

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**DÉBORA TONIN DURLO**

**INVESTIGAÇÃO DE ESTRUTURAS RÚPTEIS EM UMA PORÇÃO DO  
COMPLEXO GRANÍTICO CAÇAPAVA DO SUL E ÁREAS ADJACENTES**

**CAÇAPAVA DO SUL**

**2016**

**DÉBORA TONIN DURLO**

**INVESTIGAÇÃO DE ESTRUTURAS RÚPTEIS EM UMA PORÇÃO DO  
COMPLEXO GRANÍTICO CAÇAPAVA DO SUL E ÁREAS ADJACENTES**

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

Orientador: Profº Dr. Tiago Rafael Gregory

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos  
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do  
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

D287i Durlo, Débora Tonin  
Investigação de estruturas rúpteis em uma porção do Complexo Granítico  
Caçapava do Sul e áreas adjacentes/ Débora Tonin Durlo.  
54 p.  
  
Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade Federal do  
Pampa, GEOLOGIA, 2016.  
"Orientação: Tiago Rafael Gregory".  
  
1. Estruturas rúpteis. 2. Lineamentos. 3. Falha. I. Título.

**DÉBORA TONIN DURLO**

**INVESTIGAÇÃO DE ESTRUTURAS RÚPTEIS EM UMA PORÇÃO DO  
COMPLEXO GRANÍTICO CAÇAPAVA DO SUL E ÁREAS ADJACENTES**

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

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 13 de dezembro de 2016.

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Tiago Rafael Gregory

Orientador

Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA

---

Prof. Dr. Felipe Guadagnin

Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA

---

Prof. Dr. Maximilian Fries

Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA

## RESUMO

A análise estrutural permite entender os eventos tectônicos e compreender os processos de deformação das rochas ao longo do tempo. Os processos de deformação geram estruturas nas rochas dependendo de condições como temperatura, pressão, tempo, elasticidade, plasticidade, resistência à ruptura e profundidade de soterramento. O presente trabalho apresenta um estudo de geologia estrutural de uma área situada no Complexo Granítico Caçapava do Sul, voltado para as estruturas rúpteis que afetaram essa unidade. As estruturas rúpteis foram caracterizadas por lineamentos vistos em imagens de satélite e fotografias aéreas, bem como fraturas vistas e interpretadas em escala de afloramento, nas quais se destaca um lineamento principal de direção NW-SE, uma possível falha, investigada neste estudo. O objetivo principal desse trabalho foi obter dados estruturais destes lineamentos e caracterizá-los através da integração de dados de sensoriamento remoto e de trabalhos de campo com coleta de dados estruturais, em vista ao tipo de estruturas e regime de deformação rúptil que sofreram. Os lineamentos demarcados por imagens de satélite apresentam direções preferenciais NW-SE e NNW-SSE. Neste estudo, foram encontrados diques de diabásio concordantes com essas direções. Pelos dados estudados em campo, reunidos com informações da bibliografia, pode-se dizer que não há deslocamento considerável no lineamento de estudo, e que se este for uma falha de transcorrência, ocorre pouco deslocamento lateral; sendo possível que o deslocamento seja mais vertical do que lateral. Há evidências de que o lineamento NW-SE tenha ocorrido posteriormente ao lineamento NE-SW que o intercepta e há a hipótese de que este (NW) esteja relacionado a estruturas do Arco do Rio Grande.

**Palavras-chave:** estruturas rúpteis, lineamentos, falhas, fraturas.

## ABSTRACT

The structural analysis allows understanding the tectonic events and understanding the processes of deformation of the rocks over time. The deformation processes generate structures in the rocks depending on conditions such as temperature, pressure, time, elasticity, plasticity, rupture strength and burial depth. The present work presents a structural geology study of an area located in the Caçapava do Sul Granite Complex, focused on the brittle structures that affected this unit. Ruptured structures were characterized by lineaments seen in satellite images and aerial photographs, as well as fractures seen and interpreted in an outcropping scale, in which a main NW-SE direction, a possible fault, was investigated in this study. The main objective of this work was to obtain structural data of these lineaments and to characterize them through the integration of remote sensing data and field work with structural data collection, in view of the type of structures and regime of brittle deformation that they suffered. The lineaments demarcated by satellite images have preferred directions NW-SE and NNW-SSE. In this study, diabase dikes were found to be concordant with these directions. From the data studied in the field, together with information from the literature, it can be said that there is no considerable displacement in the study lineaments, and that if this is a transcurrent fault, there is little lateral displacement; being possible that the displacement is more vertical than lateral. There is evidence that the NW-SE lineament occurred after the NE-SW lineament that intercepts it and there is a hypothesis that this (NW) is related to structures of the Rio Grande Arc.

**Keywords:** brittle structures, lineaments, faults, fractures.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Gráfico de deformação ( $\epsilon$ ) x esforço ( $e$ ), mostrando as formas elástica, plástica e de ruptura de um material. .... 13
- Figura 2** - Principais tipos de fratura: fratura de cisalhamento, fratura de extensão (veio) e fratura de contração. .... 14
- Figura 3** - Principais tipos de falhas. (a) Falha normal. (b) Falha transcorrente. (c) Falha inversa. .... 15
- Figura 4** – Método de medida de notação estrutural *strike and dip*. (a) Medida de direção do plano. (b) Medida do mergulho do plano. .... 18
- Figura 5** – Método de medida de notação estrutural *dip direction*, mostrando a medida da direção e ângulo de mergulho do plano ao mesmo tempo. .... 19
- Figura 6** - Mapas de localização e situação da área de estudo. .... 20
- Figura 7** - Mapa aproximado da localização da área de estudo (retângulo preto), vias de acesso e principais rodovias (amarelo). .... 20
- Figura 8** - Mapa geológico e principais estruturas rúpteis da área de estudo (retângulo). . 25
- Figura 9** - Domínios magnéticos e interpretações estruturais do Escudo Sul-rio-grandense, identificando cinco domínios: Taquarembó, São Gabriel, Tijucas, Pelotas e Paraná; separados pelos principais lineamentos magnéticos do Escudo. .... 29
- Figura 10** - Domínios magnéticos identificados no Escudo Sul-rio-grandense (Taquarembó, São Gabriel, Tijucas, Pelotas e Paraná). (A) Amplitude do Sinal Analítico. (B) Primeira Derivada Vertical. .... 30
- Figura 11** - Mapa de imagem aerogeofísica do método magnético, do Projeto Aerogeofísico do ESrg (2010), evidenciando que o lineamento de estudo pode ser considerado como uma anomalia magnética de pouco contraste. .... 31
- Figura 12** - Técnicas para a realização do cálculo do número de fraturas (a) por metro quadrado e (b) por perfil linear em um metro. .... 35
- Figura 13** - Mapa de demarcação dos principais lineamentos locais da área de estudo e áreas adjacentes, vistos por imagem SRTM. .... 37
- Figura 14** - Mapa de localização área de estudo com o lineamento NW-SE (em vermelho) visto pelas imagens de satélite do Google Earth Pro. .... 38
- Figura 15** - Mapa de localização da área de estudo com os pontos e trajetória (em azul) dos trabalhos de campos, acompanhando o lineamento NW-SE. .... 41

<b>Figura 16</b> - Observação da geomorfologia vista do ponto 10, em que a falha de estudo aparenta cortar a Serra dos Lanceiros, representada pelo vale entre os dois morros, na direção NW.....	42
<b>Figura 17</b> - Observação da geomorfologia vista do ponto 6, mostrando a encosta íngreme de direção NW-SE. ....	42
<b>Figura 18</b> - Estereogramas gerados pelo software OpenStereo, a partir das medidas principais de fraturas dos pontos (A) 1, (B) 2, (C) 4, (D) 5, (E) 6, (F) 7, (G) 8, (H) 9, (I) 11, (J) 12, (K) 13 e (L) 14.....	45
<b>Figura 19</b> - Fraturas de um par conjugado, sinistral E-W (à esquerda) e dextral NE-SW (à direita), evidenciadas por deslocamentos centimétricos de veios graníticos.....	46
<b>Figura 20</b> - Estereograma gerado no <i>software Win Tensor 5.8.5</i> , com fraturas de par conjugado encontradas no ponto 9 e campo de tensões atuante ( $\sigma_1$ , $\sigma_2$ , e $\sigma_3$ ). ....	47
<b>Figura 21</b> - Estereogramas gerados pelo <i>software OpenStore</i> , a partir das medidas de diques encontrados nos afloramentos de campo, nos pontos (A) 4 e (B) 12, com direções NW e NNW, respectivamente. ....	48
<b>Figura 22</b> - Dique de diabásio, com alto grau de intemperismo, de direção NW-SE, no ponto 4. Afloramento corte de estrada (BR 392).....	48
<b>Figura 23</b> - Dique de diabásio, de direção principal NNW-SSE, com inflexão quase ortogonal, no ponto 12. Afloramento do tipo lajeado.....	49
<b>Figura 24</b> - Possível indicador cinemático encontrado nos granitoides do ponto 12, mostrando degraus no plano de falha. ....	49



## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	5
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	11
<b>3 JUSTIFICATIVA</b> .....	11
<b>4 FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b> .....	12
4.1 Estruturas de deformação rúptil .....	12
4.2 Sensoriamento Remoto .....	16
4.3 Análise estrutural .....	17
<b>5 ÁREA DE ESTUDO E CONTEXTO GEOLÓGICO</b> .....	19
5.1 Localização .....	19
5.2 Geologia Regional .....	21
5.2.1 Escudo Sul-rio-grandense .....	21
5.3 Geologia Local.....	22
5.3.1 Complexo Metamórfico Passo Feio .....	22
5.3.2 Bacia do Camaquã.....	23
5.3.3 Complexo Granítico Caçapava do Sul .....	23
<b>6 ESTRUTURAS REGIONAIS RÚPTEIS E TRABALHOS ANTERIORES</b> .....	26
<b>7 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	33
<b>8 RESULTADOS</b> .....	36
<b>9 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES</b> .....	50
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	54

## 1 INTRODUÇÃO

A geologia estrutural estuda estruturas presentes nas rochas. As deformações podem ocorrer por meio de translação ou rotação de um corpo rígido, deformações internas e/ou mudanças de volume e podem estar relacionadas ou não a processos tectônicos (FOSSSEN, 2012). A análise da deformação de um corpo rochoso é de grande relevância e interesse para compreender eventos tectônicos e também importante na caracterização de estruturas em estudos de mineração, ambientais e geotécnicos, notificando a existência do tipo de estrutura e se podem ou não oferecer riscos ambientais.

O presente trabalho apresenta o estudo de estruturas rúpteis, que são deformações de rochas por fraturamento que ocorrem na crosta superior quando a resistência à ruptura dessa rocha excede. Nesse processo de deformação, pode ocorrer deslizamento friccional no contato entre os grãos, fraturamento e também rotação desses grãos, os quais podem ser moídos e reorganizados (FOSSSEN, 2012).

Os critérios de ruptura e fratura dependem dos esforços e da quantidade de deformação acumulada, da pressão, da temperatura e da direção das forças atuantes (FOSSSEN, 2012). Com a influência e intensidade desses fatores, as rochas evoluem o grau de deformação, podendo passar por um comportamento elástico e consequentemente plástico, até atingir um esforço diferencial e chegar ao ponto de ruptura, excedendo a resistência da rocha. A resistência de uma rocha depende da profundidade de soterramento, pois quanto mais próximo à superfície, menor é a resistência (FOSSSEN, 2012).

Para a realização deste trabalho selecionou-se uma área de interesse constituída por lineamentos de diversas direções observados em imagens de satélite. Nessa área se destaca um lineamento principal de direção NW-SE. Esse lineamento corta o município de Caçapava do Sul, RS, e acompanha a BR 392. A área de estudo abrange rochas do Complexo Granítico Caçapava do Sul, do Complexo Metamórfico Passo Feio e da Bacia do Camaquã.

O lineamento principal de direção NW-SE consta no mapa geológico do Rio Grande do Sul, mapeado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), como uma estrutura de falha transcorrente sinistral (WILDNER *et al.*, 2008). Já Ribeiro *et al.* (1966) consideram as falhas NW da região definidas por deslocamentos moderados no sentido vertical e com rochas pouco brechadas. Posteriormente, Ribeiro (1980) propõe que

esses lineamentos NW da região sejam falhas seladas pela intrusão de magma granítico e após reabertas até o manto, na qual ascenderam magmas basálticos, preenchendo algumas fraturas e formando os diques de diabásio, encontrados nos trabalhos de campo realizados neste estudo.

Este estudo tem o objetivo de caracterizar este lineamento visto em imagens de satélite, através de trabalhos de sensoriamento remoto e de coleta e análise de dados estruturais de campo, de modo a contribuir com mais informações sobre os lineamentos NW da região noroeste do Escudo Sul-rio-grandense.

## **2 OBJETIVOS**

### **a) Objetivo Geral:**

O objetivo principal do trabalho é a aplicação da geologia estrutural no estudo de estruturas de deformação rúptil para caracterizar uma possível estrutura de falha.

### **b) Objetivos Específicos:**

Especificamente, o trabalho deu-se por:

- Conhecer, observar e localizar as grandes estruturas e lineamentos da área por fotografias aéreas e imagens de satélite;
- Realizar estudos em campo para reconhecer a geologia local e detalhar as estruturas presentes;
- Utilizar métodos de geologia estrutural;
- Compilar dados estruturais e bibliográficos para caracterizar o lineamento principal NW-SE.

## **3 JUSTIFICATIVA**

A maioria dos trabalhos que compreendem estudos e pesquisas de geologia estrutural no Escudo Sul-rio-grandense tem dado maior ênfase em análises de deformação dúctil, o que torna escasso os estudos de geologia estrutural rúptil. Embora existam muitos lineamentos e falhas mapeados, são raros os trabalhos em detalhe dessas estruturas.

O estudo e compreensão de estruturas rúpteis tem grande importância na aplicação em diversas áreas do conhecimento e interesse social, como na mineração, na engenharia civil, em problemas ambientais e geotécnicos, prospecção hidrogeológica e até mesmo na ocupação do meio físico (MATTA & MATOS, 2007).

É indispensável conhecer e caracterizar o maciço rochoso para: estabelecer maior segurança em obras civis; saber se há percolação de fluidos na rocha e se estes têm relação com o lençol freático, causando uma possível contaminação; entender a formação de depósitos minerais e acumulação de hidrocarbonetos e de água subterrânea, controlados pelo fraturamento na rocha (MATTA & MATOS, 2007).

## **4 FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

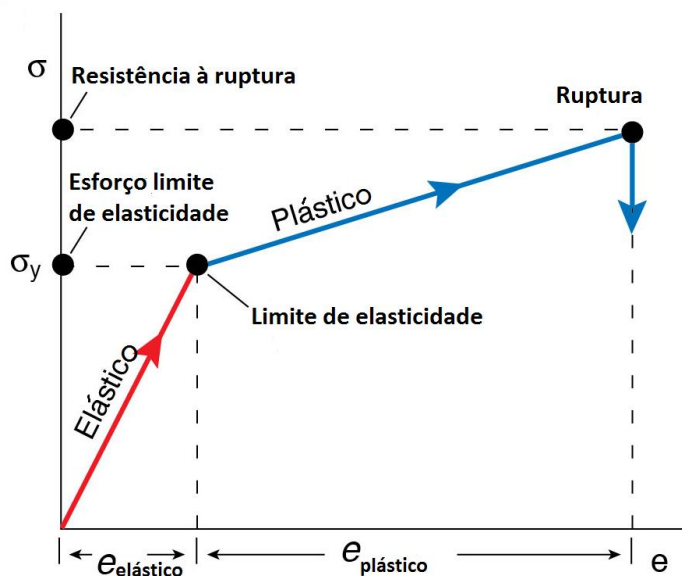
### **4.1 Estruturas de deformação rúptil**

A deformação em uma rocha ocorre quando ela é submetida à tensão e sofre deslocamento, podendo resultar em quatro modificações: em sua forma (distorção), posição (translação), disposição (rotação) espacial e mudança de volume (dilatação ou contração) (PRICE & COSGROVE, 1990). Quando ocorre deformação, as rochas podem sofrer translação ou rotação, sem alteração interna em sua forma, e/ou podem sofrer deformação interna, em que as partículas mudam de posição umas com as outras, podendo haver ou não mudança de volume. Quando acontece translação, as partículas se movem na mesma direção e com uma mesma distância. A rotação ocorre quando há movimento rotacional do volume inteiro da rocha (FOSSEN, 2012).

Os materiais que sofrem esforços em sua superfície, conforme as forças que atuam nele e de acordo com suas propriedades físicas, podem apresentar basicamente três formas: elasticidade, plasticidade e ruptura. A deformação elástica volta a sua forma original quando o esforço é removido e seu nível máximo é quando alcança o limite de elasticidade. Se os esforços continuam, a deformação continua se acumulando, ultrapassando o limite de elasticidade e por isso é considerada plástica. A deformação plástica é uma mudança permanente na forma ou no tamanho do corpo e neste não ocorre fraturamento. Se o esforço continua atuando no material, a deformação plástica ocorre até a resistência à ruptura e, quando excede este ponto, o material sofre fraturamento

(FOSSSEN, 2012). Essas deformações podem ser analisadas por um gráfico, que representa a deformação do material/rocha no eixo horizontal e o esforço no eixo vertical, como mostra a Figura 1.

**Figura 1** - Gráfico de deformação ( $\epsilon$ ) x esforço ( $\sigma$ ), mostrando as formas elástica, plástica e de ruptura de um material.



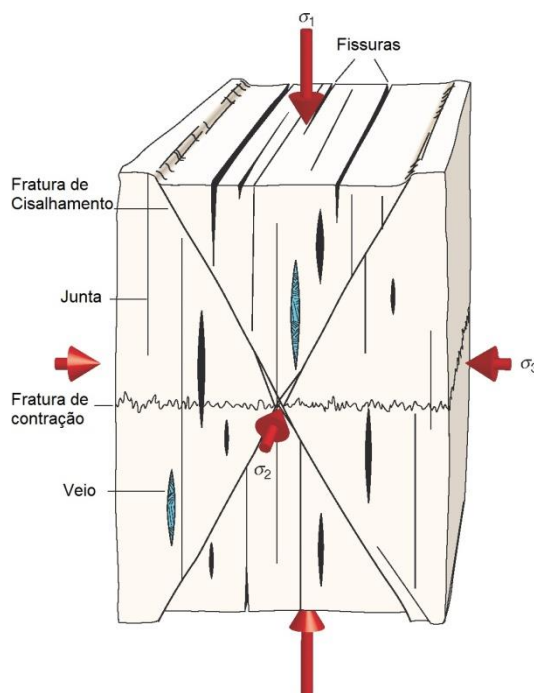
Fonte: extraído de Fossen (2012).

Na geologia, pode-se dizer que uma rocha sofreu deformação dúctil quando acumula deformação, muda permanentemente sua forma e sofre fluxo cristalino (FOSSSEN, 2012). Já a deformação rúptil ocorre quando as rochas se quebram ou se fraturam na crosta superior, onde os esforços se acumulam em níveis que excedem a resistência à ruptura, resultando em um rompimento das estruturas cristalinas (FOSSSEN, 2012). A resistência depende das forças atuantes e das propriedades das rochas, como temperatura, anisotropia, taxa de deformação, fluidos e profundidade de soterramento (pressão), e aumenta conforme aumenta a profundidade, sendo menor na superfície e crosta superior (FOSSSEN, 2012).

As falhas e fraturas de um corpo rochoso são discontinuidades dispostas em uma superfície onde ocorre deslocamento ao romper a rocha, podendo ser geralmente de cisalhamento, de extensão e de contração (Figura 2). As falhas de cisalhamento se caracterizam por serem superfícies deslizantes em que o movimento é paralelo à fratura, de

pequena escala. As fraturas extensionais apresentam movimento perpendicular às superfícies, na qual não há deslocamento lateral significativo, geralmente preenchidas por fluidos, minerais ou intrusões. As fraturas contracionais são preenchidas por materiais residuais das rochas encaixantes (FOSSSEN, 2012).

**Figura 2** - Principais tipos de fratura: fratura de cisalhamento, fratura de extensão (veio) e fratura de contração.

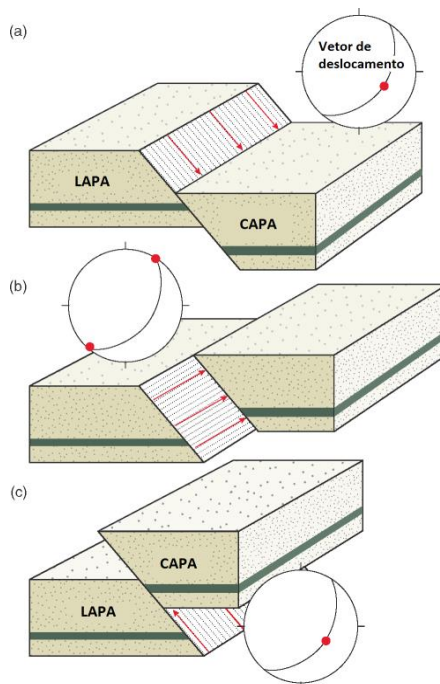


Fonte: extraído de Fossen (2012).

As falhas são superfícies onde ocorre um deslocamento causado por cisalhamento, com rejeitos de um metro ou maior. Formam zonas de deformação, com fraturas subsidiárias e diversos planos de cisalhamento. Há um ponto onde o cisalhamento é mais intenso, com alta deformação, e diversos pontos de cisalhamento em menor grau, que estão relacionados com a falha (FOSSSEN, 2012). Também ocorrem várias fraturas que estão conectadas a essa estrutura. Quanto à sua cinemática, pode ser classificada em falha normal, inversa ou transcorrente (figura 3). As falhas normais ocorrem quando o bloco superior (capa) é rebaixado em relação ao inferior (lapa). Se o bloco superior é cavalgado sobre o inferior, então ocorre uma falha inversa – ou de cavalgamento se o ângulo de mergulho for menor que  $30^\circ$ . As falhas transcorrentes são caracterizadas pelo movimento lateral dos blocos e possuem um rejeito horizontal (FOSSSEN, 2012).

Em campo, a direção, o sentido e o deslocamento de uma falha podem ser identificados por estrias (lineações), rejeitos de falhas e indicadores cinemáticos, como minerais estirados indicando o movimento dextral ou sinistral.

**Figura 3** - Principais tipos de falhas. (a) Falha normal. (b) Falha transcorrente. (c) Falha inversa.



Fonte: extraído de Fossen (2012).

Falhas em que o vetor de rejeito é paralelo a sua direção e o mergulho geralmente maior que os outros tipos de falhas, são falhas ou zonas de cisalhamento de rejeito direcional. Esse tipo de falha possui movimento lateral e pode ocorrer como falhas transcorrentes. Falhas transcorrentes são consideradas de extremidades livres, de modo que o comprimento aumenta conforme aumenta e acumula o deslocamento, e ocorrem no interior de placas tectônicas (FOSSSEN, 2012; KEAREY *et al.*, 2014).

As estruturas rúpteis podem se formar por resfriamento das rochas ou durante a movimentação de placas tectônicas, formando fraturas, juntas e falhas. Nessas estruturas ocorrem mecanismos de atrito entre os grãos e rotação entre eles, gerando fraturamento (FOSSSEN, 2012). As estruturas de deformação rúptil muitas vezes podem ser identificadas por lineamentos através de imagens aéreas ou de satélite. Os lineamentos estruturais representam uma feição linear, geralmente retilínea, que podem ser identificados em

campo, como a ocorrência de uma falha, cristas alinhadas, drenagens retilíneas devido a presença de falhas.

#### **4.2 Sensoriamento Remoto**

As imagens de satélite e aerofotografias são importantes ferramentas para o mapeamento de estruturas, como lineamentos, dobras e falhas. O sensoriamento remoto é a obtenção de informações da superfície terrestre à distância, através da captação da energia refletida ou emitida pela superfície, gerando imagens produzidas por sensores. Os sensores remotos podem ser sistemas fotográficos (fotos aéreas) ou óptico-eletrônicos (imagens de satélite) e, segundo Novo (2011), envolvem elementos como fonte de iluminação solar, contato da radiação e atmosfera, interação da energia com o objeto monitorado, registro da energia pelo sensor, transmissão, recepção e processamento, interpretação e análise e aplicação da informação extraída da imagem.

Os sensores de satélite conseguem captar mais informações do que máquinas fotográficas, pois o primeiro tem a capacidade de captar o espectro eletromagnético da luz visível e do infravermelho, enquanto que o segundo só consegue captar o espectro da luz visível (NOVO, 2011). A quantidade de energia refletida varia conforme os objetos de interesse e pode ser de diversos comprimentos de onda (NOVO, 2011).

A utilização de imagens aéreas e de satélite tem sido fundamental em estudos que envolvem a identificação de lineamentos estruturais. Os lineamentos nessas imagens podem caracterizar feições espaciais de linhas de cristas, de drenagens e/ou limites litológicos, e têm um maior realce quando a feição de interesse é paralela à linha de vôo e perpendicular à linha do imageamento (CARRARO *et al.*, 2005).

As imagens usadas para identificar os mapeamentos da região da área de estudo serão imagens de satélite do *Google Earth* e SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) e fotografias aéreas da CPRM. O projeto SRTM é uma missão espacial e consiste em um sistema de radar para obter um modelo numérico de terreno (MNT) da Terra (OLIVEIRA *et al.*, 2009), gerando imagens de alta resolução e auxiliando em cartas topográficas terrestres.



### 4.3 Análise estrutural

Os estudos de análise estrutural reúnem processos de aquisição de dados em campo e de dados experimentais, auxiliando a entender como as condições físicas internas e externas controlam a formação das estruturas e como elas evoluem (FOSSSEN, 2012). Os dados em campo referem-se à análise geométrica, de deformação, de cinemática, de dinâmica e de tectônica; e os dados experimentais ao laboratório, a experimentos físicos e a estudos do campo de esforços, da temperatura e das propriedades do material deformado (FOSSSEN, 2012). Os dados de campo podem ser adquiridos pelas medidas estruturais planares e/ou lineares e podem ser tratados e interpretados quando são projetados em estereogramas, analisados em diagramas de roseta, em perfis, mapas, bem como estudados por sensoriamento remoto.

A análise geométrica define a forma, a orientação geográfica, o tamanho e as relações geométricas entre as estruturas principais e secundárias (FOSSSEN, 2012). A forma é a descrição espacial de superfícies como de camadas dobradas ou superfícies de falha, fornecendo informações sobre o processo de deformação (FOSSSEN, 2012). A análise da deformação e da cinemática podem ser utilizadas para restaurar seções em regiões deformadas e começa pela análise geométrica (FOSSSEN, 2012). A análise dinâmica estuda o movimento das partículas e as forças que agem no esforço gerado, podendo restaurar a atitude e magnitude do esforço a partir de falhas e fraturas. As análises geométrica e dinâmica são utilizadas para o estudo da análise tectônica (FOSSSEN, 2012).

Para conhecer a localização e orientação das estruturas de uma rocha são feitas medidas com a bússola para que sejam representadas tridimensionalmente por projeções estereográficas, permitindo uma visualização e orientação das camadas das rochas. Isso é feito a partir de medidas da direção e do mergulho do plano e de estruturas lineares da rocha, no qual constituem a atitude (FOSSSEN, 2012). A atitude é obtida através do conhecimento espacial dessas estruturas em relação a um sistema referencial espacial e geográfico.

A estrutura planar inclui o plano da camada, de clivagem, de foliação, de xistosidade, de fraturas e de falhas (RAGAN, 2009). A orientação horizontal de um plano é a direção ou *strike* e de uma linha é o rumo ou *trend* (RAGAN, 2009). É denotada no azimute de 0° a 360° e nas direções norte, sul, leste e oeste. Para os planos inclinados

mede-se o ângulo de mergulho ou declividade do plano e para uma linha mede-se o caimento. Ambos são indicados dentro uma faixa de valores de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  (RAGAN, 2009).

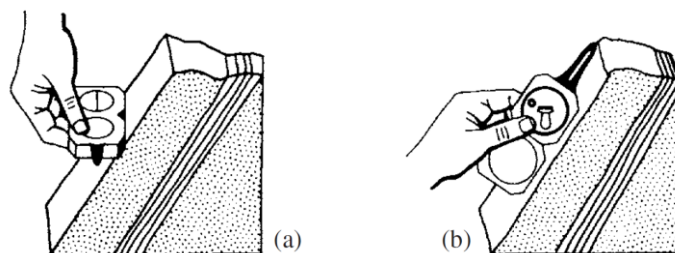
As notações azimutais de um plano podem ser feitas por direção e mergulho (*strike and dip*) ou por direção de mergulho (*dip direction*). O *strike and dip* define o azimute da direção (em relação ao norte) e o mergulho é medido perpendicular ao modo de medida de direção (à  $90^\circ$  no sentido horário), como mostra a figura 4. Já o *dip direction* mede a direção do mergulho e o próprio ângulo de inclinação do mergulho (Figura 5) (RAGAN, 2009).

A projeção estereográfica representa as estruturas das rochas através da atitude de planos e linhas em um diagrama circular de duas dimensões, marcado por direções geográficas (norte, sul, leste, oeste) e por latitudes e longitudes (FOSSEN, 2012). Esse círculo é a representação de um plano que deve ser projetado atravessando o centro de uma esfera. O estereograma tem como objetivo mostrar a distribuição espacial das estruturas, através de uma análise estatística dos dados de medidas estruturais feitas em campo, mostrando o comportamento e a orientação dessas estruturas (FOSSEN, 2012).

As projeções são utilizadas para análise e interpretação da atitude e geometria das estruturas. As estruturas lineares (estrias ou lineação mineral) são projetadas como pontos dentro do semicírculo e as estruturas planares são projetadas como semicírculos (traços ciclográficos) dentro do círculo maior (FOSSEN, 2012).

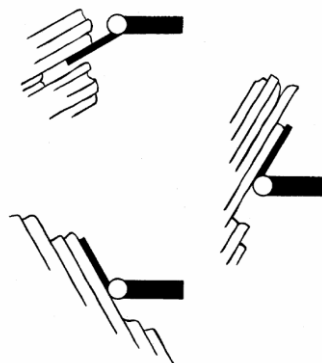
O método de notação usado para a medida das estruturas foi *mão esquerda*, e o software utilizado para a investigação da distribuição espacial das estruturas rúpteis foi o *OpenStereo*<sup>TM</sup>.

**Figura 4** – Método de medida de notação estrutural *strike and dip*. (a) Medida de direção do plano. (b) Medida do mergulho do plano.



Fonte: extraído de Ragan (2009).

**Figura 5** – Método de medida de notação estrutural *dip direction*, mostrando a medida da direção e ângulo de mergulho do plano ao mesmo tempo.



Fonte: extraído de Ragan (2009).

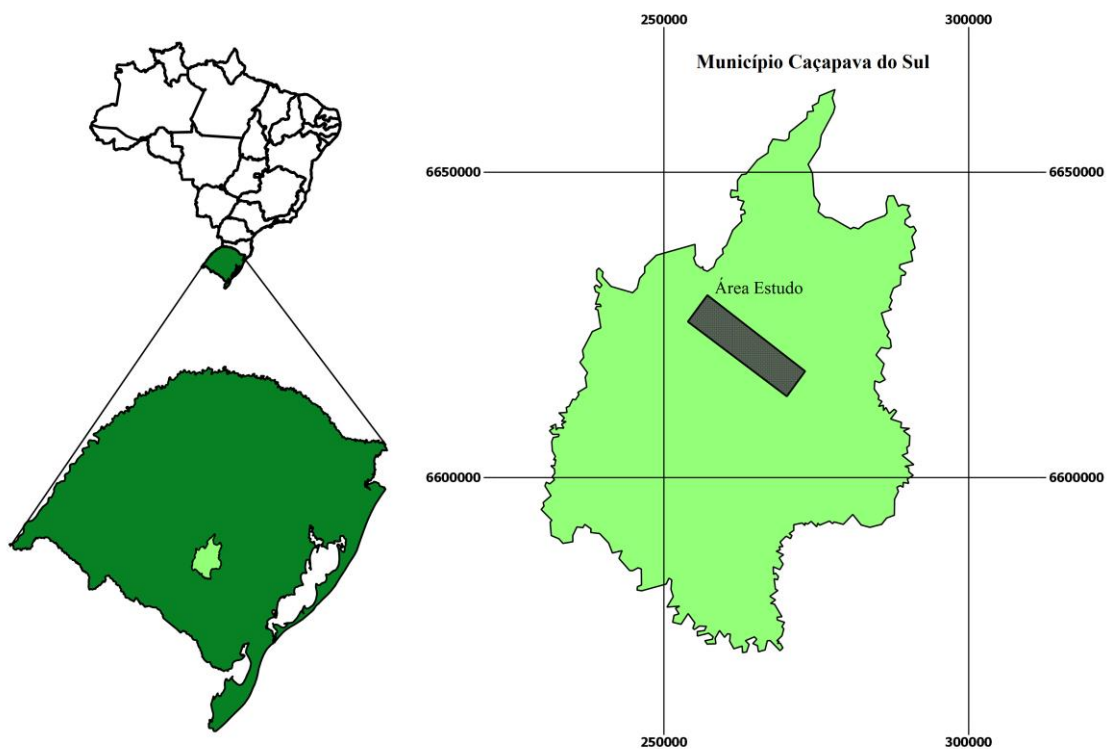
## 5 ÁREA DE ESTUDO E CONTEXTO GEOLÓGICO

### 5.1 Localização

O local de estudo situa-se no município de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul, aproximadamente a 260 km de Porto Alegre. O município possui vias de acesso pela BR-290, BR-392 e RS-357, com a área de estudo abrangendo cerca de 100 km<sup>2</sup> (IBGE, 2015), mostrado nas Figuras 6 e 7.

Caçapava do Sul encontra-se no Escudo Sul-rio-grandense, que corresponde a porções de relevos mais elevados, com altitude de aproximadamente 440 metros (IBGE, 2015). As áreas de topo representam divisores de água entre os cursos hídricos ou, se estreitas, representam cristas. Os vales e linhas de falhas representam, no município, influências estruturais entre rochas graníticas, metamórficas e sedimentares.

**Figura 6** - Mapas de localização e situação da área de estudo.



Fonte: extraído e modificado da CPRM.

**Figura 7** - Mapa aproximado da localização da área de estudo (retângulo preto), vias de acesso e principais rodovias (amarelo).



Fonte: extraído do Google Earth Pro (2016).

## 5.2 Geologia Regional

### 5.2.1 Escudo Sul-rio-grandense

O Escudo Sul-rio-grandense (ESrg) abrange uma superfície de 65.000 km<sup>2</sup> (HARTMANN *et al.*, 2007) e situa-se no centro-sul do estado do Rio Grande do Sul, caracterizado por um conjunto de rochas pré-cambrianas e cambrianas e por diversas associações petrotectônicas, compreendendo, em grande parte, o segmento sul da província Mantiqueira (HEILBRON *et al.*, 2004). O ESrg constitui-se de rochas ligadas aos estágios pré, sin e pós colisionais da orogênese Brasileira, além de seu embasamento, que, segundo Chemale Jr (2000), pode ser subdividido em quatro unidades geotectônicas pertencentes ao Cráton Rio de La Plata e ao Cinturão Dom Feliciano (segmento sul da Província Mantiqueira). A porção representada pelo Cráton Rio de La Plata no ESrg é o Bloco Taquarembó e as porções representadas pelo Cinturão Dom Feliciano são os terrenos São Gabriel, Tijucas e o Batólito Pelotas.

A Província Mantiqueira é uma entidade geotectônica que se estende por cerca de 3000 km, de orientação NNE-SSW, ao longo da costa Atlântica – de Montevidéu, no Uruguai, ao sul da Bahia, no Brasil. Limita-se com os crátons São Francisco, Rio de La Plata e Luis Alves, com a Província Tocantins, com a Bacia do Paraná e com as bacias costeiras. A província apresenta o registro de unidades tectônicas arqueanas, paleoproterozoicas, mesoproterozoicas e a evolução do Neoproterozoico na América do Sul. Segundo Heilbron *et al.* (2004), é integrada por terrenos neoproterozoicos agregados que deram origem ao Supercontinente Gondwana Ocidental (560 Ma). Sendo assim, divide-se basicamente pelos orógenos ou faixas Araçuaí (setentrional), Ribeira (central) e Dom Feliciano (meridional).

No Rio Grande do Sul, no ESrg, a faixa aflorante da Província Mantiqueira é o Cinturão Dom Feliciano, que se estende de Punta del Este no Uruguai ao nordeste de Santa Catarina no Brasil. Segundo Hartmann *et al.* (2007), o Cinturão Dom Feliciano, no Rio Grande do Sul, abrange os seguintes domínios: Orógeno São Gabriel (a oeste), Terreno Tijucas (centro) e Batólito Pelotas (a leste). A estrutura alongada de direção NE-SW desse cinturão deve-se à colisão dos crátons Rio de La Plata, Paranapanema e Kalahari (HEILBRON *et al.*, 2004), tendo sua evolução por uma tectônica transpressiva, gerando

zonas de cisalhamento transcorrentes que controlaram os segmentos do orógeno e o local de formação de bacias vulcano-sedimentares, como a Bacia do Camaquã. Também condicionaram o alojamento de plútons sintranscorrentes e a intrusão de batólitos pós-colisionais, como o Complexo Granítico Caçapava do Sul.

## **5.3 Geologia Local**

### **5.3.1 Complexo Metamórfico Passo Feio**

O Complexo Metamórfico Passo Feio (CMPF) representa uma espessa sequência metamórfica em estrutura antiformal com caimento para noroeste, constituída principalmente por xistos pelíticos, anfibolitos, filitos, rochas metavulcânicas e metavulcanoclásticas (BITENCOURT, 1983). O CMPF foi intrudido por granitoides sintranscorrentes tardi a pós- e pós-colisionais, como os granitoides do Complexo Granítico Caçapava do Sul.

Também ocorrem rochas menos representativas, como gnaisses quartzo-feldspáticos, meta-arenitos feldspáticos, metagrauvascas, mármore, quartzitos e rochas magnesianas metamorfizadas. Inseridos predominantemente nas bordas leste e sudeste do Complexo Granítico Caçapava do Sul, ocorrem mármore dolomítico na forma de corpos lenticulares, acompanhados de rochas calcossilicatadas.

Bitencourt (1983) caracteriza nas rochas metamórficas da região de Caçapava do Sul dois eventos metamórficos regionais, acompanhados por duas fases deformacionais, havendo também uma terceira fase deformacional não metamórfica. A estrutura antiforme dos metamorfitos foi gerada durante o terceiro evento deformacional, responsável pelo dobramento da foliação metamórfica.

### 5.3.2 Bacia do Camaquã

No final do ciclo Brasileiro ocorreram espessos depósitos sedimentares no ESrg, associados a grandes volumes de rochas vulcânicas, caracterizados por bacias tardi a pós-colisionais (PAIM *et al.*, 2000). Uma dessas bacias é a Bacia do Camaquã que, ao longo dos anos, tem sido muito estudada por suas associações de rochas e sua evolução tectônica complexa. Sua formação ocorreu entre 620 e 540 Ma (PAIM *et al.*, 2000) e é controlada por falhas de direção NNE.

A Bacia do Camaquã é uma bacia vulcano-sedimentar que aflora no ESrg e está relacionada a um rifte neoproterozoico (WILDNER *et al.*, 2008), mostrando forte controle tectônico segundo alguns dos principais alinhamentos estruturais rúpteis do ESrg (PORCHER, 2000). Segundo Almeida (2010), a bacia apresenta um registro estratigráfico de eventos deformacionais correlacionados com falhas direcionais e extensionais (tectônica transtrativa). A Bacia do Camaquã se caracteriza por intercalação de eventos deposicionais sedimentares e vulcano-sedimentares, na qual os episódios vulcânicos dominaram normalmente na base das unidades, seguidos pela deposição de sedimentos predominantemente siliciclásticos, representando diversas unidades estratigráficas (LIMA *et al.*, 2007).

Paim *et al.* (2000) consideraram a bacia como Alosupergrupo Camaquã, dividindo-a em Alogrupos: Maricá, Bom Jardim, Santa Bárbara e Guaritas. O Alogrupo Santa Bárbara foi dividido nas aloformações Acampamento Velho, Santa Fé, Serra dos Lanceiros e Pedra do Segredo.

### 5.3.3 Complexo Granítico Caçapava do Sul

O Complexo Granítico Caçapava do Sul (CGCS) representa um corpo plutônico intrusivo em unidades metamórficas (Figura 8) do Domínio Ocidental do ESrg (Complexo Metamórfico Passo Feio, segundo Bitencourt, 1983), orientado na direção N-S, e compreende dois corpos graníticos (PORCHER, 2000). O CGCS tem idade ígnea de  $561 \pm 6$  Ma (U/Pb em zircão; LEITE *et al.*, 1995). O corpo maior e principal possui forma oval e aproximadamente 25 km de extensão (N-S) por 10 km de largura, e o corpo menor situa-se a sudeste deste (denominado Granito Santo Ferreira por Ribeiro, 1970). Em função de

serem corpos semelhantes em composição e estruturas, são considerados da mesma unidade (NARDI & BITENCOURT, 1989).

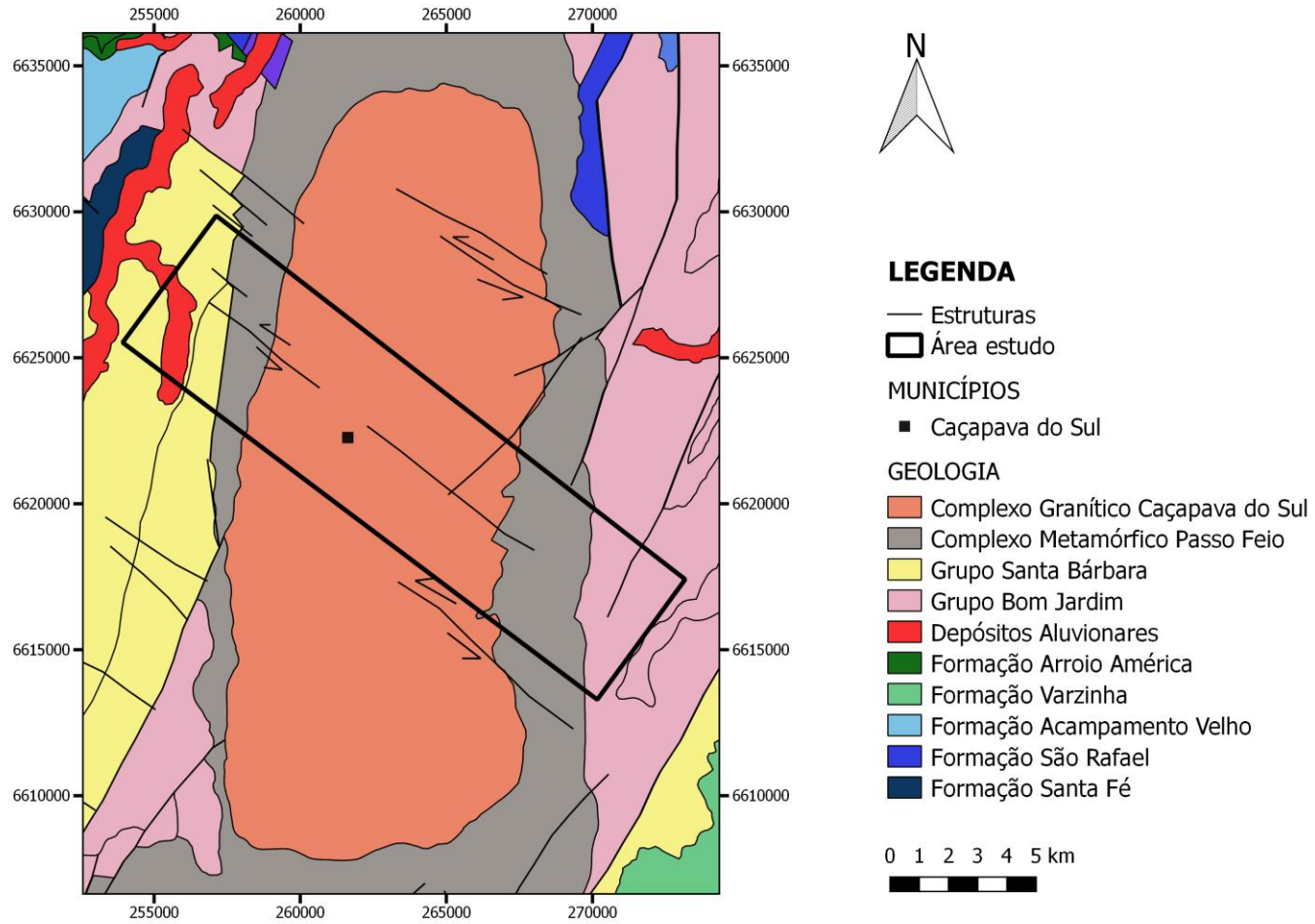
O evento intrusivo ocorreu em uma zona de cisalhamento em fases tardias do Ciclo Brasileiro, marcando os últimos estágios tectônicos do Ciclo Brasileiro no Sul do Brasil, ligados à reativação de estruturas formadas durante o evento Dom Feliciano (NARDI & BITENCOURT, 1989). O contato das rochas graníticas com as encaixantes metamórficas é marcado por foliação milonítica ao longo das bordas que é concordante com a foliação da sequência metamórfica que as envolvem (BITENCOURT, 1983).

O CGCS é constituído predominantemente de granodioritos, rochas graníticas leucocráticas, monzo e sienogranitos, e também de tonalitos. Segundo Nardi & Bitencourt (1989), o CGCP possui três fácies principais definidas pela petrografia e pela geoquímica: biotita granitoides (predominantes nas porções sul, sudoeste e oeste), leucogranitoides (predominantes nas porções norte e nordeste) e granitoides transicionais (predominantes nas porções central e leste).

Nardi & Bitencourt (1989) sugerem que o complexo granítico seja uma intrusão concomitante com a segunda fase de metamorfismo e deformação regional das rochas metamórficas encaixantes.



**Figura 8** - Mapa geológico e principais estruturas rúpteis da área de estudo (retângulo).



Fonte: extraído e modificado do Mapa Geológico do Rio Grande do Sul 1:750.000 (CPRM, 2008).

## 6 ESTRUTURAS REGIONAIS RÚPTEIS E TRABALHOS ANTERIORES

O Cinturão Dom Feliciano (Sul da Província Mantiqueira) ocorre de forma alongada na direção NE-SW e sua evolução associa-se a uma tectônica transpressiva de escape lateral. Isso se deve à forma como ocorreu a colisão continental entre os crátons Rio de La Plata, Paranapanema e Kalahari, a qual gerou extensos e profundos sistemas de cisalhamento transcorrentes. Esses sistemas no ESrg são sinistrais e controlaram a locação de bacias vulcano-sedimentares, a colocação de plútons sintranscorrentes e a intrusão de batólitos pós colisionais (HEILBRON *et al.*, 2004).

Picada (1971) relata a importante relação do estudo de estruturas rúpteis associadas a atividades magmáticas, mineralizações e deformações orogênicas, tendo os trabalhos no Rio Grande do Sul mais ênfase aos lineamentos de direção NE, sendo os lineamentos NW considerados secundários. Ribeiro (1980) define os lineamentos NW do ESrg como extensos, profundos, que atingem o manto superior e que são mais antigos que os granitos Pré-Cambrianos, possivelmente originados da divisão de blocos da litosfera primitiva.

O ESrg foi intensamente fraturado, desde o Pré-Cambriano, na qual houve reativação das fraturas diversas vezes ao longo do tempo geológico, atingindo sequências mais jovens (PICADA, 1971), gerando falhas e fraturas visíveis em fotos aéreas e imagens de satélite. Os lineamentos mostram que a direção N050°E é a mais notável na região, seguida da direção N050°W, atravessando o ESrg por grandes extensões de forma contínua (PICADA, 1971). Mostram uma relação tectônica com batólitos graníticos, faixas metamórficas dobradas e associações de rochas metamórficas, sedimentares, vulcânicas e complexos granito-gnáissicos (RIBEIRO, 1980).

Ribeiro (1980) também identifica lineamentos de direção N025-030°E na região de Caçapava do Sul e sugere que possam estar relacionados a movimentos crustais compressionais (predominantemente) e transcorrentes, associados ao último evento orogênico no ESrg (Ciclo Brasileiro). Estes lineamentos de direção NE-SW estão presentes nos eixos de dobras, alongamento de estruturas dômicas graníticas e nas imbricações tectônicas de toda a região (principalmente no Terreno Tijucas) (RIBEIRO, 1980).

Na região de Caçapava do Sul também encontram-se diversos lineamentos de direções NW, inclusive cortando o Complexo Granítico Caçapava do Sul. Ribeiro *et al.*(1966) identificaram dois sistemas de falhas na região: Sistema de Falhas Irapuá, que compreende falhas de direção NE-SW, e Sistema de Falhas do Cerro da Vigia, representado por falhas de direção NW-SE. O Sistema de Falhas Irapuá é o mais antigo, de grande extensão, e tem forte influência nas atividades magmáticas associadas a mineralizações. O Sistema de Falhas do Cerro da Vigia é identificado por Ribeiro *et al.*(1966) como tipicamente tensional e definido por falhas com um simples plano de falha, de deslocamento moderado vertical e rochas pouco brechadas. Este sistema de falhas de direção NW-SE também é caracterizado por apresentar muitas fraturas preenchidas por diques de diabásio (RIBEIRO *et al.*, 1966). Ribeiro *et al.* (1966) sugerem que estas falhas de direção NW-SE têm origem de processos tectônicos mais tardios, após a deposição do Grupo Santa Bárbara e Guaritas. As evidências que isso tenha ocorrido são pela presença de um lineamento curvado (ou arqueamento) característico da Serra dos Lanceiros, podendo ter sido ocasionado por movimento rotacional, gerando fraturas tensionais.

Ribeiro (1980) propõe que esses lineamentos NW são falhas seladas pela intrusão de magma granítico e em seguida reabertas até o manto, no qual essa abertura permitiu a ascensão de magmas basálticos encontrados na região do ESrg próximo ao CGCS.

Segundo Picada (1971), o domínio dos lineamentos do ESrg se destaca nas direções NE-SW e classifica-se em quatro sistemas principais de falhas da região central do escudo: Sistema de Falhas Dorsal de Canguçu (SFDC), Sistema de Falhas Passo do Marinheiro (SFPM), Sistema de Falhas Açoteia-Piquiri (SFAP) e outro Sistema de Falhas N070°W. O SFDC possui direção principal N040°E e se caracteriza por apresentar corpos de granitos, milonitos, brechas e cataclasitos, e fraturas abissais de 5 a 10 km de largura. Este é considerado o mais antigo desses sistemas de falhas (PICADA, 1971). O SFPM é considerado um sistema de falhas transcorrentes de direção N-S, com rejeito direcional de 32 km e presença de cataclasitos (PICADA, 1971). O SFAP tem uma direção principal N030°E, de movimento vertical, formando *grabens* e *horts* (PICADA, 1971). O Sistema de Falhas NW teve movimento predominante vertical e corta os dobramentos de algumas rochas do Terreno Tijucas na diagonal (PICADA, 1971). Picada (1971) sugere que essas falhas NW estão relacionadas com as falhas transcorrentes do SFPM e que continuam até o oeste do ESrg, na região de Caçapava do Sul.

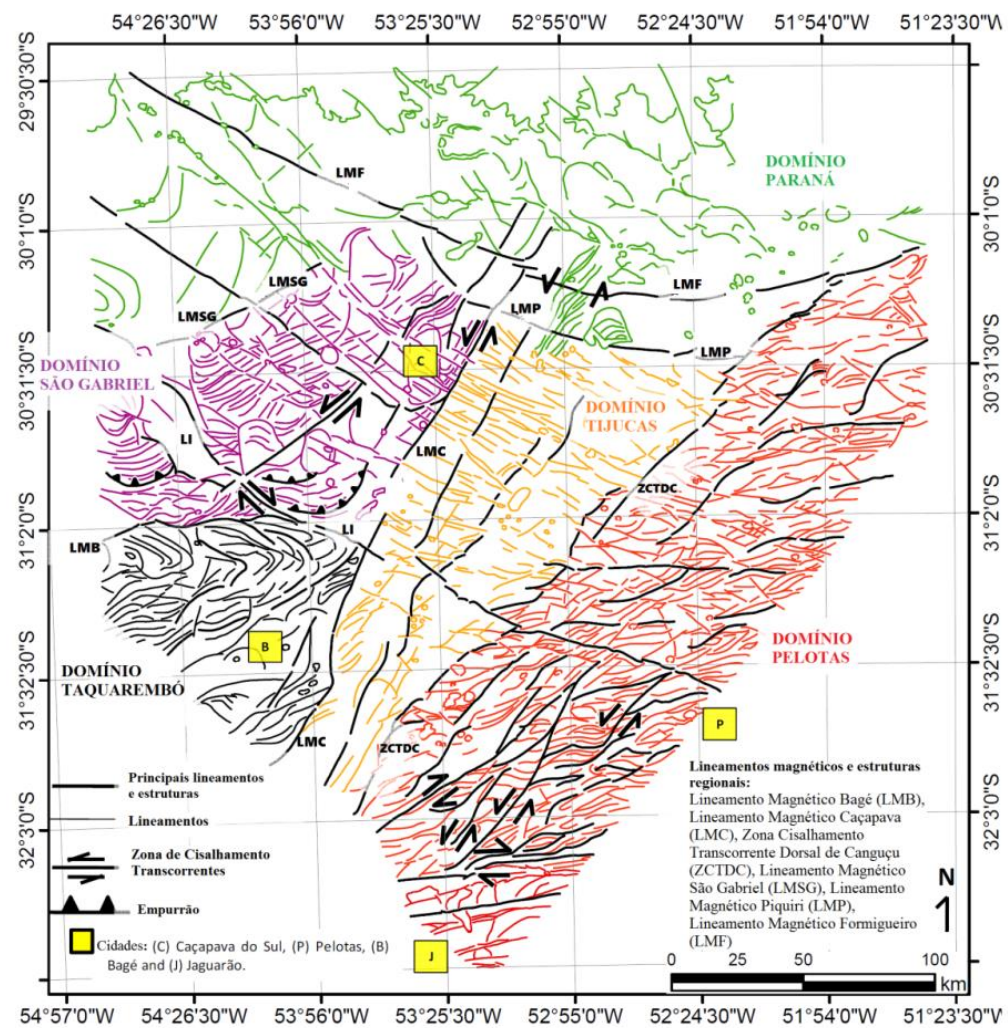
Costa (1997 apud TRAVASSOS, 2014, p. 21), através de levantamentos geofísicos magnetométricos e gamaespectrométricos aéreos, definiu três domínios no ESrg: Domínio Leste, Domínio Central e Domínio Oeste. Esses domínios foram separados por lineamentos que apresentam anomalias geofísicas que marcam grandes estruturas profundas na crosta – Lineamento Porto Alegre, Lineamento Caçapava e Lineamento São Gabriel.

A partir de novos levantamentos aeromagnéticos de maior resolução, Travassos (2014), a fim de obter maior entendimento de estruturas e da geotectônica, apresenta uma delimitação nos domínios no ESrg. Estes domínios (Figura 9) são interpretados também por geologia estrutural, geometria de lineamentos e dados de campo, de modo a definirem cinco domínios magnéticos. Como resultado, os domínios são separados também por lineamentos magnéticos e seguem a proposta de Chemale Jr (2000) do ESrg, como Domínio Taquarembó, Domínio São Gabriel, Domínio Tijucas e Domínio Pelotas. Porém, alguns domínios não são limitados por estruturas conhecidas e mapeadas ou lineamentos coincidentes com sistemas de falhas. Esses domínios são limitados por lineamentos que são o Lineamento Magnético Bagé (LMB), o Lineamento Ibaré (LI), o Lineamento Magnético Caçapava (NMC), a Zona de Cisalhamento Transcorrente Dorsal de Canguçu (ZCTDC), o Lineamento Magnético São Gabriel (LMSG), o Lineamento Magnético Piquiri (LMP) e o Lineamento Magnético Formigueiro (LMF), conforme mostra a Figura 9.

Os domínios aeromagnetométricos interpretados por Travassos (2014) foram identificados pela interpretação de anomalias de amplitude de sinal analítico e de anomalias da primeira derivada vertical, como pode ser observado na Figura 10 (TRAVASSOS, 2014).

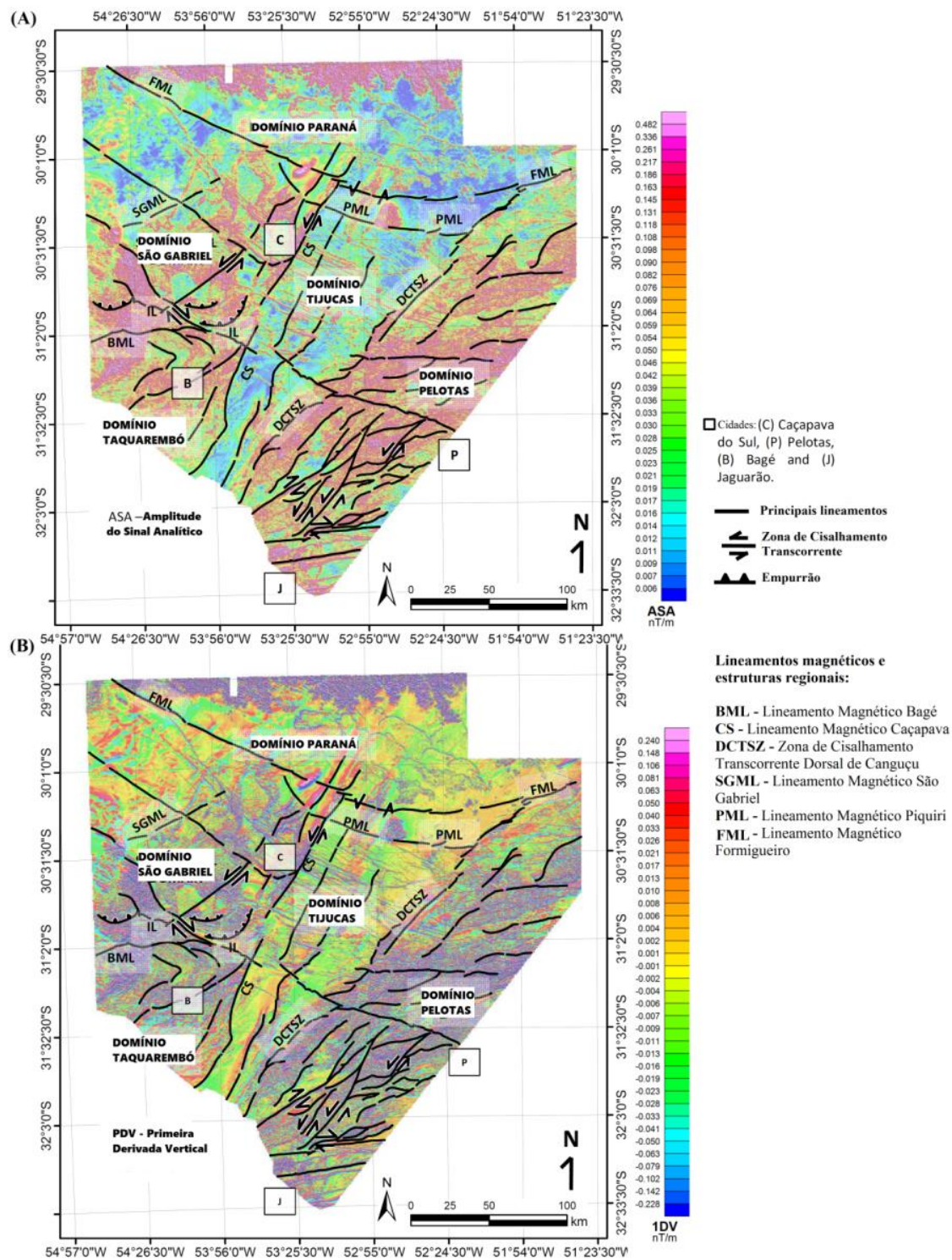
Os mapas de anomalias magnetométricas ajudaram a identificar que: há zonas de empurrões no Domínio São Gabriel com o Domínio Taquarembó, causando cavalgamento e dobramento regional (EW); que no Domínio Tijucas os lineamentos magnéticos NE e NW estão relacionados com falhas normais; e que ao sul do Domínio Pelotas foram identificadas zonas de transcorrência e evidências de transpressão no cisalhamento regional (TRAVASSOS, 2014).

**Figura 9** - Domínios magnéticos e interpretações estruturais do Escudo Sul-rio-grandense, identificando cinco domínios: Taquarembó, São Gabriel, Tijucas, Pelotas e Paraná; separados pelos principais lineamentos magnéticos do Escudo.



Fonte: extraído de Travassos (2014).

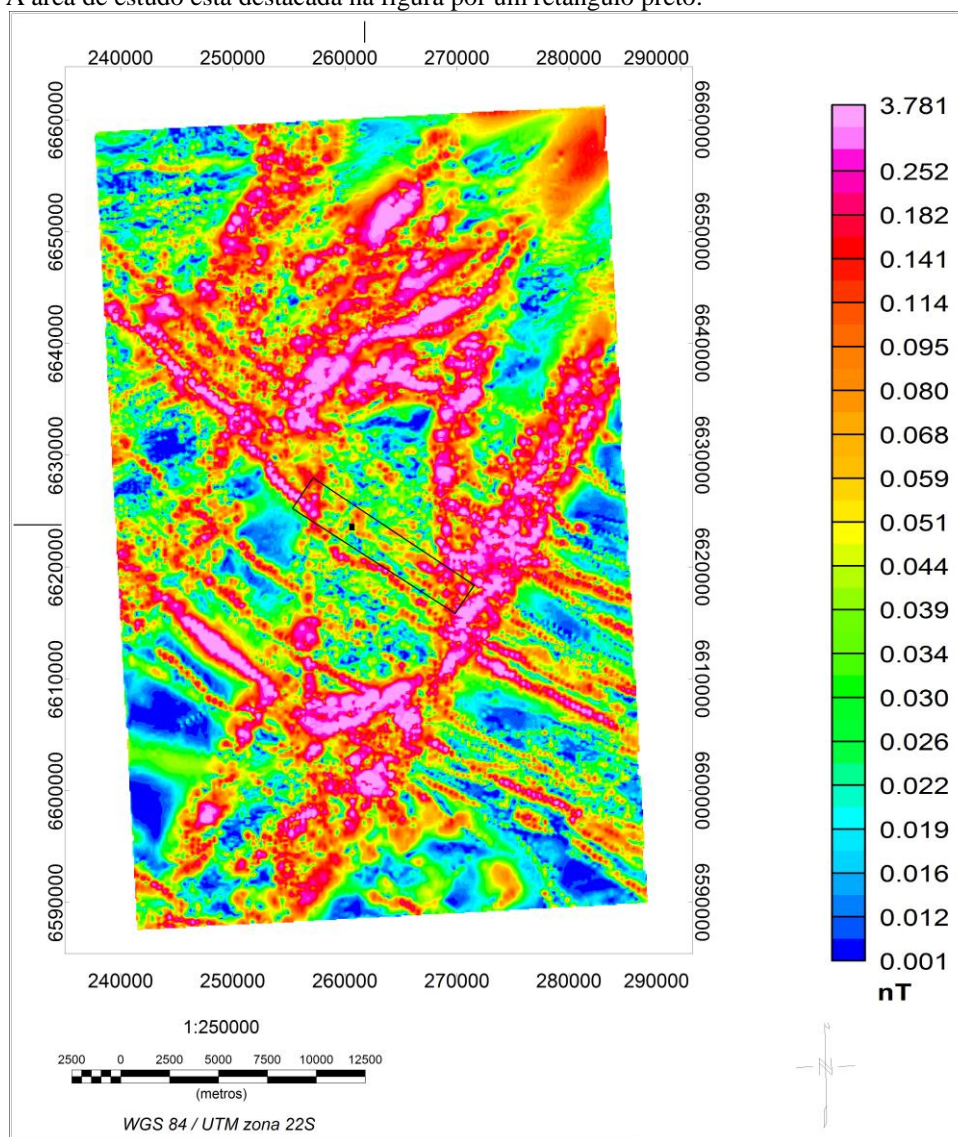
**Figura 10** - Domínios magnéticos identificados no Escudo Sul-rio-grandense (Taquarembó, São Gabriel, Tijucas, Pelotas e Paraná). (A) Amplitude do Sinal Analítico. (B) Primeira Derivada Vertical.



Fonte: extraído de Travassos (2014).

As imagens magnéticas de aerogeofísica, extraídas do Projeto Aerogeofísico do Escudo Sul-rio-grandense, do ano de 2010, fornecidas pela CPRM e processadas por Rocha Ferreira (em preparação), também contribuíram com os estudos deste trabalho. As imagens aeromagnéticas das anomalias de amplitude do sinal analítico (ASA) mostram que o lineamento de estudo pode ser considerado um lineamento magnético que se caracteriza por apresentar uma anomalia de pouco contraste, conforme o mapa da Figura 11.

**Figura 11** - Mapa de imagem aerogeofísica do método magnético, do Projeto Aerogeofísico do ESrg (2010), evidenciando que o lineamento de estudo pode ser considerado como uma anomalia magnética de pouco contraste. A área de estudo está destacada na figura por um retângulo preto.



Fonte: extraído da CPRM (2010) e processado por Rocha Ferreira (em preparação).

Nota-se na Figura 9 que, além dos principais lineamentos magnéticos que dividem domínios no Rio Grande do Sul, também há muitas estruturas de lineamentos de direção NW na região de Caçapava do Sul, que estendem-se por quilômetros ao longo de quase todo o estado. Pode ser que estas estruturas de lineamento NW possam estar relacionadas com o alto estrutural do Arco do Rio Grande.

De acordo com Asmus & Baisch (1983), a tectônica da margem continental do Brasil é o resultado de três eventos e está associada a abertura da margem e do Oceano Atlântico. Esses eventos ocorrem em sequência, sendo elas: elevação e abaulamento da crosta continental; fragmentação crustal e deslocamento lateral dos blocos continentais fragmentados acompanhados pelo progressivo espalhamento do assoalho oceânico; e subsidência das bacias marginais resultantes. Estes autores sugerem que esta elevação topográfica pode ter sido causada devido a diferenças nas espessuras da crosta, homogeneidades de composição e intrusões localizadas. Tais homogeneidades podem ter causado consequências que controlaram zonas lineares de instabilidade crustal, formando lineamentos E-W na crosta oceânica (ASMUS & BAISCH, 1983). Ao longo da margem continental, esses lineamentos oceânicos ocupam cinturões latitudinais que correspondem aos máximos estruturais na plataforma continental, que delimitam os blocos elevados e subterrâneos no continente, separando alguns arcos (Ponta Grossa, Rio Grande), bacias e altos topográficos (ASMUS & BAISCH, 1983).

O Arco do Rio Grande é um alto estrutural de direção N050°W e foi gerado a partir de sistemas de falhas normais e inversas que, analisadas em grande escala, formam um levantamento da crosta de forma mais ou menos circular, com orientação NW-SE e soerguem as unidades do ESrg e da Bacia do Paraná. Segundo Wildner *et al.* (2006), após a atividade vulcânica da abertura do Oceano Atlântico, ocorreram injeções de sills e diques nas discontinuidades estruturais da Bacia do Paraná. Ferreira (1983) confirmou com estudos aeromagnéticos que essas discontinuidades dominantes têm direção NW e estão hoje representadas por arcos e por lineamentos, como o Arco de Ponta Grossa, Arco Campo Grande e Arco do Rio Grande. Encontrou também importantes feições de direção E-W com características magnéticas semelhantes às NW.



## 7 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento e realização deste trabalho consiste em revisão e análise bibliográfica, sensoriamento remoto, trabalhos de campo, aquisição de dados em campo e interpretação dos dados estruturais adquiridos.

### a) Revisão bibliográfica

Essa etapa consiste do embasamento teórico para a definição da temática e execução deste trabalho, assim como para a caracterização da questão a ser investigada. Isso é feito através de mapas e leituras de trabalhos anteriores aplicados na área de estudo, como artigos, resumos, monografias, dissertações, teses e estudos dos conceitos necessários para a abordagem desse projeto. A revisão bibliográfica consiste basicamente de três segmentos temáticos para o desenvolvimento do estudo: geologia estrutural rúptil, análise de sensoriamento remoto e análise de dados estruturais.

### b) Sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto compreende a utilização de fotografias aéreas e imagens de satélite, as quais foram utilizadas para o planejamento de campo e pré-interpretação da geologia. Foi importante para a obtenção de um esboço e pré-conhecimento da área, identificando os afloramentos e feições estruturais, como lineamentos e falhas existentes no local, selecionando perfis e áreas/afloramentos a serem visitados nas atividades dos dias de campo, bem como seleção das vias de acesso aos afloramentos de interesse. O sensoriamento remoto foi realizado por imagens do *Google Earth*, algumas fotografias aéreas da CPRM e imagens SRTM processadas no *software* QGIS versão 2.16.2. As imagens SRTM foram trabalhadas no QGIS com análise de sombreamento, com iluminação do azimute de 045° e 315°, para ressaltar as estruturas de direções noroeste e nordeste, respectivamente.

### c) Trabalhos de campo e aquisição de dados

O trabalho de campo consiste na experiência física na área de estudo, de modo a observar e analisar detalhadamente o que se tem interesse. Foi realizado com a coleta de dados e informações relativas do local e das estruturas de interesse, distribuídos em 14 pontos da área de estudo, sendo esses escolhidos onde poderia haver maiores

possibilidades de se encontrar fraturas para a identificação e caracterização da possível falha de estudo. O campo foi baseado na utilização de ferramentas como GPS, martelo, trena, mapas, bússola e fotografias aéreas. A aquisição dos dados geológicos e estruturais foi realizada através da descrição e mapeamento das estruturas e da geologia, da caracterização das estruturas de cada ponto, da elaboração de perfis perpendiculares à falha, da observação da topografia e da geomorfologia, da análise da densidade e contagem de fraturas, das medições das estruturas (planares e lineares) com a bússola, com auxílio de anotações, fotografias e croquis. A notação das medições de atitudes utilizada foi *mão esquerda*. Após o trabalho em campo, realizou-se o tratamento dos dados, nos quais foram organizados, analisados e executados em *softwares* específicos que permitiram a interpretação das estruturas rúpteis.

#### **d) Técnicas de campo**

As técnicas utilizadas para a realização do estudo em campo foram fundamentadas em perfis perpendiculares à falha de estudo, em locais de maior fraturamento esperado, em possíveis lugares onde há evidências da falha. Isso foi baseado através de observações dos lineamentos vistos pelas imagens de satélite e SRTM, da geomorfologia, da presença de açudes e do padrão das drenagens. Nos afloramentos em que a densidade de fraturas era considerável, realizaram-se duas técnicas para o cálculo do número de fraturas, para que se pudesse ter uma ideia da aproximação da falha através dessa densidade. Essas técnicas são mostradas na Figura 12 e são baseadas pela contagem das fraturas por metro quadrado (a) e por perfil linear de um metro (b). As fraturas, conforme suas quantidades apresentadas em um metro quadrado ou em um metro linear, foram descritas como principais, secundárias, paralelas à foliação e discretas.

**Figura 12** - Técnicas para a realização do cálculo do número de fraturas (a) por metro quadrado e (b) por perfil linear em um metro.



Fonte: autor.

### e) Utilização de estereogramas digitais

A projeção estereográfica se dá com o uso dos dados coletados em campo, como as medidas de direção e mergulho do plano e/ou da lineação das rochas. Assim, procura-se obter uma visualização da orientação espacial das estruturas e análise dos dados. O software utilizado para a realização dos estereogramas digitais (Rede de Schmidt) é o *OpenStereo*, uma multiplataforma para operações de projeção estereográfica e análise de

dados estruturais, desenvolvido pela Universidade de São Paulo (GROHMANN, CAMPANHA, SOARES; 2011). Também utilizou-se o *software Win Tensor 5.8.5* para gerar estereograma com tensores.

#### **f) Interpretação dos resultados estruturais**

A compilação das análises bibliográficas e espaciais, como de sensoriamento remoto, de campo e dos estereogramas, possibilitou a interpretação dos dados estruturais, podendo ter uma melhor visualização das estruturas da área e identificar e caracterizar os lineamentos e falhas existentes, suas características principais e sua cinemática.

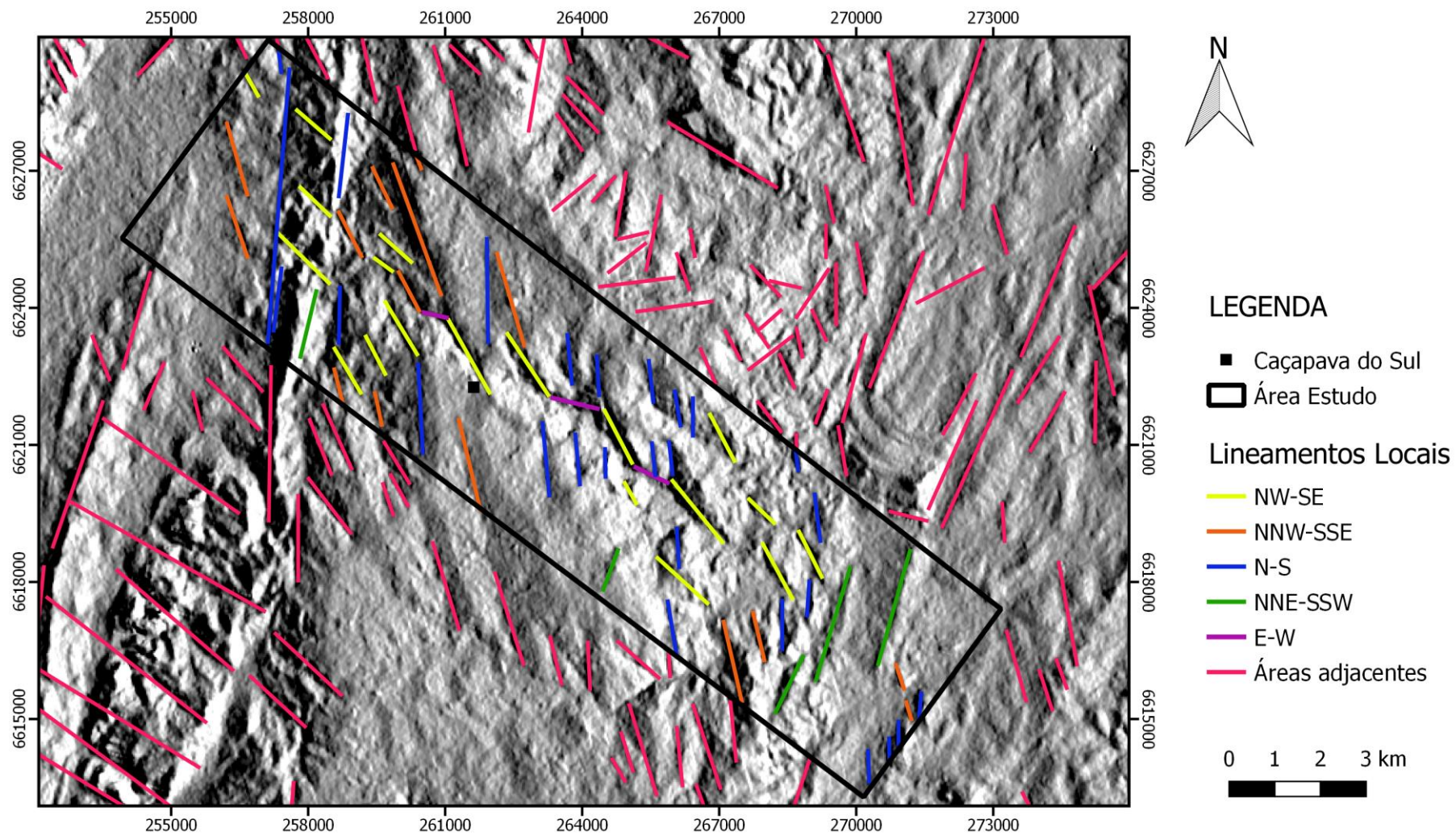
## **8 RESULTADOS**

Os estudos de imagens de satélite e imagens SRTM com sombreamento possibilitaram a determinação e marcação de alguns lineamentos na área de estudo e áreas adjacentes. Percebe-se, pela Figura 13, que a direção principal dos lineamentos da área é NW-SE e NNW-SSE, havendo também lineamentos secundários de direções N-S e NNE-SSW. No mapa da Figura 13, da área de estudo, foi possível observar lineamentos que variam de tamanho que vão de 500 metros até 6000 metros, sendo 19 lineamentos de direção NW-SE, 15 lineamentos de direção NNW-SSE, 3 lineamentos de direção E-W, 25 lineamentos de direção N-S e 4 lineamentos de direção NNE-SSW. A maioria dos lineamentos marcados fora da área de estudo, próximo a ela, também apresentam direção principal NW-SE e NNW-SSE (Figura 13).

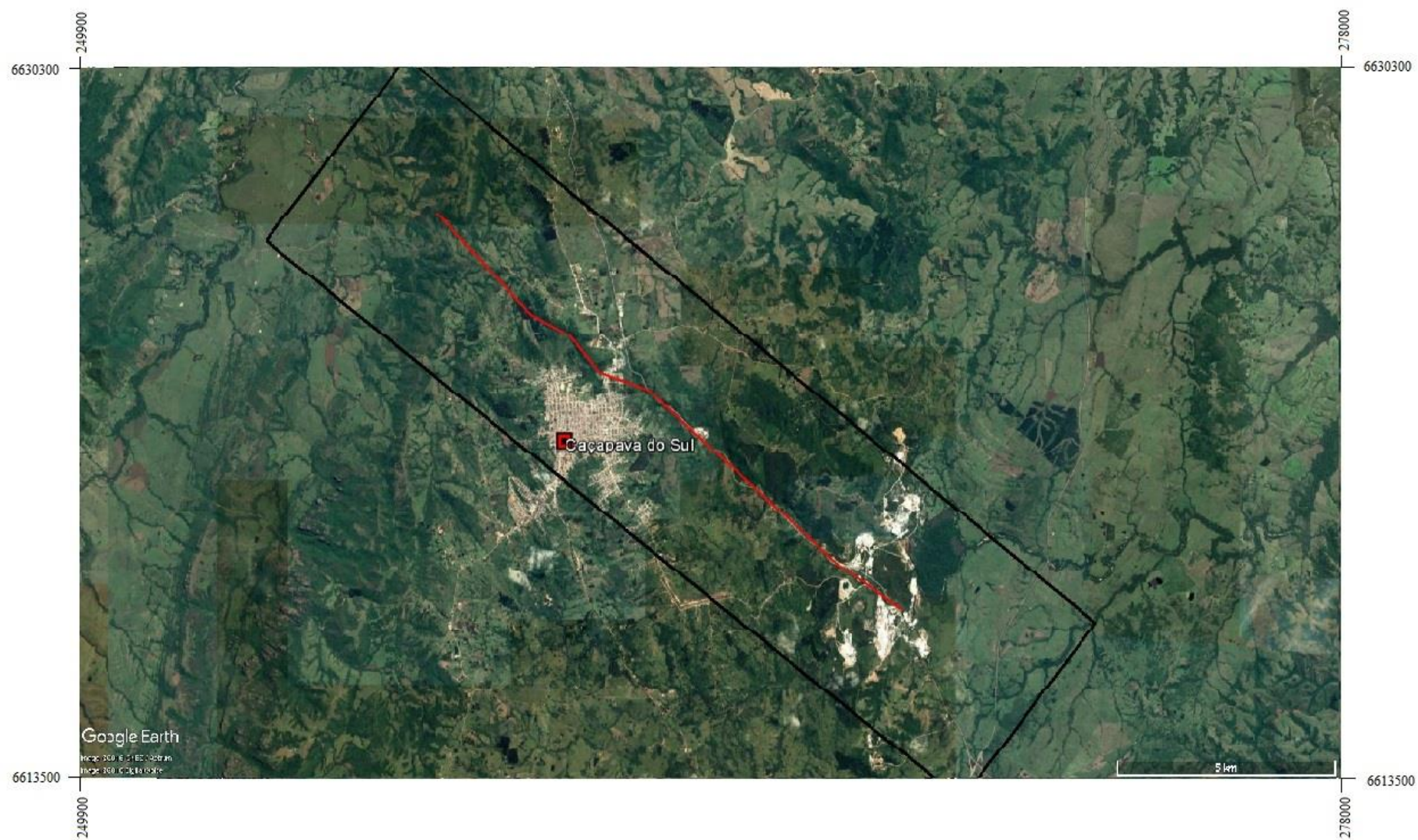
Nas imagens de satélite do *Google Earth Pro* foi visto um lineamento principal NW-SE (Figura 14), marcado em planta por traços retilíneos escuros e também pela geomorfologia em imagens tridimensionais, na qual forma vales e áreas topográficas bem mais baixas em relação às adjacentes.

A geomorfologia também foi uma ferramenta que auxiliou muito na interpretação dos lineamentos e na localização da possível falha, tanto nas imagens de satélite como nos trabalhos de campo. A geomorfologia foi trivial na maioria dos pontos visitados, ajudando a conhecer melhor a direção do lineamento NW-SE, através de vales, drenagens, altos e baixos topográficos.

Figura 13 - Mapa de demarcação dos principais lineamentos locais da área de estudo e áreas adjacentes, vistos por imagem SRTM.



**Figura 14** - Mapa de localização área de estudo com o lineamento NW-SE (em vermelho) visto pelas imagens de satélite do Google Earth Pro.



Fonte: *Google Earth Pro* (2016).

No sensoriamento remoto observaram-se ainda drenagens retilíneas, auxiliando o estudo do lineamento e a identificar os locais que poderiam ser estudados em campo. Também notou-se, por imagens de satélite, a presença de açudes próximos ao lineamento e, em campo, percorreu-se por muitas nascentes de água e áreas com o solo muito úmido (“charcos”), bem como relevos de taludes muito inclinados, o que ajudou a evidenciar quão próxima esta falha poderia estar. A presença de nascentes e açudes podem ocorrer devido a relação com aquíferos muito fraturados.

Foram realizados 14 pontos de estudos nos trabalhos de campo, ao longo deste lineamento NW-SE, que foram desde a coordenada 268755 mE e 6617143 mS (fuso 22J, *datum* Córrego Alegre), no contato do granito (CGCS) com o mármore (CMPF), passando pelo granito do CGCS, e indo até a coordenada 256498 mE e 6626325 mS (fuso 22J, *datum* Córrego Alegre), no contato do granito com xistos e outras rochas metamórficas do CMPF. Essa trajetória pode ser vista na Figura 15, em que os pontos distribuem-se conforme a direção do lineamento. A maioria dos pontos visitados constituem rochas graníticas do CGCS, como os pontos 3, 4, 5, 6, 10, 11, 12, 13 e 14. Alguns pontos encontram-se no contato e interação do mármore (CMPF) com o granito (CGCS), como os pontos 1 e 2; e outros encontram-se no contato do granito (CGCS) com xistos e metarenitos (CMPF), como os pontos 7, 8 e 9.

Os dados estruturais de campo mostraram que a maioria das fraturas principais são de direção E-W e, quanto mais próximos os afloramentos se encontram do lineamento, maior é a sua densidade de fraturas. As observações em campo, nos afloramentos dos pontos 4 e 12 evidenciaram a presença de diques de diabásio, que também pode ser indício da existência da falha. Foram encontrados também veios de quartzo leitoso, de espessuras que variam de 5 centímetros a 1 metro. Os veios podem ser indicativos de fraturas de extensão, porém não auxiliaram muito na interpretação, pois se encontravam em diversas direções, provavelmente devido a interferência de lineamentos, não possibilitando, assim, uma definição clara para realizar boas interpretações.

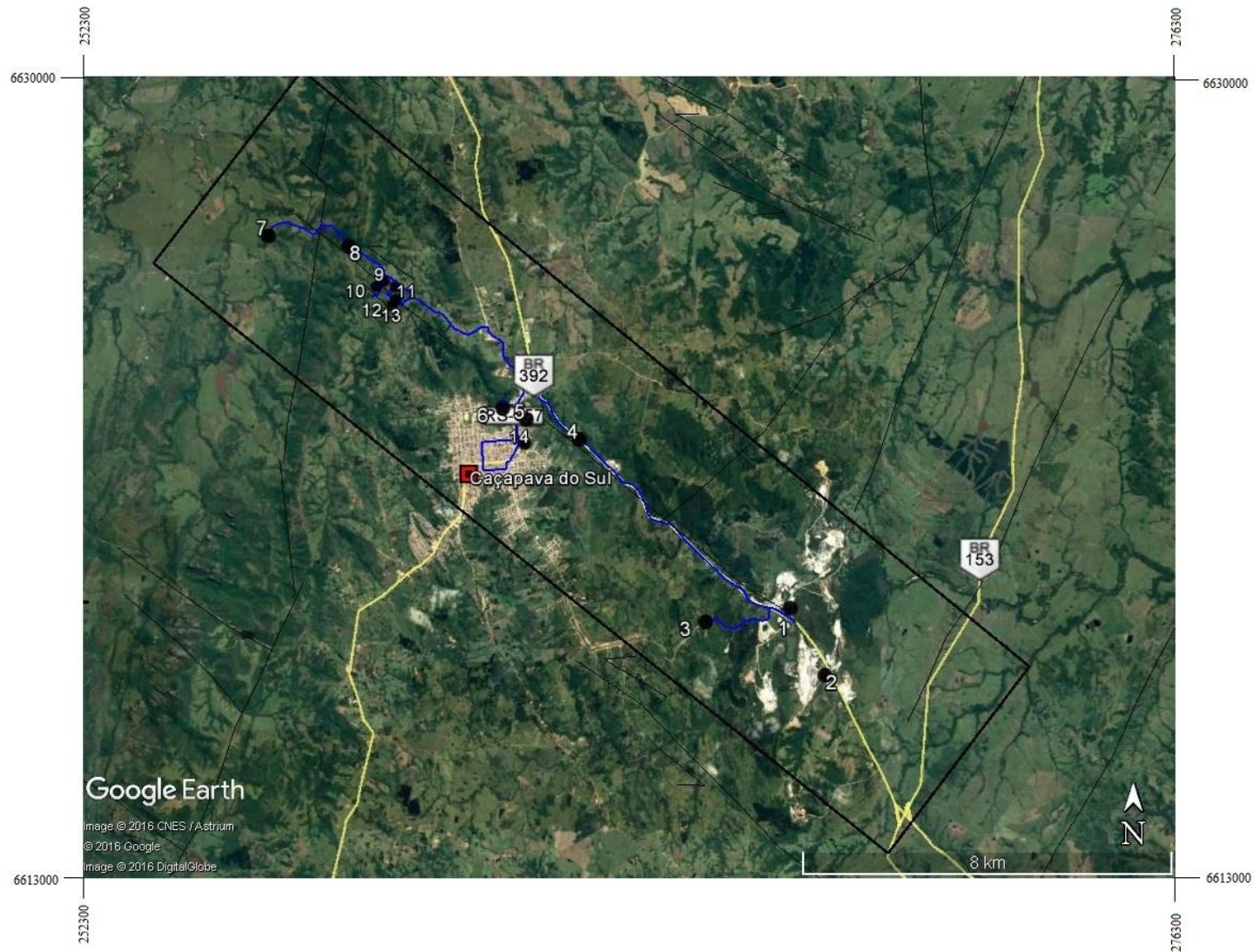
De todos os pontos visitados, apenas os pontos 3 e 10 não foram possíveis de coletar dados de medidas estruturais, pois não apresentaram nenhum afloramento representativo para que houvesse a realização dessas medidas. Porém, o ponto 10 se fez importante para os trabalhos de campo, possibilitou importantes observações através da geomorfologia do local, bem como a possível localização da falha, que parece passar ao lado sul da estrada de acesso (marcada em azul na Figura 14). Do ponto 10 também foi

possível observar que a falha aparenta cortar a Serra dos Lanceiros (Grupo Santa Bárbara) na direção NW, representada por um vale entre dois morros, como mostra a Figura 16.

Apesar de difícil acesso para a realização das medidas estruturais de fratura, pela quase ausência de afloramentos ou por estarem dentro da drenagem, o ponto 6 também foi importante na análise da geomorfologia para evidenciar a presença e localização da falha de estudo. A possível falha aparentava passar pelo local, evidenciada por uma drenagem em um vale de encostas muito íngremes, de aproximadamente 50° de mergulho. Esta encosta tem direção NW-SE, aproximadamente, e pode ser vista na Figura 17.



**Figura 15** - Mapa de localização da área de estudo com os pontos e trajetória (em azul) dos trabalhos de campos, acompanhando o lineamento NW-SE.



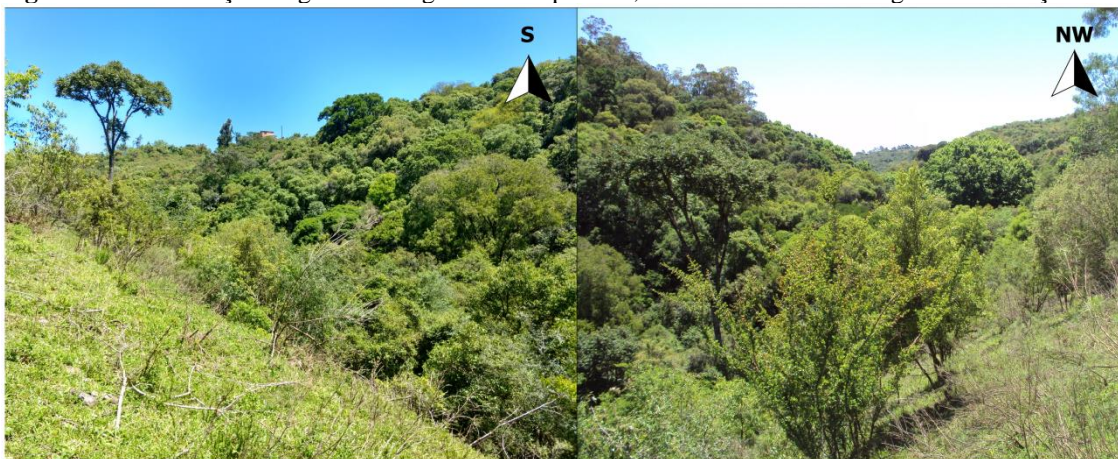
Fonte: *Google Earth Pro* (2016).

**Figura 16** - Observação da geomorfologia vista do ponto 10, em que a falha de estudo aparenta cortar a Serra dos Lanceiros, representada pelo vale entre os dois morros, na direção NW.



Fonte: autor.

**Figura 17** - Observação da geomorfologia vista do ponto 6, mostrando a encosta íngreme de direção NW-SE.



Fonte: autor.

Os pontos 5, 8, 9, 11, 12, 13 e 14 foram os que apresentaram afloramentos de maior fraturamento, possibilitando a contagem de direções de fraturas, obtendo assim um número total por metro quadrado e por perfil linear em um metro. Com a quantidade total de fraturas em cada ponto citado, foi possível ter uma relação do local de onde os esforços dessa falha estão mais intensos, pois quanto mais fraturada a rocha, provavelmente mais próximo ao plano principal da falha. As Tabelas 1 e 2 apresentam o número de fraturas por diferentes direções e as técnicas de contagem por metro quadrado e por perfil linear, respectivamente. As tabelas mostram que os pontos 9, 11 e 12 apresentam uma densidade de fraturas bastante significativa em relação aos outros pontos, em ambas as técnicas.

**Tabela 1** – Número de fraturas por metro quadrado, em diferentes direções, nos pontos em que foi realizada a contagem.

	E-W	NW	N-S	NE	Total (m <sup>2</sup> )
Ponto 5	3	6	-	6	15
<b>Ponto 8</b>	3	1	3	2	9
Ponto 9	10	-	12	12	34
Ponto 11	25	14	-	16	55
<b>Ponto 12</b>	17	7	20	-	44
Ponto 13	5	12	-	-	17
Ponto 14	7	-	2	-	9

Fonte: autor.

**Tabela 2** – Número de fraturas por perfil linear em um metro, em diferentes direções, nos pontos em que foi realizada a contagem.

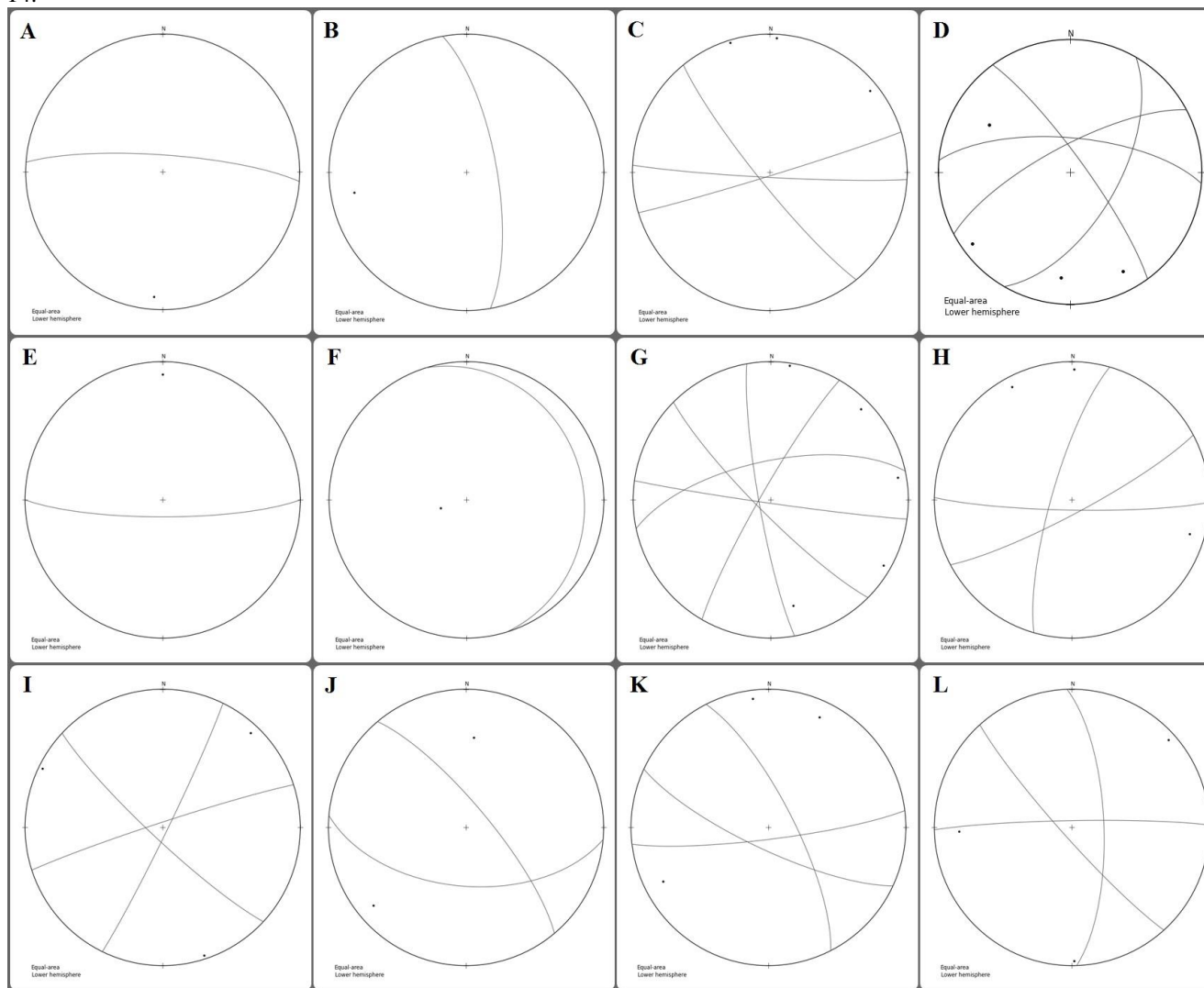
	E-W	NW	N-S	NE	<b>Total (m)</b>
Ponto 5	-	-	-	-	-
<b>Ponto 8</b>	-	-	-	-	-
Ponto 9	19	-	10	23	52
Ponto11	20	18	-	16	54
<b>Ponto12</b>	13	7	11	-	31
Ponto13	5	5	-	-	10
Ponto14	7	-	2	-	9

Fonte: autor.

Após a coleta dos dados de medidas estruturais em campo, com a bússola, como direção e mergulho das fraturas dos afloramentos, estes foram analisados e tratados gerando estereogramas com o *software OpenStereo*. Os estereogramas foram gerados com as principais e mais representativas medidas de fraturas de cada afloramento (Figura 18).

Como pode ser visto na Figura 18, os estereogramas apresentam em quase todos os pontos do campo fraturas de direção aproximadamente E-W, e em seguida NW-SE. Isso se confirma na densidade de fraturas, em que a direção de fraturas E-W é a que aparece com maior frequência.

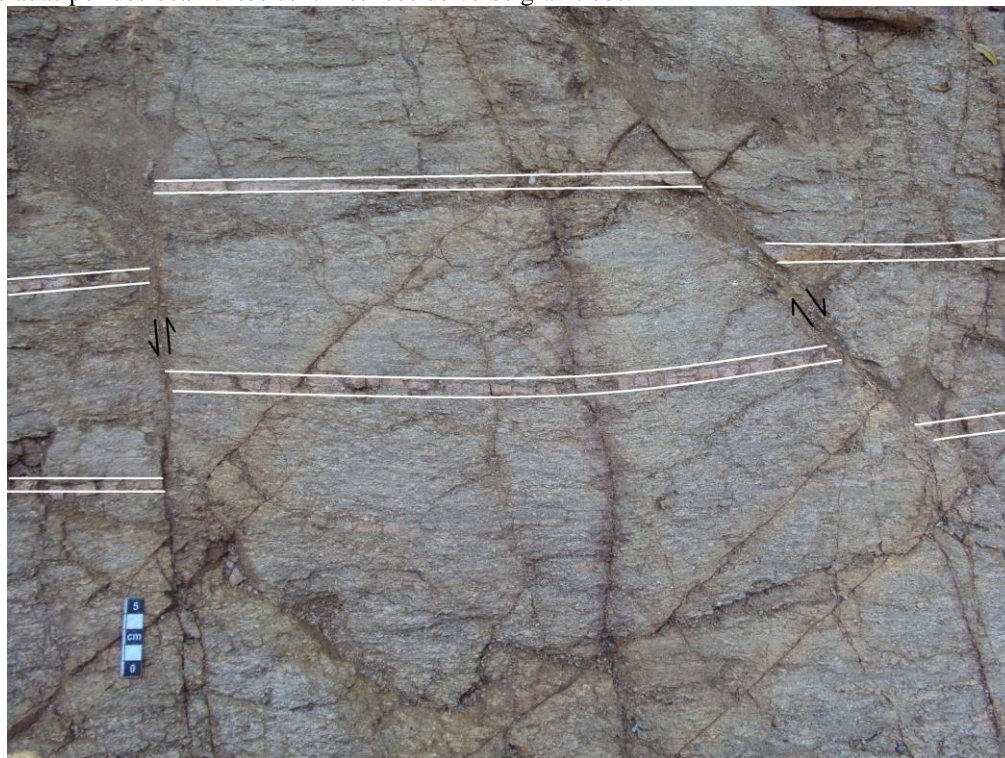
**Figura 18** - Estereogramas gerados pelo software OpenStereo, a partir das medidas principais de fraturas dos pontos (A) 1, (B) 2, (C) 4, (D) 5, (E) 6, (F) 7, (G) 8, (H) 9, (I) 11, (J) 12, (K) 13 e (L) 14.



Fonte: autor.

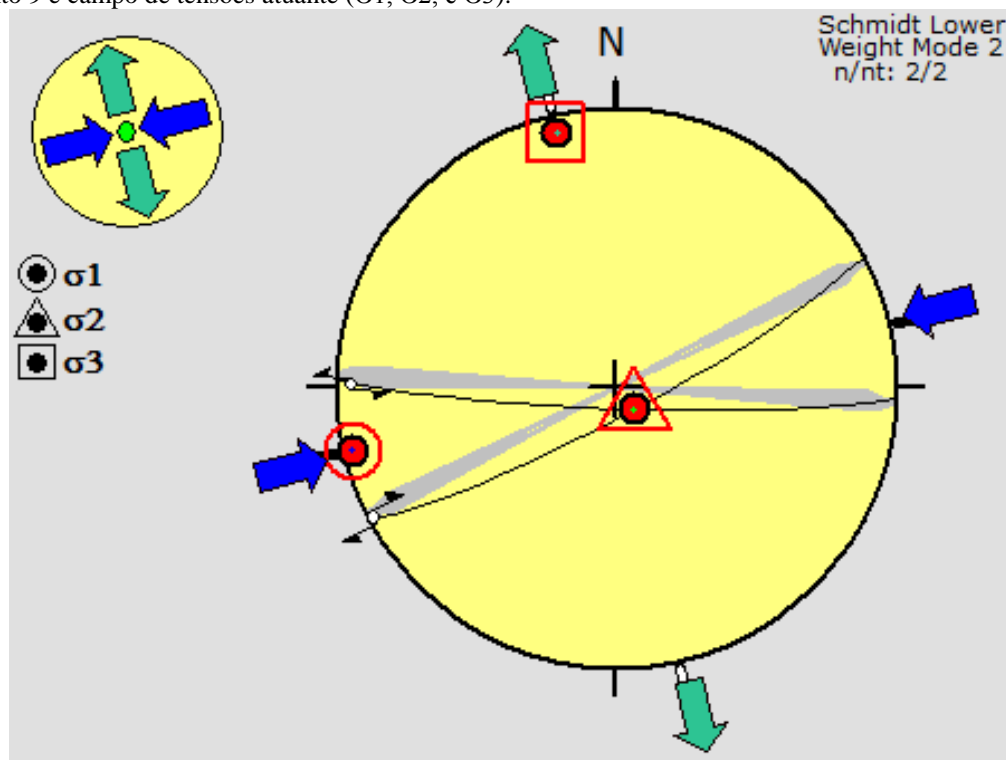
No ponto 9 (Figura 18 H), encontrou-se um registro, aparentemente, de fratura sinistral e outra dextral, de direções E-W e NE-SW, respectivamente, formando um possível par conjugado (como pode ser visto na Figura 19). Essas fraturas são evidenciadas por um deslocamento centimétrico de veios graníticos. Os veios tinham aproximadamente 5 cm de largura. A Figura 20 representa este par conjugado visto em campo, onde as forças atuantes no ângulo agudo dos pares de fraturas são representada pelo  $\sigma_1$  (horizontal), na vertical encontra-se o  $\sigma_2$  e o  $\sigma_3$  estaria no ângulo obtuso (também na horizontal).

**Figura 19** - Fraturas de um par conjugado, sinistral E-W (à esquerda) e dextral NE-SW (à direita), evidenciadas por deslocamentos centimétricos de veios graníticos.



Fonte: autor.

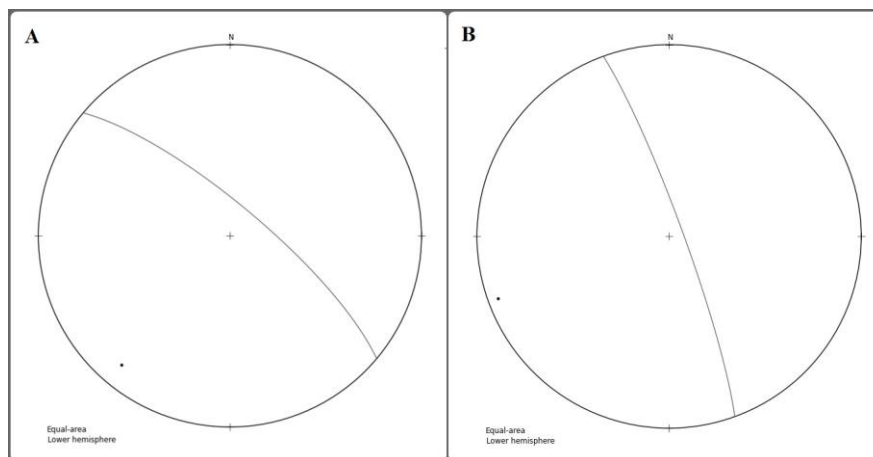
**Figura 20** - Estereograma gerado no *software Win Tensor 5.8.5*, com fraturas de par conjugado encontradas no ponto 9 e campo de tensões atuante ( $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ , e  $\sigma_3$ ).



Fonte: autor.

Nos pontos 4 e 12 encontram-se diques de diabásio de direções NW-SE e NNW-SSE, respectivamente (Figura 21). Estes diques acompanham as direções principais de lineamentos vistos nas imagens SRTM. A presença dos diques de diabásio no fraturamento deste lineamento é confirmada por Ferreira (1983) e também por Ribeiro (1980). No ponto 4 o dique encontra-se com alto grau de alteração, com cerca de 3 metros de largura, em um afloramento de corte de estrada na BR 392 (Figura 22). No ponto 12 o dique encontra-se em um local do afloramento do tipo lajeado, com um alto grau de fraturamento, e tem uma maior continuidade espacial (mais significativa) para NNW-SSE. Porém, apresenta uma inflexão da direção principal, como mostra a Figura 23. Isto pode estar associado à interferência de fraturas dos lineamentos NE-SW da região (Serra dos Lanceiros), como visto em outros pontos dos trabalhos de campo. No ponto 12, além da presença do dique, observou-se também um possível indicador cinemático, mostrado por um plano de falha/fratura com alguns degraus na superfície (Figura 24).

**Figura 21** - Estereogramas gerados pelo *software OpenStore*, a partir das medidas de diques encontrados nos afloramentos de campo, nos pontos (A) 4 e (B) 12, com direções NW e NNW, respectivamente.



Fonte: autor.

**Figura 22** - Dique de diabásio, com alto grau de intemperismo, de direção NW-SE, no ponto 4. Afloramento corte de estrada (BR 392).



Fonte: autor.



**Figura 23** - Dique de diabásio, de direção principal NNW-SSE, com inflexão quase ortogonal, no ponto 12. Afloramento do tipo lajeado.



Fonte: autor.

**Figura 24** - Possível indicador cinemático encontrado nos granitoides do ponto 12, mostrando degraus no plano de falha.



Fonte: autor.

## 9 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Com base em dados de imagens de satélite e estudos de imagens SRTM, trabalhos de campo e trabalhos em laboratório, com interpretação de estereogramas digitais e busca da bibliografia já estudada da área, foi possível destacar algumas informações em relação ao lineamento de estudo.

Os estudos de sensoriamento remoto possibilitaram determinar a localização do lineamento de estudo, realizar a demarcação dos principais lineamentos existentes e gerenciar os principais pontos de coleta de dados. Os trabalhos de campo proporcionaram informações quanto à localização e locais de maiores esforços da possível falha de estudo através da densidade das fraturas. Com os trabalhos de laboratório foi possível ter uma representação de como as fraturas se comportam e também como essa provável falha se caracteriza.

Durante os trabalhos de campo ocorreram algumas dificuldades. Áreas de difícil acesso próximas ao lineamento; dificuldade de encontrar afloramentos ao longo do lineamento; quando se encontrava afloramento próximo ao lineamento, não era consideravelmente representativo em relação ao fraturamento, ou por encontrar-se em grande altitude e próximos a áreas de risco não possibilitava a aproximação para observação de detalhes e medição de estruturas. Outro problema ocorrido durante a prática em campo em alguns pontos foi a provável interferência de fraturas de diversas direções, entre fraturas do lineamento estudado e fraturas do lineamento da Serra dos Lanceiros, que se intersectavam. O que evidencia isso é que, em alguns pontos, por serem próximos ao encontro destes lineamentos, as direções de fraturas se apresentam em muitas direções, de forma confusa, sem representatividade. Nos pontos 7 e 8, principalmente, não foi possível ter uma interpretação confiável por estarem localizados nesta interferência, com encontro de muitas fraturas sem uma direção preferencial. Os pontos 12 e 13 também aparentam apresentar alguma interferência de fraturas por haver fraturas de diversas direções, não havendo uma definição clara para sua direção preferencial.

Os pontos 4, 5, 9, 11, 12, 13 e 14 foram os mais relevantes e representativos nos trabalhos de campo, pois apresentam dados mais definidos quanto à direção e densidade das fraturas, embora em alguns locais esses dados estejam um pouco confusos e difíceis para a determinação de uma direção principal. Nos pontos 1, 2, 3, 6, 7, 8 e 10 também foi possível a obtenção de informações importantes em relação à possível falha de estudo,

porém não tanto relevantes quanto à direção e densidade das fraturas, mas sim em observações da geomorfologia, contato entre litologias, acompanhamento de drenagens e encontro de açudes.

Os pontos 5, 8, 9, 11, 12, 13 e 14 foram os que apresentaram afloramentos de maior fraturamento, sendo os pontos 9, 11 e 12 os mais representativos, com uma maior densidade de fraturas em relação aos outros.

Os dados estruturais possibilitaram mostrar que a maioria das fraturas principais são de direção E-W e, quanto mais próximos os afloramentos se encontram do lineamento, maior é a sua densidade de fraturas.

O estereograma do ponto 9 mostra a possibilidade de determinação dos campos de tensões a partir do deslocamento de um par conjugado de fraturas de cisalhamento, que mostra o campo de tensão maior no quadrante SW ( $\sigma_1$ ). Porém, este campo de tensão não condiz com os regionais, que indicam uma movimentação sinistral para as estruturas de direção NE, cujo campo de tensão principal ( $\sigma_1$ ) estaria no quadrante NW. Além disso, para que este par de fraturas representasse um movimento considerável para esta falha, deveria ao menos encontrar-se mais oblíquo a ela, proporcionando um maior movimento sinistral (como sugere o mapa da CPRM). É possível que os tensores de  $\sigma_1$  criem um movimento, porém com pouco deslocamento lateral, quase que imperceptível em uma grande escala. Isso confirma com os resultados do trabalho do Ribeiro (1966), no qual ele relata que os deslocamentos são moderados no sentido vertical.

Nos trabalhos de campo foram encontrados veios de quartzo leitoso sem uma direção principal definida, não conclusivos para a interpretação do lineamento de estudo, pois podem estar associados à zona de interferência de lineamentos de fraturas NE-SW da região da Serra dos Lanceiros.

A presença dos diques de diabásio no fraturamento deste lineamento, os quais acompanham a direção dos lineamentos principais NW-SE e NNW-SSE. é confirmada por Ferreira (1983), Ribeiro *et al.* (1966) e também por Ribeiro (1980). Ribeiro *et al.* (1966) relatam que este sistema de falhas de direção NW-SE da região é caracterizado por apresentar muitas fraturas preenchidas por diques de diabásio. Ribeiro (1980) propõe que sejam falhas seladas pela intrusão granítica e em seguida reabertas até o manto, preenchendo algumas fraturas por magmas basálticos e formando os diques.

Essas estruturas de lineamento NW-SE, bem como os diques de diabásio, podem estar relacionados a estruturas referentes ao Arco do Rio Grande. O Arco do Rio Grande

está associado a estruturas de abertura do Oceano Atlântico, pois após a atividade vulcânica da separação da América do Sul e da África ocorreram injeções de sills e diques nas descontinuidades estruturais da Bacia do Paraná (WILDNER *et al.*, 2006). Essas descontinuidades foram confirmadas por aeromagnetometria e tem direção dominante NW-SE, nas quais hoje estão representadas por arcos (FERREIRA, 1983), como o Arco do Rio Grande, que soerguem as unidades do ESrg e da Bacia do Paraná.

Se o lineamento NE-SW da região da Serra dos Lanceiros, do Grupo Santa Bárbara, fosse posterior ao lineamento de estudo NW-SE, seria esperado um deslocamento no lineamento de estudo, visto que as duas se interceptam quase que perpendicularmente e o primeiro tem uma cinemática sinistral (RIBEIRO *et al.*, 1966). Este deslocamento não foi visto nas imagens de satélite e em campo. Já no caso da falha do estudo ser de movimentação lateral, seria esperado que houvesse um deslocamento na falha da Serra dos Lanceiros (NE-SW), o qual também não é evidenciado em imagens e no campo. Porém, se o lineamento de estudo NW-SE for considerado como uma falha transcorrente de pouco deslocamento lateral e mais vertical, seria mais razoável com o que foi determinado neste trabalho. Ribeiro *et al.* (1966) sugerem que os lineamentos de direção NW-SE têm origem de processos tectônicos mais tardios, após a deposição do Grupo Santa Bárbara, e relatam que há evidências disso pela presença de um lineamento curvado (ou arqueamento) característico da Serra dos Lanceiros.

De modo a contribuir com os estudos deste trabalho e análise dos dados coletados, as imagens magnéticas de aerogeofísica da CPRM, processadas por Rocha Ferreira (em preparação), evidencia o lineamento de estudo por um lineamento magnético (NW-SE) caracterizado por uma anomalia magnética de pouco contraste.

Portanto, pela compilação de todos os dados e pela bibliografia consultada, pode-se dizer que as interpretações deste lineamento NW-SE não possibilitaram estabelecer claramente um movimento significativo transcorrente. Sendo assim, ele poderia ser caracterizado como uma grande fratura, provavelmente com movimento mais vertical que lateral. É possível considerar que este lineamento NW-SE seja posterior ao lineamento NE-SW por apresentar um leve arqueamento na região da Serra dos Lanceiros (Grupo Santa Bárbara), o que confirma pouco deslocamento do lineamento NW-SE. As imagens aeromagnéticas mostraram que o lineamento de estudo NW-SE é considerado uma anomalia magnética pouco profunda. Há possibilidades deste lineamento estar relacionado ao Arco do Rio Grande por apresentarem características estruturais de falhas de direção

NW-SE, presentes em ambos, e também pela presença de diques de diabásio que podem estar relacionados ao magmatismo da abertura do Oceano Atlântico, associado à formação do Arco do Rio Grande.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Renato P. et al. **The Ediacaran to Cambrian Rift System of Southeastern South America: Tectonic Implications.** 2010.

ASMUS, Haroldo; BAISCH, Paulo R. **Geological evolution of the Brazilian continental margin.** Episodes, v. 4. 1983.

BITENCOURT, M. Fátima. **Metamorfitos da região de Caçapava do Sul, RS: geologia e relações com o corpo granítico.** Simpósio Sul-brasileiro de Geologia, p. 37-48, 1983.

CARRARO, Clóvis C.; MEXIAS, André S. **Imagens de Sensoriamento Remoto no Mapeamento de Lineamentos do Centro do Escudo Sul-Rio-Grandense.** Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia, p. 1757-1764, 2005.

COSTA, A. F. U. **Teste e modelagem geofísica das associações litotectônicas pré-cambrianas no Escudo Sul-rio-grandense.** Tese de Doutorado em Ciências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1997.

CHEMALE Jr, Farid. **Evolução geológica do Escudo Sul-rio-grandense.** Geologia do Rio Grande do Sul, p. 13-52, 2000.

FERREIRA, Francisco J. F. **Integração de dados aeromagnéticos e geológicos: configuração e evolução tectônica do Arco de Ponta Grossa.** Dissertação de Mestrado em Geologia Geral, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1983.

FOSSEN, Haakon. **Geologia estrutural.** Oficina de Textos, São Paulo, 2012.

GROHMANN, Carlos H.; CAMPANHA, Ginaldo A.C.; SOARES JUNIOR, Adilson. **OpenStereo: um programa livre e multiplataforma para análise de dados estruturais.** XIII Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, São Paulo, 2011.

HARTMANN, Léo Afraneo.; CHEMALE Jr, Farid.; PHILIPP, Ruy Paulo. **Evolução geotectônica do Rio Grande do Sul no Precambriano.** Ianuzzi R. & Frantz JC., v. 50, p. 97-123, 2007.

HEILBRON, Monica; PEDROSA-SOARES, Antônio Carlos; NETO, Mário Campos; SILVA, Luiz Carlos da; TROUW, Rudolph Allard; JANASI, Valdecir de Assis. **Província Mantiqueira**. Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida, p. 203-235, 2004.

IBGE, **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2015. Disponível em: <http://cod.ibge.gov.br/MWX9>. Acesso em: 29/03/2016.

KEAREY, Philip; BROOKS, Michael; HILL, Ian. **Geofísica de exploração**. Oficina de Textos, 2009.

KEAREY, Philip; KLEPEIS, Keith A.; VINE, Frederick J. **Tectônica Global**. 3. ed. Editora Bookman, 2014.

LEITE, J.A.D. **Datação SHRIMP U/Pb em zircões e o exemplo de dois corpos graníticos contrastantes no Escudo Sul-riograndense**. Boletim, SBG, P.5-12, 1995.

LIMA, Evandro F.; SOMMER, Carlos A.; NARDI, Lauro V. S. **O vulcanismo neoproterozóico-ordoviciano no Escudo Sul-riograndense: os ciclos vulcânicos da Bacia do Camaquã**. 2007.

MATTA, Milton; MATOS, Francisco. **Geologia Estrutural: notas de aula – graduação**. Universidade Federal do Pará, 2007.

NARDI, Lauro; BITENCOURT, Maria de Fátima. **Geologia, petrologia e geoquímica do Complexo Granítico de Caçapava do Sul, RS**. Revista Brasileira de Geociências, v. 19, p. 153–169, 1989.

NOVO, Evlyn M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 4. ed. São Paulo: Edgard Blücher . 2011.

OLIVEIRA ANDRADES FILHO, Clódis de; FONSECA, Leila M. Garcia. **Lineamentos estruturais a partir de imagem Landsat TM e dados SRTM**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p. 3151-3158, 2009

PAIM, Paulo Sergio; CHEMALE Jr, Farid; Lopes, R. C. **A Bacia do Camaquã**. Geologia do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, p. 231-274. 2000

PICADA, Rubem Souza. **Ensaio sobre a tectônica do Escudo Sul-rio-grandense: caracterização dos sistemas de falhas.** Anais do XXV congresso brasileiro de geologia, p.167-191, 1971.

PRICE, Neville J., COSGROVE, John W. **Analysis of geological structures.** Cambridge: Cambridge University Press. 1990.

PORCHER, Carlos Alfredo; LOPES, Ricardo da Cunha. **Cachoeira do Sul: folha SH. 22-YA.** 2000.

RAGAN, Donal M. **Structural geology: an introduction to geometrical techniques.** 4. ed. Cambridge University Press, 2009.

RIBEIRO, Maurício. **Geossuturas do Escudo do Rio Grande do Sul.** XXXI Congresso Brasileiro de Geologia. Anais, p. 2709-2717, 1980.

RIBEIRO, M.; BOCCHI, P. R.; FIGUEIREDO, P. M. ;TESSARI, R.I. **Geologia da Quadrícula de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.** Boletim 127, Departamento Nacional de Produção Mineral. Rio de Janeiro. 1966.

TRAVASSOS, Rodrigo Piraine. **Interpretação estrutural regional do escudo Sul-rio-grandense – Rio Grande do Sul – Brasil, com base em aeromagnetometria.** Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília. 2014.

WILDNER, Wilson *et al.* **Texto explicativo dos Mapas Geológico e de Recursos Minerais do Sudoeste do Estado do Paraná.** Serviço Geológico do Brasil, CPRM. Curitiba. 2006

WILDNER, Wilson *et al.* **Mapa geológico do estado do Rio Grande do Sul.** Serviço Geológico do Brasil, CPRM. Porto Alegre. 2008.