado à antiga estrutura de  
498 câmara magmática

499 O polígono 15 apresenta um corpo de formato elíptico deformado com espessura  
500 variando entre 1.739 a 2.145 m, com profundidade de 4105 m. Este corpo está associado ao  
501 Complexo Arroio Telho.

502

### 503 **Interpretação do perfil B-B'**

504

505 O perfil B-B' abrange as unidades geológicas principais dos domínios geofísicos 02  
506 e 03. Através de modelagem magnética 2/5D onde foram estabelecidos os parâmetros  
507 geométricos para dez corpos (Figura 8), incluindo o embasamento associando ao Gnaiss  
508 Arroio Pedrado, destacando as unidades aflorantes como os granitos Três Figueiras e  
509 Chasqueiro, ambos estudados também no perfil A-A'.

510 O polígono 03, situado na porção norte do perfil, abrange o Granito Chasqueiro.  
511 Caracteriza-se, conforme o modelo, como um corpo elíptico deformado na parte principal,  
512 atingindo 6070 m em subsuperfície e raiz tabular com profundidade de 13709 m.

513 O polígono 04, na porção Norte do perfil, está associado a uma fração mais espessa  
 514 do Granito Três Figueiras Caracterizando-se por um corpo elíptico deformado raso aflorante,  
 515 atingindo em subsuperfície 7289 m, com espessuras em torno de 2214 m.

516 O polígono 05, situado na porção central do perfil, caracteriza-se por um corpo  
 517 tabular localizado a 327 m em subsuperfície, atingindo uma profundidade de 8.309 m.

518 A propriedade física deste corpo em termos de susceptibilidade magnética  
 519 corresponde a uma rocha de composição básica, com características similares às observadas  
 520 nos corpos modelados no perfil A A'.

521 O polígono 06, situado na porção centro-norte do perfil, caracteriza-se por ser um  
 522 corpo tabular localizado a 233 m em subsuperfície, com profundidade de 7254 metros e  
 523 espessura variando entre 640 a 800 m. Este polígono está conectado aos polígonos 05 e 07,  
 524 apresentando a mesma propriedade física sugerindo assim que são corpos oriundos de um  
 525 mesmo evento magmático.

526 O polígono 08, localizado na porção sul do perfil, está associado ao Complexo  
 527 Arroio Grande e caracteriza-se por um corpo tabular raso não aflorante, atingindo em  
 528 subsuperfície 460 m, e espessuras em torno de 3,5 km em superfície.

529 O polígono 09, abrangendo uma grande porção ao longo do perfil (29,2 km), está  
 530 associado ao Granito Bretanha, atingindo 7924 m em subsuperfície.

531 O polígono 10 apresenta um corpo com geometria elíptica deformada com 3467 m de  
 532 espessura, atingindo 3.9 km em subsuperfície, estando associado ao Complexo Arroio Telho.

533 Assim como no perfil A-A', o modelo do perfil B-B' também sugere a presença de  
 534 corpos básicos em profundidade, entretanto, no modelo A-A' essas intrusões apresentam um  
 535 formato tabular, atingindo profundidades em torno de 16 km, sendo possivelmente  
 536 relacionadas com as rochas da unidade Gabro Desvio Herval e duas alojadas estruturalmente  
 537 em zonas de cisalhamentos.

538 Características similares em termos de susceptibilidade magnética são observadas no  
 539 perfil B-B', porém a geometria dos corpos difere. Neste modelo apresentam uma forma  
 540 elíptica deformada no corpo principal, atingindo profundidade de 12,5 km o que corrobora o  
 541 modelo proposto por (Costa e Ramgrab, 1989) sugerindo a movimentação e ascensão de  
 542 magma mais jovem, os quais poderiam ter aproveitado zonas de fraqueza crustal ao longo do  
 543 tempo. Esta fraqueza crustal pode estar associada a eventos cenozoico relacionado à abertura  
 544 do atlântico, o que difere do evento magmático onde esta inserido ao menos dois corpos  
 545 modelados no perfil A –A' que estão correlacionados a zonas de cisalhamentos de idades  
 546 mesozoicas.

547

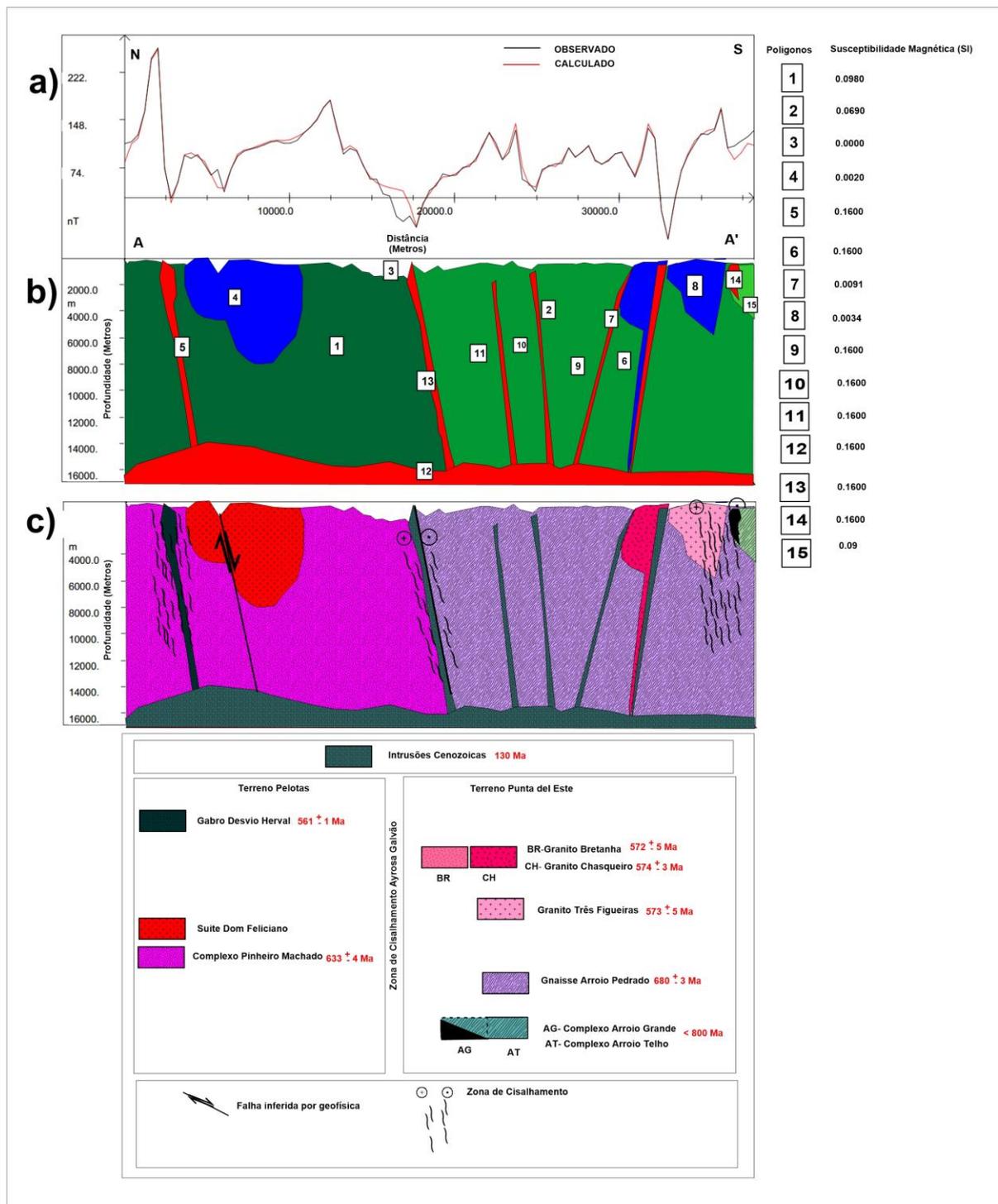
#### 548 **4.3 Integração de dados geológicos e geofísicos e a evolução tectônica do setor sudeste do** 549 **Cintrão Dom Feliciano**

550 Conforme a literatura (e.g. Phillip *et al.*, 2016; Hueck *et al.*, 2018, Cruz, 2019 e  
 551 Vieira *et al.*, 2019), as rochas aflorantes na área de estudo são predominantemente de idades  
 552 neoproterozoicas, e subordinadamente, mesozoicas. Assim, a história geológica da região  
 553 possivelmente está compreendida no intervalo entre 680 a 130 Ma. Neste, as rochas mais  
 554 antigas correspondem ao Gnaiss Arroio Pedrado (680 Ma), enquanto as mais jovens são os  
 555 basaltos da Bacia do Paraná (Cruz, 2019).

556 Assim, a evolução geológica da área pode ser interpretada em dois eventos principais:  
 557 1) como produto do fechamento do paleo-oceano Adamastor, sendo resultado de uma  
 558 subducção de leste para oeste sob a microplaca Arachania e Arco Piratini; 2) compreende o  
 559 momento de geração das rochas vulcânicas vinculadas à abertura do Oceano Atlântico Sul  
 560 (Ramos *et al.*, 2017, Cruz, 2019).

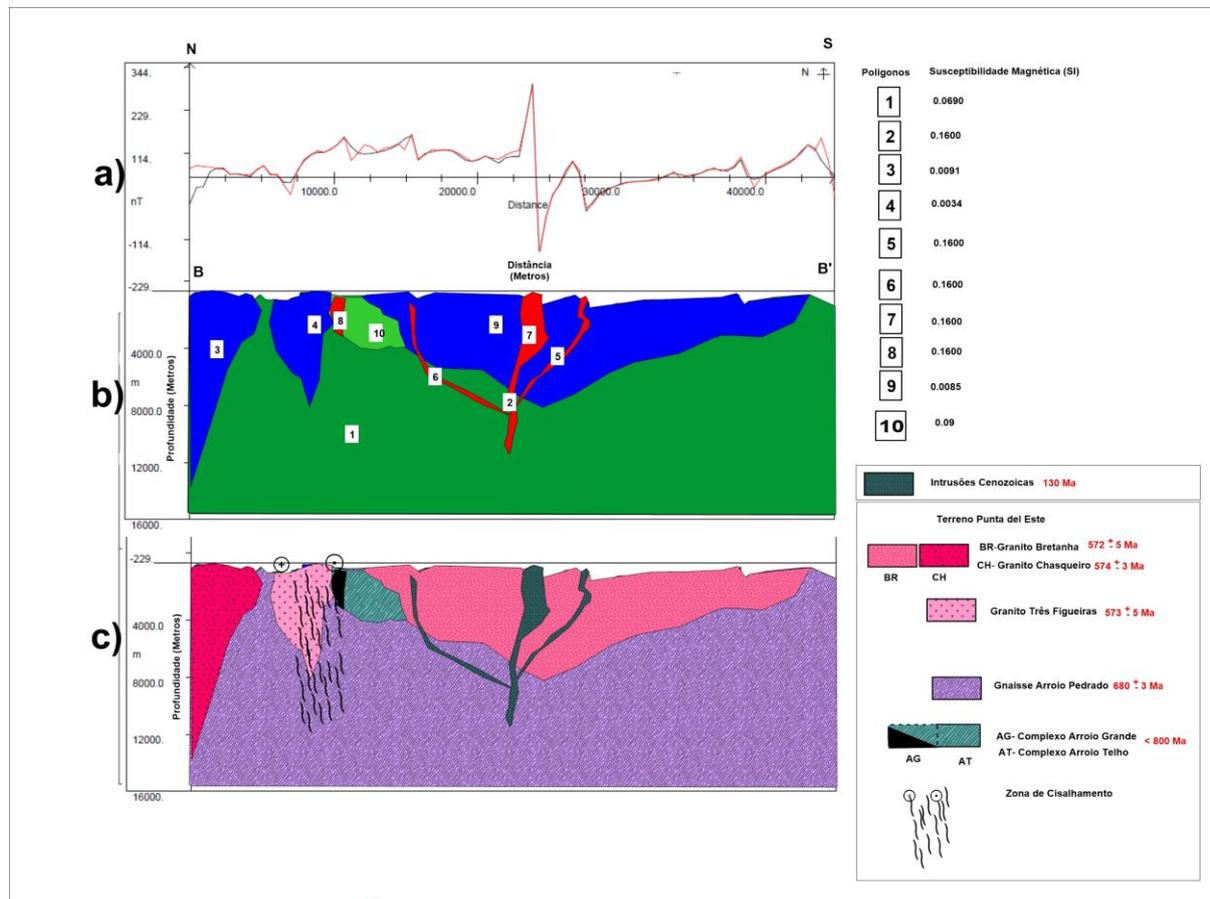
561 Os fragmentos do Arco Piratini estão registrados na área pelos remanescentes do  
 562 embasamento do Terreno Punta del Este, no Gnaiss Arroio Pedrado (Vieira *et al.*, 2019),

563 bem como pelo Gnaiss Piratini (Tambara *et al.*, 2019). Ainda neste terreno ocorrem as rochas  
 564 do Complexo Arroio Grande e Complexo Arroio Telho (metamáficas e metasedimentares).  
 565 Fragmentos do paleo-oceano são representados pelo Complexo Arroio Grande (Ramos *et al.*,  
 566 2017), cuja obducção ocorreu a partir de 640 Ma. Xenólitos de gabros com composição  
 567 similar aos do ofiolito são encontrados em algumas exposições do Complexo Pinheiro  
 568 Machado, possibilitando levantar a hipótese de que fragmentos do paleo-oceano também  
 569 foram assimilados ao longo da evolução do magmatismo.



570 **Figura 7.** Modelo geofísico-geológico 2/5D do perfil A-A', orientação N-S, confeccionado a partir do  
 571 cruzamento das informações magnetométricas e geológicas. a) Perfil magnetométrico. b) Parâmetros  
 572

573 geométricos das unidades geológicas em subsuperfície. c) Interpretação geológica da modelagem  
 574 geofísica.  
 575  
 576



577  
 578  
 579 **Figura 8.** Modelo geofísico-geológico 2/5D do perfil B-B', com orientação N-S, confeccionado a  
 580 partir do cruzamento das informações magnetométricas e geológicas. a) Perfil magnetométrico. b)  
 581 Parâmetros geométricos das unidades geológicas em subsuperfície. c) Interpretação geológica da  
 582 modelagem geofísica.  
 583

584 Em torno de de 630 Ma, há o início do magmatismo polifásico da Suíte Pinheiro  
 585 Machado (Phillip *et al.*, 2002; Loureiro, 2015, Cruz, 2019) associado à subducção do paleo-  
 586 oceano Adamastor e à geração de um arco magmático continental, com pulsos magmáticos  
 587 com variadas composições (dioríticas a graníticas), alojadas sob a crosta continental pretérita.  
 588 Este processo resultou na geração dos granitoides com assinatura geoquímica de arco  
 589 magmático, relacionados à subducção, no Terreno Pelotas.

590 Com a colisão continental, zonas de cisalhamento foram estabelecidas nos dois  
 591 terrenos em virrude de movimentos compressivos em regimes transpressivos, com a geração  
 592 de diversos granitoides sincinemáticos a essas zonas, desenvolvendo-se um cinturão de zonas  
 593 de cisalhamento dúcteis de alto ângulo ao longo dos batólitos (Cinturão de Cisalhamento Sul  
 594 Brasileiro, Bitencourt *et al.*, 2002). O magmatismo sin-cinemático a essas zonas de  
 595 cisalhamento ocorreu por volta de 580-570 Ma (Granito Três Figueiras e Granito Chasqueiro,  
 596 repectivamente de Klein *et al.*, 2018 e Viera *et al.*, 2016).

597 Após o encerramento final do paleo-oceano Adamastor e a geração de zonas de  
 598 cisalhametno ocorreu a fase de relaxamento termal (entre 570 e 560 Ma), com a reativação de  
 599 zonas de cisalhamento pré-existentis onde magmas básicos (rochas intrusivas básicas – Gabro

600 Desvio Herval, Dal Olmo-Barbosa *et al.*, 2018) registram os eventos geológicos mais  
601 próximos ao final do ediacarano.

602 Algumas estruturas profundas foram reativadas durante a abertura do Oceano  
603 Atlântico, por onde intenso magmatismo mesozoico se posicionou na crosta, intrudindo o  
604 Terreno Punta del Este (Cruz, 2019).

605 O perfil geofísico da Figura 7c, integra os dados de geologia acima citados e a  
606 geofísica. Esse perfil corta o limite do Terreno Pelotas e Punta del Este, onde pode ser  
607 observado que as propriedades magnéticas podem ser ajustadas à geologia. No Terreno  
608 Pelotas (domínio magnético 1), rochas com padrões magnéticos baixos representam a Suíte  
609 Pinheiro Machado, enquanto os valores intermediários registram o magmatismo da Suíte Dom  
610 Feliciano. Já os altos valores correspondem às rochas máficas neoproterozoicas, Gabro  
611 Desvio Herval, posicionados na forma de diques-condutos tabulares e verticalizados em  
612 reativações de zonas de falha-cisalhamento profundas (16 km), potencialmente interligadas  
613 com o manto.

614 O limite do Terreno Pelotas (domínio magnético 1) e Terreno Punta del Este  
615 (domínio magnético 2) está materializado na Figura 7c, a partir da integração da geologia e  
616 geofísica como uma zona de cisalhamento-sutura registrada pela Zona de Cisalhamento  
617 Ayrosa Galvão. Nesta, possivelmente ocorre a intrusão de magmas máficos, porém,  
618 interpretado como associado a rochas mesozoicas vinculadas à abertura do Oceano Atlântico,  
619 em virtude de que no Terreno Punta del Este, a partir da integração com a geologia, esses  
620 corpos máficos tem orientações preferenciais W-E e altos valores magnéticos. No Terreno  
621 Punta del Este, as rochas com valores magnéticos mais baixos são vinculadas aos Gnaisses  
622 Arroio Pedrado, enquanto os intermediários aos granitos sincinemáticos à Zona de  
623 Cisalhamento Arroio Grande (Chasqueiro e Três Figueiras).

624 Na Figura 8c, com a integração da geologia e geofísica, é possível observar que no  
625 Terreno Punta del Este (domínio magnético 2 e 3), dominam em superfície as rochas  
626 granitoides tardias, o Granito Bretanha, com baixos valores magnéticos, e subordinadamente,  
627 dos granitos associados a zonas de cisalhamento (Chasqueiro e Três Figueiras). Observa-se  
628 que os corpos máficos são mais rasos nesse domínio geofísico, relacionados a estruturas W-E  
629 e, em geral, com forma irregular, não tabular, e mais rasas (9 km), interpretadas como  
630 magmatismo vinculado à abertura do Oceano Atlântico Sul.

631 A comparação dos perfis realizados no presente estudo, apresentados na Figuras 7 e  
632 8, corroboram a interpretação de Costa e Ramgrab (1989), onde em seu perfil magnetométrico  
633 identificaram as estruturas W-E como diques básicos do mesozoico. No presente trabalho,  
634 esses diques são referendados para o Terreno Punta del Este, porém, no Terreno Pelotas, são  
635 aqui identificados como rochas gabroicas neoproterozoicas.

636 Assim, a geologia e os padrões magnéticos geofísicos integrados, remontam a  
637 evolução do limite dos Terrenos Pelotas e Punta del Este no sudeste do Cinturão Dom  
638 Feliciano no RS, com a identificação de discontinuidades geofísicas e geológicas que  
639 representam limites de terrenos, zonas de cisalhamento ou mesmo reativações das mesmas.

640

## 641 **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

642

643 Através da análise qualitativa dos dados magnetométricos pode-se delimitar 03  
644 domínios geofísicos com base nos padrões dos lineamentos, i.e, orientação, comprimento  
645 médio, e comportamento regional do campo magnético. Os domínios são separados por  
646 estruturas geológicas regionais, sendo as principais as Zonas de Cisalhamento Ayrosa Galvão  
647 que separa os domínios 01 e 02 e a zona de cisalhamento Arroio Grande que se para os  
648 domínios 02 e 03. O domínio magnético 01 está associado ao Terreno Pelotas e os domínios  
649 02 e 03 às unidades geológicas do Terreno Punta del Este. As assinaturas magnéticas

650 anômalas E-W nos domínios 02 e 03, apresentam ordem de grandeza similar às mensuradas  
 651 no domínio 01, porém são interpretadas de formas distintas, respectivamente, como rochas  
 652 vulcânicas da formação Serra Geral no Terreno Punta del Este, e como o Gabro Desvio  
 653 Herval, no Terreno Pelotas. Essa separação é fundamentada no formato diferente dos corpos,  
 654 bem como profundidades de colocação distintas, respectivamente, 12 km e 16 km.

655 Assim, a integração de estudos geológicos e geofísicos no setor sudeste do cinturão  
 656 permite a individualização de estruturas como limites de terrenos e zonas de cisalhamento,  
 657 setor esse caracterizado pela presença de intenso magmatismo vinculado a zonas de  
 658 subducção de placa oceânica, a zonas de cisalhamento e a reativações de zonas de  
 659 cisalhamento devido ao relaxamento termal. Essa integração permite ainda a delimitação entre  
 660 os Terrenos Pelotas e Punta del Este, contribuindo para o entendimento da evolução geológica  
 661 do sudeste do Cinturão Dom Feliciano no Rio Grande do Sul.

662

## 663 **AGRADECIMENTOS**

664

665 Os autores agradecem à UFRGS e à UNIPAMPA, além da Fundação de Amparo à  
 666 Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS; proc. PqG 10/1509-0) e ao Conselho  
 667 Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq; proc. 140461/2016-7), pelo  
 668 suporte científico do projeto, e ainda à CPRM pela disponibilização dos dados geofísicos  
 669 utilizados no presente trabalho. Ao Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGGeo-  
 670 IGeo-UFRGS) e ao Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica (CPGq-IGeo-UFRGS)  
 671 pelo suporte com infraestrutura e apoio técnico.

672

673

## 674 **REFERÊNCIAS**

675 Almeida, F.F.M., Hasui, Y, Eves, B.B.B., Fuck, R.A. (1981). Brazilian Structural Provinces: an  
 676 introduction. *Earth Science Review*, 17: 1–29.

677

678 Babinski, M., Chemale Jr., F., Van Schmus, W.R., Hartmann, L.A., Silva, L.C. (1997). U-Pb and Sm-  
 679 Nd geochronology of the Neoproterozoic Granitic-Gneissic Dom Feliciano Belt, Southern Brazil.  
 680 *Journal of South American Earth Sciences*, 10(3/4), 263-274.

681

682 Barbosa, L.D., Koester, E., Gastal, M.C., Ramos, R. C.(2017). Basic Ediacaran magmatism (562 Ma)  
 683 in southeast Sul-Riograndense Shield: U-Pb SHRIMP zircon dating of Alto Alegre Diorite. In:  
 684 *Congresso Brasileiro de Geologia*, 36, Natal, 1990. Anais, Natal, SBG, v. 4, p. 1623-1738

685

686 Barbosa, L., Koester, E., Gastal, M. do C. (2018). Rochas intrusivas básicas no sudeste do Cinturão  
 687 Dom Feliciano, RS: petrografia e geoquímica das associações I e II. *Geologia USP. Série Científica*,  
 688 18(2), 149-170.

689

690 Basei, M.A.S., Frimmel, H.E., Nutman, A.P., Preciozzi, F., Jacob, J. (2005). A connection between  
 691 the Neoproterozoic Dom Feliciano (Brazil/Uruguay) and Gariiep (Namibia/South Africa) orogenic  
 692 belts and evidence from a reconnaissance provenance study. *Precambrian Research*, 139, 195 e 221.

693

694 Basei, M.A.S., Campos Neto, M.C., Castro, N.A., Nutman, A.P., Wemmer, K., Yamamoto, M.T.,  
 695 Hueck, M., Osako, L., Siga, O., Jr., and Passarelli, C.R. (2011a), Tectonic evolution of the Brusque  
 696 Group, Dom Feliciano Belt, Santa Catarina, Southern Brazil. *Journal of South American Earth  
 697 Sciences*, 32, 324–350.

698

- 699 Bitencourt, M. F., Nardi, L.V.S. (1993). Late-to Post-collisional Brasiliano Magmatism in  
700 Southernmost Brazil. In: *Workshop MAGMA: Magmatismo Granítico e Mineralizações Associadas*,  
701 Rio de Janeiro. Extended Abstracts. Rio de Janeiro: *Academia Brasileira de Ciências*, 1, 3-4.  
702
- 703 Bitencourt, M.F., Nardi, L.V.S. (2000). Tectonic setting and sources of magmatism related to the  
704 Southern Brazilian Shear Belt. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(1),186-189.  
705
- 706 Bitencourt, M. F., Nardi, L.V.S., Philipp, P.P. (2002). Evolução Crustal do Sul do Brasil: Evidências  
707 do Estudo dos Granitóides. (Apresentação de Trabalho/Seminário). Chemale Jr., F., 2000. Evolução  
708 geológica do Escudo sul-rio-grandense. In: Holz, M., De Ros, L.F. (Eds.), *Geologia do Rio Grande do*  
709 *Sul. Edição CIGO/UFRGS*, Porto Alegre, pp. 13e52.  
710
- 711 Costa, A.F. U. (1997). Teste e modelagem geofísica das associações litotectônicas pré-cambrianas no  
712 Escudo Sul-rio-grandense. Porto Alegre, 257p. *Tese de Doutorado em Ciências, Instituto de*  
713 *Geociências*, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.  
714
- 715 Costa, A.F.U., Ramgrab, G.E. (1989). Lineamento Jaguarão - caracterização aeromagnética. *Revista*  
716 *Brasileira de Geociências*, 7(1), 41-45.  
717
- 718 Costa, A.F.U., Ramgrab, G.E., Vasconcelos, R. (1990). Interpretação do campo magnético na porção  
719 oriental do Escudo Sul-Rio-Grandense. *XXXVI Congresso Brasileiro de Geologia*, v. 5, 2439-2444.  
720 Natal: SBG.  
721
- 722 CPRM. (2000). Carta Geológica Folha Pedro Osório, folha SH. 22-Y-C. Escala 1:250.000. Porto  
723 Alegre: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.  
724
- 725 CPRM. (2005). Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul. Escala 1:750.000. Porto Alegre:  
726 Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.  
727
- 728 CPRM. (2010). Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Companhia de  
729 Pesquisa de Recursos Minerais, 260p.  
730
- 731 Cruz, R.F. (2018). Projeto sudeste do Rio Grande do Sul: mapa de integração de cartografia  
732 geológica. CPRM. 1 mapa colorido. Carta geológica. Escala 1:250.000.  
733
- 734 Cruz, R.F. (2019). Projeto Sudeste do Rio Grande do sul: escalas 1:250.000 e 1:100.000;  
735 estado do Rio Grande do Sul. CPRM, 1-173.  
736
- 737 Fernandes, L.A.D., Tommasi, A., Porcher, C.C. (1992). Deformation patterns in the southern Brazilian  
738 branch of the Dom Feliciano Belt: a reappraisal. *Journal of South American Earth Science*, 5(1), 77-  
739 96.  
740
- 741 Fernandes, L.A.D., Menegat, R., Costa, A.F.U., Koester, E., Porcher, C.C., Tommasi, A., Kraemer,  
742 G., Ramgrab, G.E., Camozzato, E. (1995a). Evolução tectônica do cinturão Dom Feliciano no Escudo  
743 Sul-Rio-Grandense: Parte I – Uma contribuição a partir do registro geológico. *Revista Brasileira de*  
744 *Geociências*, 25(4), 351-374.  
745
- 746 Fernandes, L.A.D., Menegat, R., Costa, A.F.U., Koester, E., Porcher, C.C., Tommasi, A., Kraemer,  
747 G., Ramgrab, G.E., Camozzato, E. (1995b). Evolução tectônica do cinturão Dom Feliciano no Escudo  
748 Sul-rio-Grandense: Parte II - uma contribuição a partir das assinaturas geofísicas. *Revista Brasileira de*  
749 *Geociências*, 25(4), 351-374.  
750

- 751 Figueiredo, M. C. H., Fragoso-César, A.R.S., Kronberg, B. L. (1990). Litogeoquímica das principais  
752 unidades do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 36, Natal,  
753 1990. Anais, Natal, SBG, v. 4, p. 1623-1738  
754
- 755 Fragoso-Cesar, A.R.S. (1991). Tectônica de Placas no Ciclo Brasileiro: As orogenias dos Cinturões  
756 Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul. Tese (Doutorado). *São Paulo: Instituto de*  
757 *Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica, USP*. 333 p.  
758
- 759 Fragoso-Cesar, A.R.S., Figueiredo, M.C.H., Soliani Jr, E., Faccini, U.F. (1986). O Batólito Pelotas  
760 (Proterozóico Superior/Eo-Paleozóico) no Escudo do Rio Grande do Sul. *XXXIV Congresso Brasileiro*  
761 *de Geologia*, v. 3, 1322-1343. Goiânia: SBG.  
762
- 763 Gerhard, N.P., Koester, E., Porcher, C.C., Weinberg, R.F., Pimentel, M.M., Barbosa, L.D.O. (2015).  
764 In: *VIII Hutton Symposium on Granites and Related Rocks, Florianópolis, Book of Abstracts*, p. 96.  
765
- 766 Gray, D.R., Foster, D.A., Meert, J.G., Goscombe, B.D., Armstrong, R., Trouw, R.A.J., Passchier, .W.  
767 (2008). A Damara orogen perspective on the assembly of southwestern Gondwana. In: Pankhurst, R.J.,  
768 Trouw, R.A.J., Brito-Neves, B.B., De Wit, M.J. (Eds.), *West Gondwana: Pre-cenozoic Correlations*  
769 *across the South Atlantic Region*, vol. 294. *Geological Society of London, Special Publication*, pp. 257  
770 a 278.  
771
- 772 Hartmann, L.A. & Remus, M.V.D. (2000). Origem e evolução das rochas ultramáficas do Rio Grande  
773 do Sul desde o Arqueano até o Cambriano. In: Holz, M. & De Ros, L.F. (Eds.). *Geologia do Rio*  
774 *Grande do Sul*. Porto Alegre, edição CIGO/ UFRGS, p. 53-78.  
775
- 776 Hartmann, L.A., Chemale Jr., F., Philipp, R.P. (2007). Evolução Geotectônica do Rio Grande do Sul  
777 no Pré-cambriano. In: Iannuzzi, R., Frantz, J.C. (Eds), *50 Anos de Geologia, Instituto de Geociências*  
778 *– Contribuições* (97-123). Porto Alegre: Editora Comunicação e Identidade. 289 p.  
779
- 780 Hartmann, L.A., Lopes, W.R., Savian, J.F. (2016). Integrated evaluation of the geology,  
781 aerogammaspectrometry and aeromagnetometry of the Sul-Riograndense Shield, southernmost Brazil.  
782 *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*, 88(1), 75-92  
783
- 784 Heilbron, M., Pedrosa-Soares, A.C., Campos Neto, M., Silva, L.C., Trouw, R.A.J. (2004). A Província  
785 Mantiqueira. In: Mantesso Neto, A., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R. & Brito Neves, B.B. (Eds.). *O*  
786 *desvendar de um continente: a moderna geologia da América do Sul e o legado da obra de Fernando*  
787 *Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, Ed. Beca, p. 203-234.  
788
- 789 Hueck, M., Oyhantçabal, P., Philipp, R.P., Basei, M.A.S., Siegesmund, S. (2018). The Dom Feliciano  
790 Belt in Southern Brazil and Uruguay. In: Siegesmund, S., Basei, M., Oyhantçabal, P., Oriolo, S.  
791 (Eds.). *Geology of Southwest Gondwana. Springer, Regional Geology Reviews*, p. 267-302  
792
- 793 Klein, F.G., Koester, E., Vieira, D.T., Porcher, C.C., Ramos, R.C., Philipp, R.P. (2018). Geologia do  
794 Granito Três Figueiras: magmatismo peraluminoso de 585 Ma no sudeste do Cinturão Dom Feliciano.  
795 *Pesquisas em Geociências*, 45(2), 1-27.  
796
- 797 Koester, E., Porcher, C.C., Pimentel, M.M., Fernandes, L.A.D., Vignol-Lelarge, M.L., Oliveira, L.D.,  
798 Ramos, R.C. (2016). Further evidence of 777 Ma Subduction-related Continental arc magmatism in  
799 Eastern Dom Feliciano Belt, southern Brazil: the Chácara das Pedras Orthogneiss. *Journal of South*  
800 *American Earth Sciences Sciences*. 68, 155-166.  
801
- 802 Lenz, C., Fernandes., L.A.D., McNaughton., N.J., Porcher, C.C., Masquelin, H. (2011). U-Pb  
803 SHRIMP ages for the Cerro Bori Orthogneisses, Dom Feliciano Belt in Uruguay: evidences of a ~800  
804 Ma magmatic and ~650 Ma metamorphic event. *Precambrian Research*, 185, 149-163.  
805

- 806 Loureiro, P., Koester, E., Weinberg, R. F., Porcher, C. C., Pimentel, M. M., Knijnik, D. (2015).  
807 Magmatic Evolution Of Pinheiro Machado Complex In Monte Bonito Region, Southern, Brazil. In:  
808 *The 8th Hutton Symposium on Granites and Related Rocks, Florianópolis SC. Books of Abstracts* p.  
809 125.  
810
- 811 Lowrie, W. (2007). *Fundamentals of Geophysics. Cambridge University Press. Second Edition*, 381 p  
812
- 813 Masquelin, H., Fernandes, L.A.D., Lenz, C., Porcher, C.C., McNaughton, N.J. (2012). The Cerro  
814 Olivo Complex: a pre-collisional Neoproterozoic magmatic arc in Eastern Uruguay. *International*  
815 *Geology Review*, 54, 1161-1183.  
816
- 817 Peel, E. (2012). Petrografia, Geoquímica e geocronologia do Complexo Paso del Dragón, NE do  
818 Uruguai, implicações tectônicas na evolução do Cinturão Dom Feliciano. *PhD. thesis, Universidade*  
819 *de São Paulo*, 198p.  
820
- 821 Philipp, R.P. (1990). Geologia e petroquímica dos granitóides da região de Monte Bonito, Pelotas,  
822 RS. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, *Dissertação*  
823 *de Mestrado*, 231p  
824
- 825 Philipp, R.P. (1998). Evolução Geológica e Tectônica do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul. *Tese*  
826 *(Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências, USP.*  
827
- 828 Philipp, R.P., Machado R. (2001). Estratigrafia e significado tectônico das suítes graníticas do Batólito  
829 de Pelotas no RS. *Revista Brasileira de Geociências*, 31(3), 257-266.  
830
- 831 Philipp, R. P., Machado, R. (2005). The Late Neoproterozoic granitoid magmatism of the Pelotas  
832 Batholith, southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, Londres, v. 19, p. 461-478,  
833
- 834 Philipp, R. P. ; Campos, Roberto Sacks de. (2005). Controles Geológicos das Jazidas de Granitos  
835 Ornamentais da Região de Encruzilhada do Sul, RS: Origem das Variedades Comerciais do Granito  
836 Encruzilhada do Sul. *Pesquisas em Geociências*, 32: 30-37.  
837
- 838 Philipp, R. P. , Machado, R. (2001). Suítes Graníticas do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul:  
839 petrografia, tectônica e aspectos petrológicos. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 31, n.3,  
840 p. 257-268.  
841
- 842 Philipp, R.P., Machado, R., Nardi, L.V.S., Lafon, J.M. (2002). O magmatismo granítico  
843 Neoproterozoico do Batólito Pelotas no sul do Brasil: novos dados e revisão da geocronologia  
844 regional. *Revista Brasileira de Geociências*, 32(2), 277-290.  
845
- 846 Philipp, R.P., Pimentel, M.M., Chemale Jr., F. (2016). Tectonic evolution of the Dom Feliciano Belt in  
847 Southern Brazil: geological relationships and U-Pb geochronology. *Brazilian Journal of Geology*,  
848 46(1), 83-104.  
849
- 850 Preciozzi, F., Spoturno, J., Heinzen, W. (1979). Carta geo-estrutural del Uruguay, escala 1:2.000.000.  
851 *Montevidéo, Instituto Geológico y Ingeniería. Terra Arocena*, 62p.  
852
- 853 Preciozzi, F., Masquelin, H., Basei, M.A.S. (1999). The Namaqua/Grenville terrane of eastern  
854 Uruguay. Córdoba, *II Simpósio Sul Americano de Geologia Isotópica*, Resumos, p. 338-340.  
855
- 856 Ramos, R.C., Koester, E. (2015). Lithochemistry of the meta-igneous units from Arroio Grande  
857 Ophiolitic Complex, southernmost Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, 45(1), 65-78.  
858
- 859 Ramos R.C., Koester E. (2014). Geologia da associação metamáfica-ultramáfica da região de Arroio  
860 Grande, sudeste do Escudo Sul-Rio-Grandense. *Pesquisas em Geociências*, 41(1), 25-38.

- 861  
862 Ramos, R.C., Koester, E., Porcher, C.C., Barbosa, L.D., Vieira, D.T., Beloni, M.S., (2017b).  
863 Correlação geoquímica entre os metamafitos dos Mármore Matarazzo e do Ofiolito Arroio Grande  
864 (Complexo Arroio Grande, SE do Cinturão Dom Feliciano, Brasil). In: *X Simpósio Sul-brasileiro de*  
865 *Geologia*, Curitiba, Anais.
- 866  
867 Ramos, R.C., Koester, E., Vieira, D.T., Porcher, C.C., Gezatt, J.N., Silveira, R.L. (2018). Insights on  
868 the evolution of the Arroio Grande Ophiolite (Dom Feliciano Belt, Brazil) from Rb-Sr and SHRIMP  
869 U-Pb isotopic geochemistry. *Journal of South American Earth Sciences*, 86:38-53.
- 870  
871 Saalman, K., Gerdes, A., Lahaye, Y., Hartmann, L.A., Remus, M.V.D., Läufer, A. (2011). Multiple  
872 accretion at the eastern margin of the Rio de la Plata craton: the prolonged Brasiliano orogeny in  
873 southernmost Brazil. *International Journal of Earth Sciences*, 100, 355-378.
- 874  
875 Shukowsky, W., Vasconcelos, A.C.B.C., Mantovani, M.S.M. (1991). Estruturação dos terrenos pré-  
876 cambrianos da região sul do Brasil e oeste do Uruguai, e sua continuidade sob os sedimentos da Bacia  
877 do Paraná: Um estudo por modelamento gravimétrico. *Revista Brasileira de Geofísica*, 9, 275-287.
- 878  
879 Silva, L.C., McNaughton, N.J., Armstrong, R., Hartmann, L.A., Fletcher, I.R. (2005). The  
880 Neoproterozoic Mantiqueira Province and its African connections: a zircon-based U-Pb  
881 geochronologic subdivision for the Brasiliano/Pan-African systems of orogens. *Precambrian*  
882 *Research*, 136, 203-240.
- 883  
884 Tambara, G.B., Koester, E., Ramos, R.C., Porcher, C.C., Vieira, D.T., Lenz, C., Fernandes, L.A.D.  
885 (2019). Geoquímica e geocronologia dos Gnaisses Piratini: magmatismo cálcio-alcalino médio a alto-  
886 K de 784 Ma (U-Pb SHRIMP) no SE do Cinturão Dom Feliciano (RS, Brasil). *Pesquisas em*  
887 *Geociências*, 46,(2): e0769.
- 888  
889 Travassos, R.P. (2014). Interpretação estrutural regional do Escudo Sul-rio-grandense, RS, Brasil, com  
890 base em aeromagnetometria. Brasília, 64p. *Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências,*  
891 *Universidade de Brasília.*
- 892  
893 Vieira, D. T., Koester, E., Ramos, R. C., Porcher, C. C., D'Ávila Fernandes, L. A. (2020). New zircon  
894 SHRIMP U-Pb ages for the synkinematic magmatism in the Dorsal de Canguçu Transcurrent Shear  
895 Zone, Dom Feliciano Belt (Brazil): tectonic implications. *Journal of South American Earth Sciences*.  
896 Submetido
- 897  
898 Vieira, D.T., Koester, E., Ramos, R.C., Porcher, C.C., (2019a). Sr-Nd-Hf isotopic constraints and U-  
899 Pb geochronology of the Arroio Pedrado Gneisses, Dom Feliciano Belt, Brazil: a 680 Ma shoshonitic  
900 event in the final stages of the Piratini Arc evolution. *Journal of South American Earth Sciences*, 95,  
901 102294
- 902  
903 Will, T.M., Frimmel, H.E., Gaucher, C., Bossi, J. (2014). Geochemical and isotopic composition of  
904 Pan-African metabasalts from southwestern Gondwana: Evidence of Cretaceous South Atlantic  
905 opening along a Neoproterozoic back-arc. *Lithos*, 2

## **PARTE III**

## Carta de Aceitação

29/02/2020 Gmail - [GEOUSP] Agradecimento pela submissão

 Renato Luiz da Silveira RIs <renato.geofisica@gmail.com>

---

**[GEOUSP] Agradecimento pela submissão**  
2 mensagens

---

**Daniel Machado** <publigc@usp.br> 27 de fevereiro de 2020 às 17:52  
Responder a: Daniel Machado <publigc@usp.br>  
Para: Renato Luiz da Silveira <renato.geofisica@gmail.com>

Renato Luiz da Silveira,

Agradecemos a submissão do trabalho "Mr Arcabouço geofísico-geológico do setor sudeste do Cinturão Dom Feliciano, RS, Brasil" para a revista Geologia USP. Série Científica.  
Acompanhe o progresso da sua submissão por meio da interface de administração do sistema, disponível em:

URL da submissão: <https://www.revistas.usp.br/guspsc/authorDashboard/submission/167110>  
Login: renato\_20

Em caso de dúvidas, entre em contato via e-mail.

Agradecemos mais uma vez considerar nossa revista como meio de compartilhar seu trabalho.

Daniel Machado

<b>ANEXO I</b>
Título da Dissertação/Tese:
<b>INTEGRAÇÃO DE GEOLOGIA E MAGNETOMETRIA NA PORÇÃO SUDESTE DO CINTURÃO DOM FELICIANO, RS</b>
Área de Concentração: Geoquímica
Autor: <b>Renato Luiz da Silveira</b>
Orientador: Prof. Dr. Edinei Koester
Examinador: Prof. Dr. Alexandre Felipe Bruch
Data: 27/03/2020
Conceito: <b>A</b>
<b>PARECER:</b>
A Dissertação de Mestrado apresentada pelo aluno Renato Luiz da Silveira, intitulada Integração de Geologia e Magnetometria na Porção Sudeste do Cinturão Dom Feliciano, RS, deve ser aprovada. O trabalho é compartimentado em duas partes, onde a primeira apresenta uma introdução à pesquisa com sua respectiva hipótese investigativa e a relevância do tema para a área de estudo.
Sequencialmente, apresenta os objetivos da pesquisa com uma descrição sólida das etapas a serem executadas durante o trabalho. Na descrição geológica da área de estudo, apresenta a localização com ótimos documentos cartográficos, além de realizar a revisão bibliográfica com o estado da arte dos conhecimentos Geológicos sobre a área de estudo, utilizando-se de referências pretéritas e atuais, principalmente com uma diversidade de artigos científicos.
Da mesma forma como ocorre com a descrição geológica, a descrição do arcabouço geofísico, também esta bem fundamentada e com referências que suprem os conhecimentos do estado da arte na área de estudo. Consequente, autor apresenta os conceitos pertinentes as propriedades magnéticas das rochas fundamentando o uso da magnetometria como ferramenta em investigações geológicas, discriminando a susceptibilidade magnéticas de determinadas rochas.
O dois próximos subcapítulos concentram-se na descrição dos processos de aquisição dos dados geofísicos, assim como o seu processamento, objetivando a geração de dados acurados baseados em métodos consagrados na literatura.
O último subcapítulo da parte 1 apresenta os materiais e métodos utilizados na pesquisa. Os dados geofísicos utilizados foram gerados pelo Serviço Geológico do Brasil. Os processamentos são baseados na aplicação de filtros por transformada de Fourier e modelagem magnetométrica em software específico, definição dos lineamentos em ambiente SIG, medidas de susceptibilidade em amostras de mão e levantamento geológico de campo.



<b>ANEXO I</b>
Título da Dissertação/Tese:
<b>INTEGRAÇÃO DE GEOLOGIA E MAGNETOMETRIA NA PORÇÃO SUDESTE DO CINTURÃO DOM FELICIANO, RS</b>
Área de Concentração: Geoquímica
Autor: <b>Renato Luiz da Silveira</b>
Orientador: Prof. Dr. Edinei Koester
Examinador: Prof. Dr. Everton Frigo
Data: 06/04/2020
Conceito: C (Regular)
<b>PARECER:</b>
<p>Esta Dissertação apresenta uma interessante contribuição de dados geofísicos aeromagnéticos para o conhecimento da evolução geológica da porção sudeste do Cinturão Dom Feliciano. No entanto, existem diversos aspectos do trabalho que poderiam ter sido mais bem desenvolvidos. A seguir, apresento uma série de considerações e sugestões correspondentes a cada parte do trabalho.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) O <i>Resumo</i> contém alguns erros de concordância, palavras repetidas e carece de uma melhor organização. Adicionalmente, o objetivo do trabalho deve ser apresentado no resumo.</li> <li>2) Os três parágrafos iniciais da <i>Introdução</i>, onde o problema de estudo é apresentado, não estão organizados em ordem cronológica. Pontuo também que poderiam ser adicionadas referências bibliográficas complementares de trabalhos realizados fora do Brasil.</li> <li>3) Os <i>Objetivos</i> estão apresentados de forma satisfatória, embora o texto final necessite de revisão de linguagem.</li> <li>4) A <i>Área de Estudo</i> e o <i>Arcabouço Geológico</i> estão razoavelmente bem apresentados. A figura 2 é mencionada no texto, mas não está exibida.</li> <li>5) As informações relativas ao <i>Arcabouço Geofísico</i> estão muito resumidas, dificultando o entendimento das figuras apresentadas. Além disso, são observados alguns problemas textuais e a qualidade das figuras 3, 4, 5 e 6 está baixa.</li> <li>6) A descrição do método geofísico <i>Magnetometria</i> foi elaborada com base em uma referência bibliográfica muito básica, que ao meu ver não é a mais adequada para um trabalho de Mestrado. Ressalto também que o texto está confuso.</li> <li>7) O título da seção <i>Redução de observações magnéticas</i> poderia ser substituído por "Processamento de dados magnetométricos", principalmente porque o termo "redução" não é o mais apropriado no contexto das correções realizadas nos dados magnéticos. A qualidade da figura 10 está baixa. O termo "campo</li> </ol>

magnético normal”, apresentado na página 30, não está adequado ao contexto em que está inserido. A utilização de bibliografia mais aprofundada evitaria estes e outros problemas conceituais.

8) A seção 1.6 carece de detalhamento matemático e geofísico.

9) Na seção *Materiais e Métodos* deveriam ter sido fornecidos mais detalhes relativos à aquisição e ao processamento dos dados. Em relação a aquisição dos dados, deveriam ser informados o período de aquisição e os motivos que levaram a realização do levantamento. Outra informação importante faltante é a distância média entre pontos de cada medida magnética ao longo de cada linha de voo. No texto não está explicado o motivo da escolha do método de interpolação dos dados e, também, da utilização de um tamanho de célula de 125 m. Além disso, o termo “filtros FFT” não é o mais correto a ser utilizado, uma vez que cada filtro é identificado por uma função matemática particular e a FFT é o algoritmo matemático utilizado para facilitar cálculos que envolvem a Transformada Discreta e Contínua de Fourier através de computadores. Adicionalmente, a descrição matemática de cada um dos filtros utilizados deveria ter sido apresentada em detalhe. Após, deveriam ser evidenciadas no texto os tipos de informação que cada filtro é capaz de salientar nos dados magnéticos analisados. Os resultados da modelagem geofísica constituem parte muito importante deste trabalho e, portanto, a técnica utilizada deveria ter sido melhor explicada.

10) O artigo submetido para o periódico “*Geologia USP. Série Científica.*” apresenta potencial para publicação. Os problemas identificados no corpo da Dissertação não são observados no texto do artigo. O mesmo está muito bem escrito, e apresenta resultados interessantes. A introdução está clara, os métodos de aquisição e processamento dos dados estão satisfatoriamente descritos e, as interpretações e conclusões estão adequadamente justificadas.

11) Na página 70, o documento apresentado se refere a *Comprovação de Submissão do Artigo* e não a *Carta de Aceite*, conforme informado no texto.

12) Para finalizar, solicito corrigir a minha afiliação na contracapa da Dissertação. Onde está mencionado “Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Pampa” deve constar “Campus Caçapava do Sul, Universidade Federal do Pampa”.

Diante dos aspectos listados, qualifico a Dissertação apresentada com conceito C (Regular).

Assinatura:

Data: 06/04/2020



Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

<b>ANEXO I</b>
Título da Dissertação/Tese:
<b>INTEGRAÇÃO DE GEOLOGIA E MAGNETOMETRIA NA PORÇÃO SUDESTE DO CINTURÃO DOM FELICIANO, RS</b>
Área de Concentração: Geoquímica
Autor: <b>Renato Luiz da Silveira</b>
Orientador: Prof. Dr. Edinei Koester
Examinador: Prof. Dr. Jairo Francisco Savian
Data: 21/05/2020
Conceito: C (Regular)
<b>PARECER:</b>
<p>A presente dissertação aborda o estudo integrado da geologia e do método geofísico da magnetometria da porção sudeste do Cinturão Dom Feliciano, RS. O tema escolhido e as questões científicas abordadas são coerentes com um trabalho em nível de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geologia (PPGGEO) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). A dissertação de mestrado está estruturada na forma de artigo científico, submetido a Revista <i>Geologia USP, Série Científica</i>, e apresenta todos os requisitos exigidos pelo PPGGEO-UFRGS.</p> <p>A dissertação de mestrado é organizada de forma correta, conforme especificações da PPGGEO-UFRGS. O corpo da dissertação apresenta um resumo e um <i>abstract</i>, ambos adequados abordando de forma correta e, sucinta os pontos levantados na dissertação. No entanto, ambos apresentam pequenos equívocos como: palavras repetidas e erros de concordância, que podem ser facilmente revisados.</p> <p>A Parte I da dissertação apresenta uma subdivisão com 7 itens, basicamente fazendo a uma introdução com os objetivos, o arcabouço geológico e os materiais e métodos utilizados. Na parte inicial da introdução o autor cita uma aplicação de métodos geofísicos para caracterização de padrões geométricos de corpos básicos do Cinturão Ribeira, atribuído à uma Tese de Doutorado de Rosales (2004). No parágrafo subsequente, o autor cita dois trabalhos feitos no Escudo Sul-riograndense. No terceiro, apresenta uma visão geral da dissertação. O objetivo da introdução em um trabalho científico é fornecer uma justificativa geral do trabalho, começando com uma discussão geral do tópico em estudo e introduzindo as questões científicas específicas e o foco do trabalho. Dessa forma, sugiro que o autor faça uma reestruturação desta parte da dissertação introduzindo o problema de estudo, realizando uma reorganização textual e cronológica. Além disso, sugiro que o autor adicione referências bibliográficas complementares. Existem dezenas de trabalhos clássicos importantes, no Brasil e no mundo, sobre a magnetometria aplicada. Com isso, seria estabelecida as bases metodológicas e padrões geofísicos que este contexto geológico reflete.</p> <p>Os objetivos são apresentados de forma satisfatória e possuem um foco</p>

principal. No final da dissertação o autor chega a concluir a maioria deles.

A localização da área de estudo e o arcabouço geológico do Escudo Sul-rio-grandense são bem apresentados, com uma evolução cronológica do conhecimento científico. A Figura 1 apresentada é de excelente qualidade e mostra todo arcabouço geológico no contexto do Gondwana Ocidental. No entanto, achei falta da apresentação de um mapa geológico de detalhe da área de estudo. Na Figura 1, foi feita a indicação da área de estudo com um retângulo preto onde é citado como "Fig.2". No entanto, esta Figura não é apresentada no texto. No artigo submetido, esta Figura é apresentada, mas no corpo da dissertação não.

No arcabouço geofísico o autor faz uma evolução cronológica do conhecimento relacionado ao Escudo Sul-rio-grandense. As Figuras apresentadas nesta seção são de baixa qualidade. Algumas delas podem ser facilmente redesenhadas para que fiquem com uma qualidade melhor. Além disso, existem incongruências entre o texto e o que está escrito nas Figuras. Por exemplo, no texto o autor cita os Domínios Leste, Central e Oeste, mas a Figura apresenta outra nomenclatura, definida como DAMAG E, DAMAG C, e DAMAG W. Sugiro o autor definir isso no texto. As descrições das grandes feições geofísicas do Escudo Sul-rio-grandense são definidas, no entanto, achei falta de um aprofundamento melhor desta discussão com a definição dos processamentos geofísicos que foram utilizados. Fica esta sugestão para futuros trabalhos e publicações.

O item 1.4 – *Magnetometria: Propriedades magnética das rochas*, traz os conceitos básicos sobre o método utilizado. A descrição deste método é elaborada com base em uma única referência bibliográfica (Kearey, 2009). Este é uma bibliografia básica que traz vários métodos geofísicos, entre ele a magnetometria, mas com uma abordagem superficial, e por isso é utilizada em cursos de graduação. Se fosse para usar livros texto, recomendaria utilizar referências mais avançadas, como é o caso de Telford (1990) e Lowrie (2007), que trazem uma revisão aprofundada da teoria e da bibliografia existente sobre o tema. Além disso, existem vários artigos científicos que são referência nesta área. Existem também alguns erros conceituais: No primeiro parágrafo, o autor argumenta que a magnetização das rochas é o resultado de um campo induzido (campo magnético da Terra) e da magnetização remanescente (é adquirida ao longo da história geológica da rocha). Na verdade, a magnetização das rochas é chamada de magnetização remanescente (ou remanente) natural (MRN), que é resultado da soma entre a magnetização primária (magnetização termina ou detritita) e a magnetização secundária (magnetização remanente química). Sugiro que reveja estes conceitos. No segundo parágrafo, o autor diz que a magnetização remanescente é conhecida como magnetização química. Este conceito está completamente equivocado, pois, como já foi dito acima, a magnetização remanescente é a MRN, que é uma soma da magnetização primária mais a secundária, onde a magnetização remanente química é um dos tipos de magnetização secundária. O autor também justifica que é razoável classificar o comportamento magnético das rochas de acordo com seu conteúdo de magnetita. Essa afirmação não é razoável, visto que as rochas são formadas por minerais diamagnéticos, paramagnéticos e ferromagnéticos; a magnetita é um ferromagnético, ou seja, não está presente em todos os tipos de rocha.

No item *redução de observações magnéticas*, o autor apresenta os processamentos realizados nos dados para a obtenção das anomalias magnéticas. O autor apresenta uma série de conceitos como, variação diurna, variações magnéticas, entre outros, no entanto, nenhum é definido. O autor simplesmente

não define nenhuma propriedade do campo magnético terrestre e suas variações. O Campo magnético terrestre é uma soma de 3 componentes: o campo magnético principal (gerado no núcleo externo da Terra), o campo externo (gerado pelas interações em o campo magnético do Sol e a magnetosfera da Terra), e o campo crustal (campo magnético das rochas). Dessa forma, o objetivo das “reduções geomagnéticas” é eliminar as componentes do campo externo e principal, ficando apenas com o campo crustal. Sugiro fortemente que o autor faça uma revisão deste item fazendo uma revisão sobre o campo magnético terrestre. A Figura 10 possui baixa qualidade, sugiro procurar um exemplo mais claro. Em termos de organização, acho que esta seção deveria estar dentro de *materiais e métodos*.

A seção 1.6, como a seção 1.5, também está deslocada, e, em termos de organização, teria que estar em *materiais e métodos*. Esta seção apresenta um dos filtros utilizados no processamento de dados aeromagnéticos. No entanto, o que acontece quanto aos outros tipos de processamento? Por quê não foram utilizados na dissertação. Além disso, o autor cita no texto algumas matrizes com letras e em nenhum momento define o que elas significam. As expressões matemáticas que regem este tipo de processo devem ser definidas no texto para que o leitor saiba do que se trata. Dessa forma como está escrito é muito difícil de se entender o que foi feito. Aliás, ao longo de todo o texto da dissertação não temos a definição de nenhuma equação matemática. Isso é surpreendente quando se trata de uma dissertação que usa a geofísica como método.

A seção 1.7, intitulada *materiais e métodos*, traz informações sobre a linha de voo, as filtragens dos dados, o fluxograma esquemático, medidas de susceptibilidade e a modelagem magnética 2/5 D. A abordagem do autor é muito sucinta neste tópico. Os detalhes fornecidos sobre a aquisição e o processamento dos dados é muito pobre. Quanto a aquisição, o autor, deveria ter dado informações relevantes como: O período de aquisição, quais os motivos que levaram a aquisição deste levantamento, quais as correções que foram feitas nos dados para que eles se tornem confiáveis. O autor diz que o tratamento dos dados foi feita com a aplicação de filtros FFT. Que filtros são esses? Eu acredito que são os filtros que são mostrados na Figura 11. No entanto, em momento algum do texto o autor explica do que significa CMA, DX, GHT, CMA Cont. UP 500 metros, DY, ASA, etc. O autor também diz que optou pelo método de interpolação bi-direcional. Por quê? Os outros métodos não funcionam ou depois de aplicar todos este foi o mais apropriado? Nas medições da susceptibilidade o autor diz que realizou medidas em amostra de mão. Geralmente, o que se faz é fazer dezenas de medidas no campo e obter a média destas medidas. No entanto, como está escrito no texto não dá para saber o que o autor fez. Na parte da modelagem, o autor não explica como estes dados da susceptibilidade foram utilizados como parâmetro de entrada no modelo.

A Parte II da dissertação apresenta o artigo submetido ao periódico “*Geologia USP. Série Científica*”. A revista possui um “*Qualis*” apropriado com as regras do PPGGEO. O artigo submetido é o ponto alto da dissertação, apresentando potencial para publicação. Ao contrário do observado na Parte I da dissertação, o artigo é bem melhor estruturado e escrito, não apresentando os mesmos erros que foram apontados acima. A introdução está clara, os métodos de aquisição e processamento dos dados estão de acordo. As Figuras são de boa qualidade e as interpretações e conclusões estão bem justificadas. Além disso, no artigo, o autor apresenta uma série de Figuras e Tabelas que não são apresentadas no texto da Parte I da dissertação. Nas Figuras 7 e 8 do artigo o autor apresenta de fato um

modelo geológico baseados em seus dados geofísicos, apresentando os perfis que foram obtidos. Dessa forma, o artigo se torna robusto para justificar os objetivos do projeto.

A Parte III da dissertação apresenta do documento comprobatório da submissão do artigo, o que é regra no PPGGEO.

De forma geral, a dissertação apresenta todos pré-requisitos para a obtenção do título de Mestre em Geociências do PPGGEO-UFRGS.

Parabenizo o mestrando e seu orientador pelo trabalho apresentado.

Atribuo o conceito "C" REGULAR.

Assinatura: *João Francisco Soriano*

Data: *21/05/2020*

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno: