

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

ALEXANDRE MILLEN DE CASTRO

ANÁLISE ESTRUTURAL DO GRANITO CERRO DA CRIA, SÃO SEPÉ – RS

Caçapava do Sul

2016

ALEXANDRE MILLEN DE CASTRO

ANÁLISE ESTRUTURAL DO GRANITO CERRO DA CRIA, SÃO SEPÉ – RS

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

Orientador: Prof^o. Dr. Tiago Rafael Gregory

Caçapava do Sul

2016

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)

C355a Castro, Alexandre Millen de
ANÁLISE ESTRUTURAL DO GRANITO CERRO DA CRIA, SÃO SEPÉ - RS
/ Alexandre Millen de Castro.
66 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2016.

"Orientação: Tiago Rafael Gregory".

1. análise estrutural. 2. deformação dútil. 3.
sensoriamento remoto. 4. Granito Cerro da Cria. I. Título.

ALEXANDRE MILLEN DE CASTRO

ANÁLISE ESTRUTURAL DO GRANITO CERRO DA CRIA, SÃO SEPÉ – RS

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

Área de concentração: Geologia

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

Banca examinadora:

Prof. Dr. Tiago Rafael Gregory
Orientador
UNIPAMPA

Prof. Dr. Felipe Guadagnin
UNIPAMPA

Prof. Msc. Vinícius Matté
UNIPAMPA

Dedico este trabalho aos meus amados pais, José Luiz e Mariana, pela inabalável fé na educação, amor imensurável e por todo amparo.

“Tudo o que temos de decidir é o que fazer com o tempo que nos é dado”.

Gandalf – O Senhor dos Anéis

J. R. R Tolkien

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela força e perseverança que me transmitiu nesses cinco anos de curso, e com os olhos da geologia compreender melhor a magnitude e complexidade da sua criação.

Agradeço ao meu orientador, Tiago Rafael Gregory, por toda paciência ao longo desse ano, por contribuir de maneira circunstancial para a qualidade da minha produção textual, que de longe sempre foi uma das minhas dificuldades, mas que depois desse trabalho, sem dúvida, me torno um escritor muito melhor do que quando comecei.

Aos habitantes da região circundante ao Cerro da Cria, que nos trataram muito bem nas idas ao campo, permitiram acesso livre a área para estudo, e não negaram uma água gelada ao final de um dia de trabalho.

A todos os amigos que contribuíram de forma direta ou indireta para construção deste trabalho, seja fornecendo materiais bibliográficos, idas na campanha de campo ou nas discussões geológicas.

A meus pais que só tenho a agradecer, que nem se fosse possível viver 3 vidas, seriam suficientes para retribuir tudo que me deram nessa. Aos meus irmãos Aurélio e Aurany por sempre meus eternos fiscais, tornando a ideia abstrata de formar em 5 anos concreta. A minha professora de história, Saionara Ladeira, que me apresentou a geologia, que por ironia do destino, uma pessoa de humanas me levou a exatas, mas que talvez não seja tão irônico afinal, já que a geologia em suma, é uma ciência histórica.

Por último, mas não menos importante, agradeço a segunda melhor coisa que encontrei em Caçapava do Sul, depois da geologia, agradeço por todo amor, carinho, amizade e companheirismo nessa jornada. Agradeço a minha namorada, Paula Hernandez, por ter construído junto comigo um amor de rocha.

RESUMO

O Granito Cerro da Cria aflora no sul do município de São Sepé - RS, região compreendida geologicamente no Terreno São Gabriel, que está inserido no Escudo Sul-rio-grandense. O Terreno São Gabriel é um dos representantes da orogênese do Ciclo Brasileiro, de modo que o Granito Cerro da Cria representa um dos últimos eventos magmáticos desta orogênia, sendo caracterizado como pós-colisional e inserido dentro da Suíte Intrusiva Saibro. Uma das características do ambiente pós-colisional é o desenvolvimento de grandes falhas transcorrentes e uma das principais características do Granito Cerro da Cria é a zona de falha transcorrente que o intersecta e causa um regime deformacional dútil, com desenvolvimento de juntas, fraturas e veios preenchidos com quartzo. Nas cercanias da região que o Granito Cerro da Cria intrude afloram rochas metamórficas do Complexo Bossoroca, que na área de estudo é representado pela Sequência Campestre e Sequência Arroio Lajeado, onde dentro dessas sequências há ocorrência de mineralizações de ouro, descobertas desde a década de 70. O presente trabalho utiliza para o estudo da deformação dútil registrada no Granito Cerro da Cria, ferramentas de sensoriamento remoto, tais como: imagens de satélite do *Google Earth*; imagens *Landsat-8*; e modelos digitais de elevação e mapas de relevo sombreado. A partir dessas ferramentas foram digitalizados lineamentos em escala local e regional. Posteriormente, foi realizada uma análise estrutural do Granito Cerro da Cria, com dados medidos em campo. De maneira que, foi constatado que existe cinco famílias de fraturas presentes no Granito Cerro da Cria e dividiu-se o granito em três blocos estruturais. Averiguando que o bloco estrutural 3 teve uma translação para nordeste e o Granito Cerro da Cria possui dois eventos deformacionais distintos.

Palavras-Chaves: análise estrutural, deformação dútil, sensoriamento remoto, Granito Cerro da Cria.

ABSTRACT

The Cerro da Cria Granite is located in the south of the municipality of São Sepé - RS, a region that is geologically included in the São Gabriel Terrain, that is part of the Sul-rio-grandense Shield. The São Gabriel Terrain is one of the representatives of the orogeny of the Brazilian Cycle, so that the Cerro da Cria Granite is a representative of the last magmatic events of this orogeny, being thus characterized as post-collisional and being thus inserted within the Saibro Intrusive Suite. One of the characteristics of the post-collisional environment is the development of large transcurrent faults and one of the main characteristics of Cerro da Cria Granite is the transcurrent fault zone that intersects and causes a brittle deformational regime, with development of joints, fractures and filled veins with quartz. In the surrounding of the region, the Cerro da Cria Granite intrudes metamorphic rocks from the Bossoroca Complex, which in the study area is represented by the Campestre Sequence and Arroio Lajeado Sequence, where within these sequences there are occurrences of gold mineralizations, discovered since the 70th years. The present project uses, for the study of the deformation in Cerro da Cria Granite, remote sensing tools, such as: Google Earth images; Landsat-8 images; digital elevation models and shaded relief maps. From the digitization tools of the local and regional scale guidelines. Subsequently, a structural analysis of Cerro da Cria Granite was performed, with data measured in the field. Thus, it was established that there are five families of fractures not Cerro da Cria Granite and granite was divided into three structural blocks. Finding that the structural block 3 had a translation to the northeast and Cerro da Cria Granite has two distinct deformational events.

Keywords: structural analysis, brittle deformation, remote sensing, Cerro da Cria Granite.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo, onde: a) mostra a localização dos municípios de Vila Nova do Sul, São Sepé e Caçapava do Sul, dentro do estado do Rio Grande do Sul; b) o polígono em vermelho é o perímetro da área de estudo, localizado nos municípios de Vila Nova do Sul e São Sepé; c) localização da área de estudo entre a cidade de Vila Nova do Sul e o trevo entre a BR 290 com a BR 392. -----	18
Figura 2 – Domínios Geotectônicos do ESrg com as principais Zonas de Cisalhamento: 1 – Itajaí-Perimbó, 2 – Major Gercino, 3 – Santana da Boa Vista, 4 – Dorsal de Canguçu, 5 – Passo do Marinheiro, 6 – Ibaré, 7 – Sarandi Del Y, 8 – Sierra Ballena, 9 – Cerro Amaro, 10 – Arroio Grande.-----	20
Figura 3 – Mapa com os Domínios Ocidental, Central e Oriental, além da Bacia do Camaquã e Bacia do Paraná. O polígono vermelho é a área de estudo. -----	20
Figura 4 – Principais estruturas geofísicas e tectônicas em nível regional do ESrg.	24
Figura 5 – Mapa geológico da área de estudo e redondezas. -----	25
Figura 6 – Bloco diagrama discriminando fraturas, juntas, veios, fissuras e fraturas compressivas (estilolito). -----	33
Figura 7 – Bloco diagrama ilustrando tipos de falhas e redes de fraturas. -----	34
Figura 8 – MRS sob o mapa de elevação em metros, ambos gerados com SRTM. Polígono destaca a área de estudo local. -----	37
Figura 9 – MRS sob o mapa de elevação em metros, ambos gerados com a base cartográfica. Polígono destaca a área de estudo local. -----	38
Figura 10 – Imagem da área de estudo, com resolução de 15 m, composta com as bandas: 2; 5 e 7, captadas com aparelho OLI.-----	40
Figura 11 – Imagem da área de estudo, com resolução de 100 m, composta com as bandas: 10; 11 e 7, onde as duas primeiras são do aparelho TIRS e a terceira com o OLI. -----	41
Figura 12 – Imagem de toda área considerada para o sensoriamento remoto regional. -----	42
Figura 13 – Imagem em perspectiva do Cerro da Cria, exaltando seu alinhamento para NE. -----	43
Figura 14 – Mapa de todos os lineamentos regionais.-----	45

Figura 15 – Diagrama de roseta produzido com a frequência dos azimutes de todos os lineamentos regionais, com a indicação do vetor de direção médio. -----	45
Figura 16 – Mapa de todos os linemantos locais. -----	46
Figura 17 – Diagrama de roseta produzido com a frequência dos azimutes de todos os lineamentos locais, com a indicação do vetor de direção médio. -----	47
Figura 18 – Tipos de veios de quartzo leitoso que ocorrem no GCC: a) contato interdigitado e b) contato reto. -----	48
Figura 19 – Aspecto de campo do GCC. -----	48
Figura 20 – Cristais de magnetita do GCC. -----	49
Figura 21 – Individualização do GCC em três blocos estruturais. -----	50
Figura 22 – Área representativa do afloramento para análise estrutural. A linha vermelha representa a família 1, linha verde representa a família 2, linha laranja representa a família 3, linha azul representa a família 4, linha preta representa a família 5. Estas fraturas indicam as que mais representavam a área e que foram medidas. Caderneta de campo está orientada para o norte. -----	53
Figura 23 – Projeções estereográficas com grandes círculos das famílias de fraturas. A última, no canto inferior direito, apresenta a densidade de polos de todas as fraturas medidas. -----	54
Figura 24 – Gráfico da variação da densidade de fratura do GCC. -----	55
Figura 25 – Fratura com um movimento aparente que deformando um veio de quartzo leitoso. -----	57
Figura 26 – Projeção estereográfica dos σ , onde: seta vermelha representa σ_2 , seta verde o σ_3 e o σ_1 está na vertical, caracterizando uma deformação extensional. Canto superior direito: diedro P & T, onde o nodal marca uma movimentação lateral para NE. -----	59
Figura 27 – Projeção estereográfica dos σ , onde: seta vermelha representa σ_2 , seta azul o σ_1 e o σ_3 está na vertical, caracterizando uma transcorrência. Canto superior direito: diedro P & T, onde o nodal marca uma sutil transcorrência associada com extensão. -----	60

LISTA DE ABREVIATURAS

GCC – Granito Cerro da Cria
SIS – Suíte Intrusiva Saibro
SOB – Sistema Orogênico Brasileiro
ESrg – Escudo Sul-rio-grandense
SAL – Sequência Arroio Lajeado
SC – Sequência Campestre
PM – Província Mantiqueira
AMCS – Anomalia Magnética Caçapava do Sul
SFI – Sistema de Falha Irapuá
SFCV – Sistema de Falha Cerro da Vigia
LI – Lineamento Ibaré
ZF – zona de falha
SIG – sistema de informação geográfica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	16
2.1	GERAIS	16
2.2	ESPECÍFICOS	16
3	JUSTIFICATIVA	16
4	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	17
5	GEOLOGIA REGIONAL	19
5.1	ESCUDO SUL-RIO-GRANDENSE (ESRG)	19
5.2	DOMÍNIO OCIDENTAL E TERRENO SÃO GABRIEL	21
5.3	AS INTRUSÕES PÓS-COLISIONAIS	22
5.4	COMPLEXO BOSSOROCA (CB)	22
5.5	LINEAMENTOS REGIONAIS	23
6	GEOLOGIA LOCAL	24
6.1	GRANITO CERRO DA CRIA (GCC)	24
6.1.1	Petrografia do GCC	26
6.1.2	Geologia Estrutural do GCC	26
6.1.3	Geoquímica do GCC	26
6.2	ROCHAS ENCAIXANTES DO GCC	27
6.2.1	Sequência Arroio Lajeado (SAL)	27
6.2.2	Sequência Campestre (SC)	28
7	MATERIAIS E MÉTODOS	28
7.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
7.2	SENSORIAMENTO REMOTO	30
7.3	ESTADO DA ARTE: ANÁLISE ESTRUTURAL	31
8	RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
8.1	SENSORIAMENTO REMOTO	36
8.1.1	Modelo Digital de Elevação (MDE)	37
8.1.2	Base Cartográfica	38

8.1.3	Landsat	38
8.1.4	Google Earth	41
8.1.5	Lineamentos	43
8.2	ASPECTOS GEOLÓGICOS E ANÁLISE ESTRUTURAL	47
8.2.1	Descrição Litológica e Relações de Campo	47
8.2.2	Blocos Estruturais	49
8.2.3	Análise Estrutural do Granito Cerro da Cria	51
8.2.3.1	Análise descritiva	55
8.2.3.2	Análise cinemática	56
8.2.3.3	Análise dinâmica	58
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
9.1	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	61
	REFERÊNCIAS	63
	ANEXO	67

1 INTRODUÇÃO

Mineralizações de ouro ao sul do município de São Sepé foram descobertas por volta década de 70, do tipo filonianas, onde estas mineralizações são caracterizadas por estarem presentes em veios de quartzo com ouro e pequenas concentrações de óxidos de ferro, pirita e calcopirita. Possuindo uma direção NE e NW, além de estarem ocasionalmente concordantes e/ou discordantes com as rochas do Complexo Bossoroca (CB) (SOARES, 2001). As principais ocorrências de mineralizações auríferas na área são as minas: Bossoroca, Cerrito do Ouro e Passo da Juliana (CAMOZZATO *et al.*, 2014)

Em especial, na Mina Bossoroca o ouro foi explorado em depósitos elúvio-coluvionares e em veios de quartzo com teores de até 14 g/t de Au. Os veios tinham dimensões de 350 m de comprimento e 35 cm de largura máxima, com uma atitude de N30°E e mergulho 30° para SE. Já na Mina Cerrito do Ouro, as mineralizações auríferas estão hospedadas em veios de quartzo leitoso, alcançando um teor de 5,65 g/t e associações de pirita e calcopirita (CAMOZZATO *et al.*, 2014).

O Granito Cerro da Cria (GCC), objeto de estudo do presente trabalho, está na área que é compreendida pelo Terreno São Gabriel, uma compartimentação do Escudo Sul-rio-grandense (ESrg). Uma característica marcante do GCC é o lineamento regional que ele intrude, interpretado como uma zona de falha (ZF) transcorrente sinistral, de direção WSW-ENE (RIBEIRO *et al.*, 1966; NAIME, 1987; PORCHER *et al.*, 1995), lineamento este que possui o mesmo *trend* de algumas mineralizações do CB.

Descrito na literatura como sendo uma intrusão granítica pós-colisional alcalina, o GCC encaixa-se nos eventos magmáticos finais da evolução do orógeno. Estas últimas intrusões na orogênese se caracterizam principalmente por não estarem deformadas ou no máximo com uma foliação milonítica incipiente (NAIME, 1987). Contudo, a deformação mais nítida no GCC são as fraturas, devido ao plano de falha relacionado a zona transcorrente que o GCC se aloja. Devido a este caráter pós-colisional, o GCC está inserido dentro da Suíte Intrusiva Saibro (SIS) (GASTAL & LAFON, 1998).

Usando sensoriamento remoto e análise estrutural sobre o GCC, o presente trabalho elabora uma descrição sistemática de um modelo geológico que faça uma

correlação entre um controle estrutural da ZF que deforma o GCC (RIBEIRO *et al.*, 1966) e pode ter controlado a percolação de fluidos residuais magmáticos.

2 OBJETIVOS

2.1 Gerais

O presente trabalho tem como objetivo geral a caracterização da deformação dútil sofrida pelo Granito Cerro da Cria, caracterizando estas estruturas a partir de análise descritiva, cinemática e dinâmica.

2.2 Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Elaborar mapas temáticos para fins de sensoriamento remoto da área;
- Vetorizar lineamentos em escala regional e local;
- Desenvolver uma análise estrutural do GCC.

3 JUSTIFICATIVA

Já existem na literatura trabalhos elaborados sobre os granitos pós-colisionais do Escudo Sul-rio-grandense, mas poucos abordam de forma sistemática a questão da deformação dútil presentes nestas intrusões graníticas.

O objeto foco de trabalho, que será o Granito Cerro da Cria, se apresenta com características de intrusão a níveis epizonais. Nesta profundidade rasa, a deformação de natureza dútil é a que predomina. Tais estruturas podem condicionar a percolação dos fluidos magmáticos que sobraram da fase final de cristalização do granito e assim oportunizar reações hidrotermais na região, que são responsáveis pela presença de mineralizações auríferas.

O pleito do trabalho possui dimensões reais de ser executada, uma vez que há dados na bibliografia que corroboram para serem somados às interpretações. Dados de sensoriamento que serão utilizados são todos de domínio público. As execuções

do campo foram com equipamentos e transportes disponíveis na universidade. Em caso de inviabilidade de serem utilizados, houve recursos próprios sobressalentes.

4 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

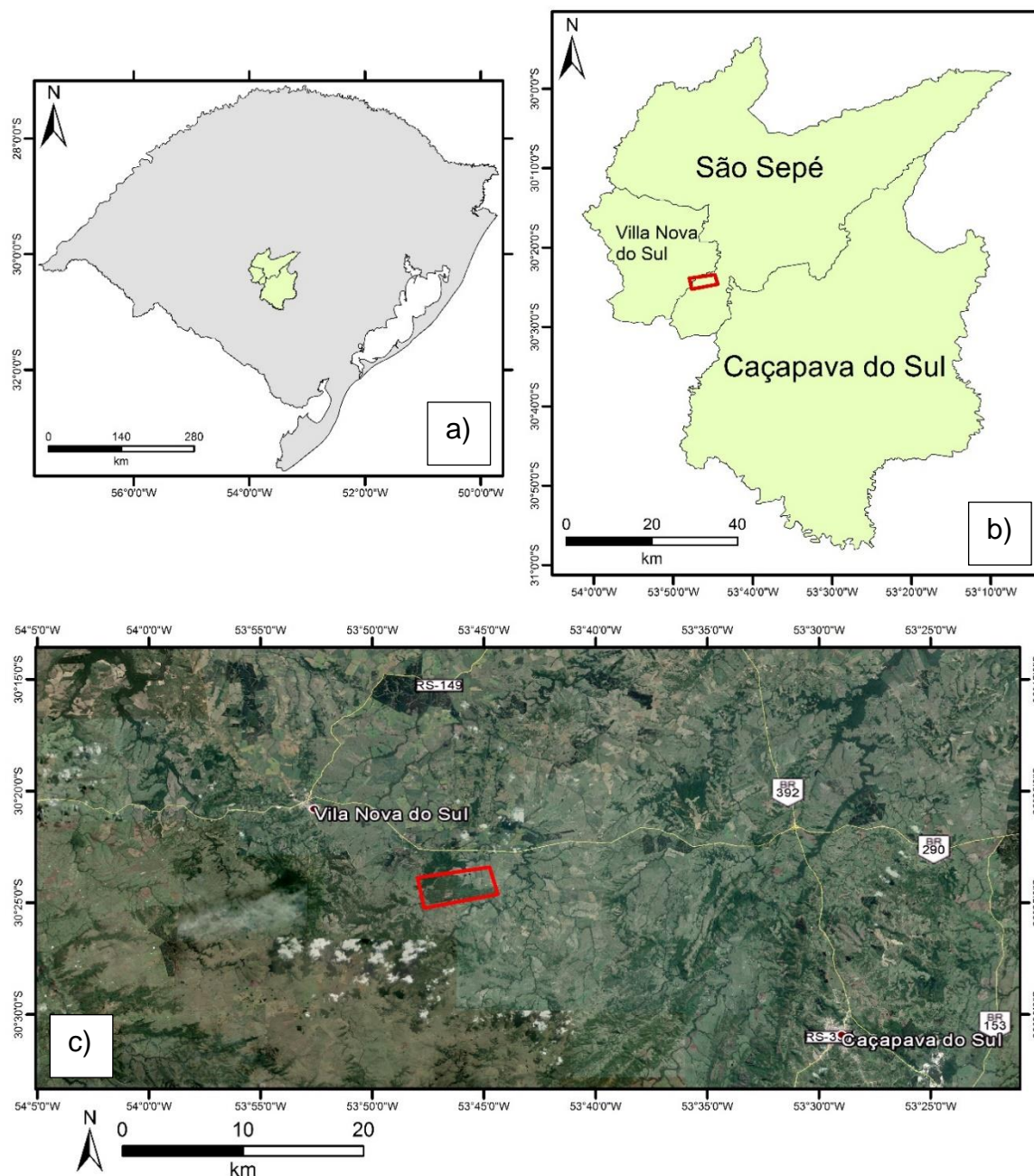
A área de estudo está delimitada pelas coordenadas 30°23'24.67"S/30°25'14.31"S e 53°44'45.38"O/53°47'40.37"O, nos municípios de Vila Nova do Sul e São Sepé (Figura 1). A área está distante 265 km da capital do estado, Porto Alegre.

O principal acesso à área é pelo trecho da BR 290 que liga a cidade de Vila Nova do Sul ao trevo com a BR 392, além de um trecho de estrada vicinal de 2,3 km.

Os principais aspectos fisiográficos na região da Bossoroca são caracterizados por uma altitude média de 170m acima do nível do mar, com relevo formado por coxilhas entrecortadas por cristas alongadas. Possui um clima temperado, com uma temperatura média de 17°C, com amplitudes térmicas entre verão e inverno entorno de 10°C, mas que pode atingir temperaturas inferiores a 10°C entre os meses de julho a agosto. Na região, a geomorfologia é controlada pelo tipo de litologia, pelos falhamentos e intemperismo, fatores estes que moldaram o relevo (SOARES, 2001).

A base da economia dos municípios de Vila Nova do Sul e São Sepé são atividades agropecuárias. Todavia, no subsolo destes municípios há registros de mineralizações de ouro, ferro, amianto, grafita, talco e carvão, mas ainda pouco explorados (SOARES, 2001).

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo, onde: a) mostra a localização dos municípios de Vila Nova do Sul, São Sepé e Caçapava do Sul, dentro do estado do Rio Grande do Sul; b) o polígono em vermelho é o perímetro da área de estudo, localizado nos municípios de Vila Nova do Sul e São Sepé; c) localização da área de estudo entre a cidade de Vila Nova do Sul e o trevo entre a BR 290 com a BR 392.



Fonte: a) e b) modificados de Hasenak & Weber (2010). c) modificado de Google Earth (2016).

5 Geologia Regional

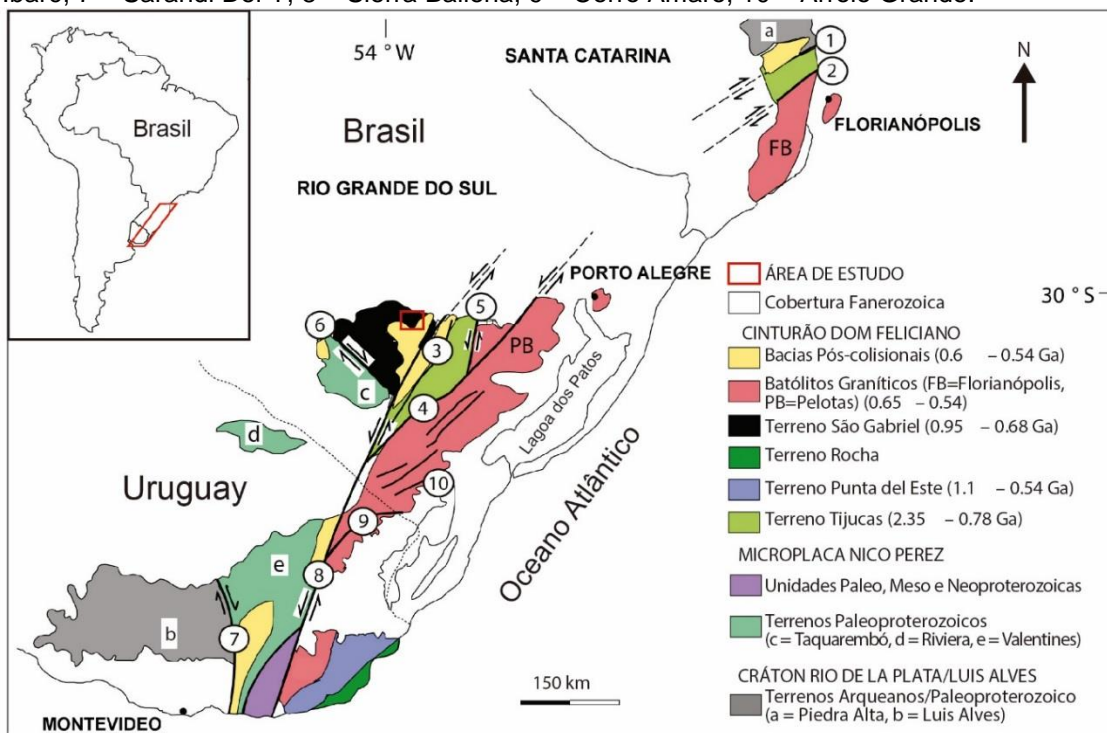
5.1 Escudo Sul-rio-grandense (ESrg)

A denominação Escudo Sul-rio-grandense (ESrg) (CARVALHO, 1932) provém das quatro Províncias Geológico-Geomorfológicas que constituem o estado do Rio Grande do Sul, que são: Depressão Central, Planalto Meridional, Planície Costeira e o ESrg. O ESrg é a província mais antiga.

A maior parte do ESrg constitui-se do seguimento meridional da Província Mantiqueira (PM), área de domínio geotectônico caracterizada como uma faixa móvel da Plataforma Sul-americana. A PM decorre de distintos eventos orogênicos e se estende desde o sul da Bahia, margeando toda a região sudeste e sul, até o extremo sul do Rio Grande do Sul e leste do Uruguai. Parte do ESrg é composta pelo Cinturão Dom Feliciano, que constitui-se pelos orógenos: Passinho (0,89 – 0,86 Ga), São Gabriel (0,77 – 0,68 Ga) e Dom Feliciano (0,65 – 0,54 Ga) (ALMEIDA *et al.*, 1977; HEILBRON *et al.*, 2004; PHILIPP *et al.*, 2016).

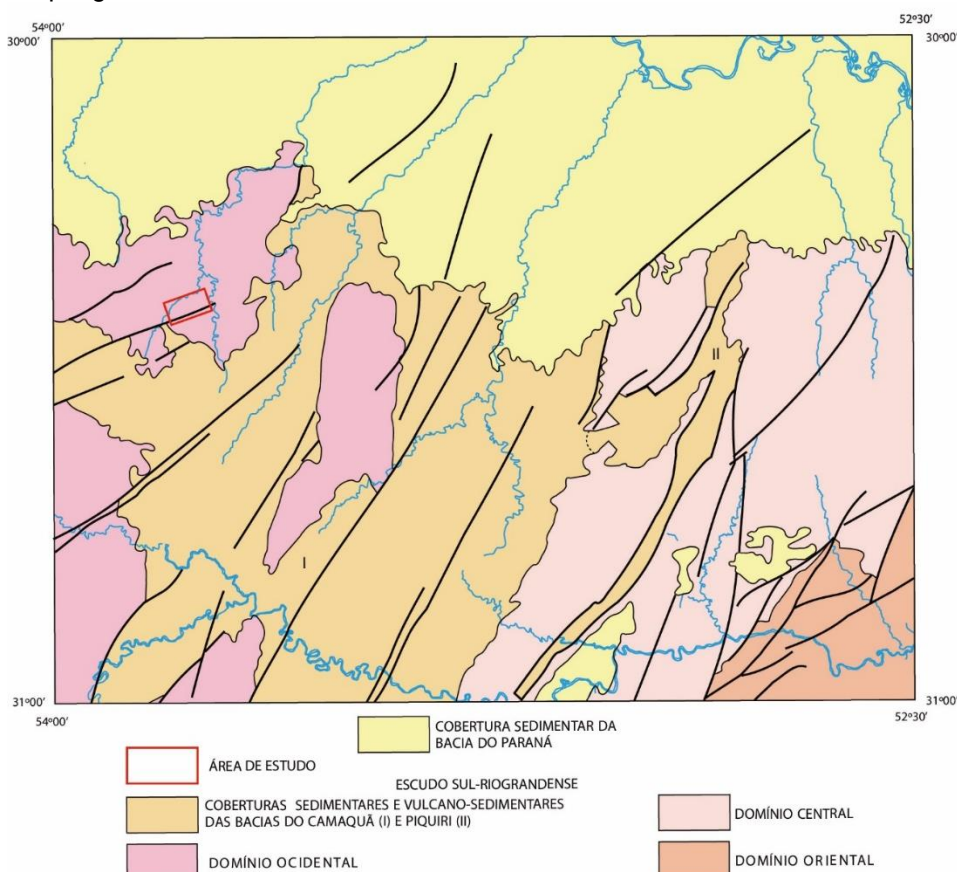
As unidades geológicas que constituem o ESrg são discriminadas como: Terreno São Gabriel, Terreno Taquarembó (representante do Cráton Rio de La Plata), Terreno Tijucas e Batólito Pelotas (HARTMANN *et al.*, 2007), como localizado na Figura 2, juntos de seus correlatos no Uruguai e em Santa Catarina. Há também a divisão do ESrg em três grandes domínios estruturais: Domínio Ocidental, Domínio Central e Domínio Oriental. Esta divisão considera a complexa associação petrotectônica que ocorre em cada domínio e pelos lineamentos regionais que segmentam o escudo (Figura 3) (PORCHER *et al.*, 2000).

Figura 2 – Domínios Geotectônicos do ESrg com as principais Zonas de Cisalhamento: 1 – Itajaí-Perimbó, 2 – Major Gercino, 3 – Santana da Boa Vista, 4 – Dorsal de Canguçu, 5 – Passo do Marinheiro, 6 – Ibaré, 7 – Sarandi Del Y, 8 – Sierra Ballena, 9 – Cerro Amaro, 10 – Arroio Grande.



Fonte: modificado de Philipp *et al.*, (2016).

Figura 3 – Mapa com os Domínios Ocidental, Central e Oriental, além da Bacia do Camaquã e Bacia do Paraná. O polígono vermelho é a área de estudo.



Fonte: modificado de CPRM (2000).

A construção do ESrg provém de dois antigos ciclos tectônicos: o Ciclo Transamazônico (2,26-2,00 Ga) e posteriormente o Ciclo Brasileiro (900-535 Ma) (HARTMANN *et al.*, 2007). Como discriminado por Heilbron *et al.* (2004), os orógenos podem ser colisionais ou acrescionários, onde o orógeno São Gabriel é um nítido orógeno acrescionário formado ao longo dos Sistemas Orogênicos Brasileiros (SOB), empregados por Bizzi *et al.* (2003) dentro da PM. Os SOB são divididos em três outros sistemas, de forma que o critério de separação é quanto à idade do clímax de extrusão exposta no registro geológico. O ESrg tem o principal representante do SOB I que é o orógeno São Gabriel (BIZZI *et al.*, 2003).

5.2 Domínio Ocidental e Terreno São Gabriel

O Domínio Ocidental é uma porção do Cinturão Dom Feliciano, sendo delimitado a leste com o Domínio Central pelo lineamento da Anomalia Magnética de Caçapava do Sul, de direção NE-SW. Este lineamento perturba as rochas vulcânicas e sedimentares da Bacia do Camaquã, que encobrem parcialmente as rochas do Domínio Ocidental. Já a norte e noroeste, é encoberto pelas rochas sedimentares da Bacia do Paraná. A sudoeste, o contato com o Cráton Rio de La Plata (representado pelo Terreno Taquarembó) se dá pelo lineamento Ibaré. O Domínio Ocidental é composto pelas rochas do Complexo Cambaí, do Complexo Metamórfico Básico-Ultrabásico e da Sequência Metamórfica Vacacaí (sendo empregado neste trabalho como Complexo Bossoroca, segundo Koppe, 1990) e Corpos Básicos-Ultrabásicos Estratiformes, com presença também de plutônicas intrusivas representadas por granitoides sin, tardi, tardi a pós e pós-colisionais (PORCHER *et al.*, 2000).

Interpretado como um prisma acrescionário gerado ao longo do Neoproterozoico, o Terreno São Gabriel é um domínio geotectônico a oeste do ESrg, possuindo uma associação de rochas característica de margem passiva, ofiolitos, arcos magmáticos vulcano-sedimentares e corpos plutônicos. Esta associação de rochas que estão presentes é decorrente do Orógeno São Gabriel, que ali se desenvolveu durante o Neoproterozoico como um arco magmático continental que possuía como anteparo o Cráton Rio de La Plata (HARTMANN *et al.*, 2007).

O Terreno São Gabriel possui os mesmos divisores que o Domínio Ocidental descrito anteriormente (PORCHER *et al.*, 2000) e os corpos de rochas intrusivas

graníticas de característica pós-colisional estão agrupados dentro da SIS (GASTAL & LAFON, 1998). Já as rochas metassedimentares e a seção do ofiolito estão agrupadas como o CB e Sequência Arroio Lajeado (SAL) (KOPPE *et al.*, 1985).

5.3 As intrusões Pós-Colisionais

A Suíte Intrusiva Saibro (SIS) está no oeste do ESrg e recebe esse nome graças ao Granito Saibro, de composição alcalina que aflora na região do Terreno São Gabriel (NARDI & BONIN, 1991). Mas foi só com o trabalho de Gastal (1997) que se abrangeu o termo SIS para os granitoides de característica pós-colisional da porção oeste do escudo. As intrusões graníticas da parte oeste têm associação magmática cronocorrelatas as do leste e exibem maior diversidade composicional, onde há granitos cálcio-alcálicos alto K e rochas vulcânicas e plutônicas de afinidade shoshonítica e alcalina (GASTAL & LAFON, 1998).

O GCC está inserido dentro da granitogênese da SIS, assim como o Granito Saibro, e possui uma diferença dos granitos metaluminosos *strictu sensu* por ser mais diferenciado, o que é demonstrado pelos valores baixos da fase máfica (GASTAL & LAFON, 1998).

5.4 Complexo Bossoroca (CB)

Koppe (1990) caracteriza de forma litoquímica as rochas da região do CB em Sequência Campestre (SC) onde, junto com a Formação Cerro do Ouro são denominadas de Cinturão Bossoroca (HARTMANN & REMUS, 2000; SOARES, 2001). A outra unidade que compõe o CB é a Sequência Arroio Lajeado (SAL), que está inserida no Complexo Metamórfico Básico-Ultrabásico (PORCHER *et al.*, 1995; SOARES, 2001).

As rochas metamórficas do CB apresentam concordância deformacional com o Complexo Cambaí a leste e discordantes com as intrusões graníticas (sendo o GCC uma destas). O metamorfismo é de baixo grau e aumenta no sentido oeste até o contato com o Complexo Cambaí, com uma foliação metamórfica que apresenta direção noroeste. Demonstrem característica polideformacionais evidenciadas pela transposição e crenulação da foliação (KOPPE *et al.*, 1985).

No trabalho de Soares (2001), embasado por Koppe (1990), é sintetizado que no CB é observado duas fases de deformação:

- A primeira apresenta formação de lineações minerais, dobras isoclinais e em bainha, falhas de empurrão e de deslocamento, além de falhas normais com direção NW-SW. Atribui-se a esta fase um regime dúctil;
- Já na segunda fase, há geração de falhas inversas, crenulação e clivagem de crenulação. Atribui-se a esta um regime dúctil-rúptil.

Koppe (1990) ainda descreve falhamentos de direção NNE-SSW, gerados em sistema rúptil, que deformaram todo o CB.

5.5 Lineamentos Regionais

Como elucidado por Ribeiro *et al.* (1966), as falhas de escala regional da Quadrícula de Caçapava do Sul (porção oeste do ESrg) podem ser agrupadas em dois grandes grupos principais: Sistema de Falhas Irapuá (SFI) e Sistema de Falhas Cerro da Vigia (SFCV).

O SFI engloba os grandes falhamentos de direção nordeste-sudoeste, além das falhas de tensão consequentes. Os falhamentos do SFI tendem a atingir centenas de quilômetros e com largura que variam de centenas de metros a alguns quilômetros. O SFI tem uma grande contribuição para intrusões magmáticas e controle de mineralizações cupríferas (RIBEIRO *et al.*, 1966). O SFI é marcado na Figura 4 pela Anomalia Magnética de Caçapava do Sul (AMCS).

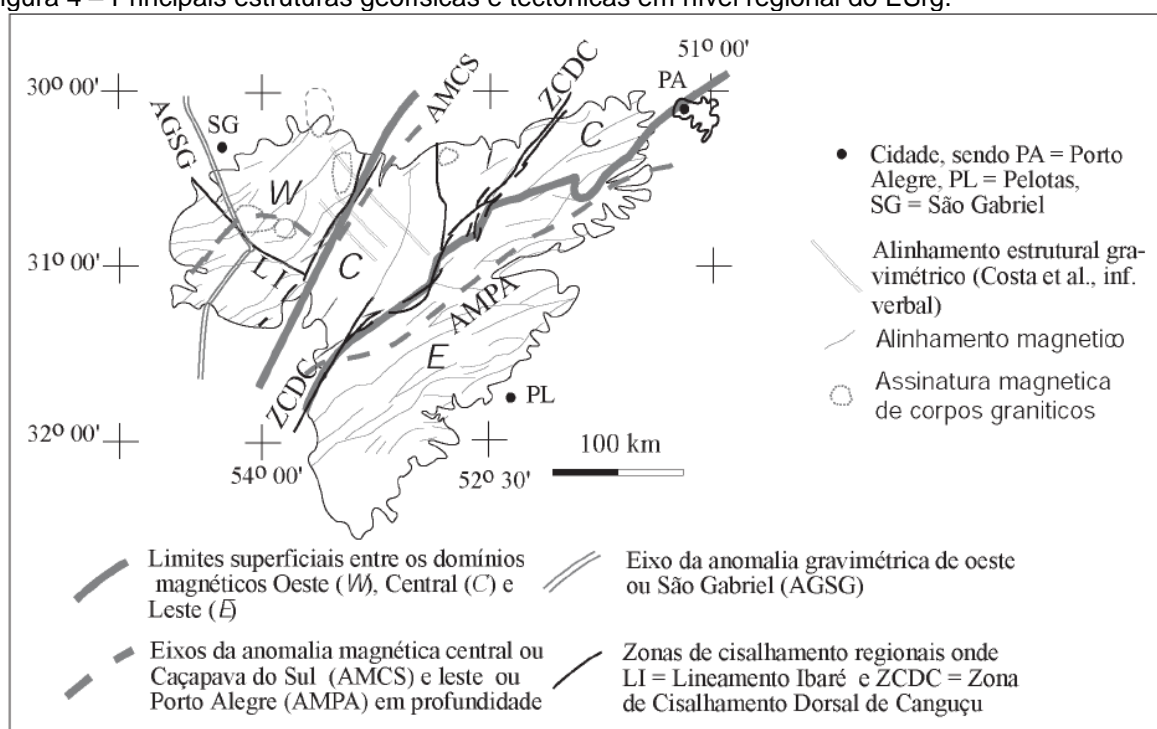
O SFCV é composto por falhamentos de direção preferencial noroeste, as quais se concentram na metade leste da Quadrícula Caçapava do Sul. A natureza dos falhamentos são tipicamente tensionais, sem grande amplitude de rochas perturbadas, e na maioria são definidas por simples planos de falhas com um rejeito comumente no sentido vertical. As fraturas proporcionam o controle de intrusões de diques de diabásio (RIBEIRO *et al.*, 1966). Já o SFCV é marcado na Figura 4 pela Anomalia Gravimétrica São Gabriel (AGSG).

Costa (1997, *apud* TRAVASSOS, 2014) aborda os lineamentos do ESrg com ferramentas geofísicas. Desta maneira, divide o escudo em três domínios geofísicos distintos: Domínio Leste, Domínio Central e Domínio Oeste. Cada domínio é composto

por suas respectivas estruturas profundas, que são marcadas por anomalias geofísicas, principalmente magnéticas e gravimétricas.

A área de estudo do GCC está localizada dentro do Domínio Oeste e está entre o AGSG e a AMCS, como demonstrado na Figura 4.

Figura 4 – Principais estruturas geofísicas e tectônicas em nível regional do ESrg.



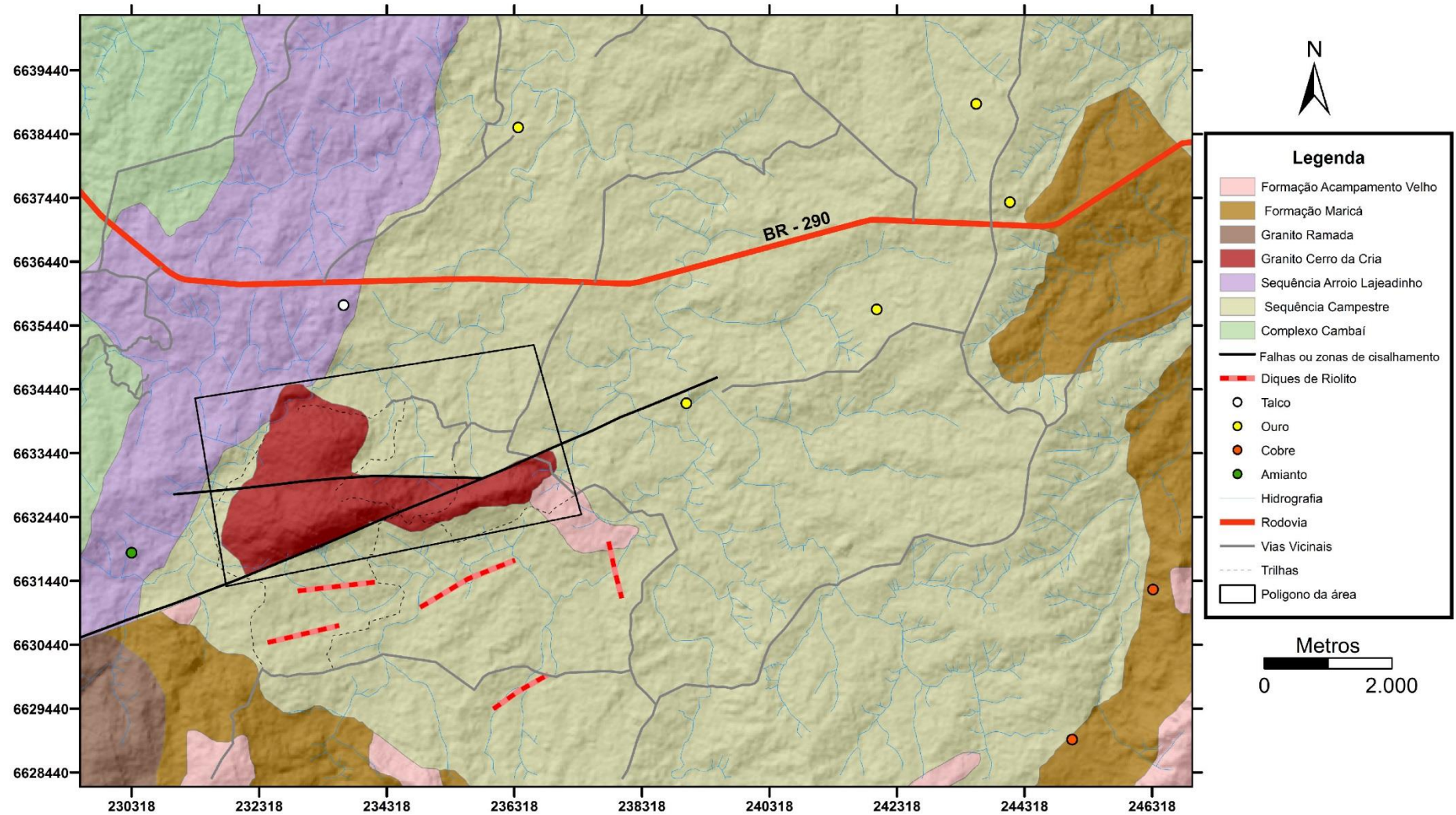
Fonte: retirado de Hartmann *et al.* (2007).

6 Geologia Local

6.1 Granito Cerro da Cria (GCC)

Como é observado por imagens de satélite e trabalhos de mapeamento e petrologia anteriores, o GCC é classificado como um álcali-feldspato granito pela classificação de Streckeisen (1973), possuindo uma forma alongada e intrudindo rochas metamórficas do CB, ficando em contato na sua porção mais NW com a Sequência Arroio Lajeado (SAL). A leste, uma porção pequena faz contato com as rochas vulcânicas da Formação Hilário, que fazem parte da Bacia do Camaquã. Todo o restante do contato circundante é compreendido pela Sequência Campestre (SC), como visualizado na Figura 5.

Figura 5 – Mapa geológico da área de estudo e redondezas.



Fonte: mapa geológico modificado de CPRM (2000); hidrografia, estradas e trilhas retirados do Google Earth (2014); mapa de relevo sombreado (azimute 320° e inclinação 35°) modificado do Earth Explorer (2014).

6.1.1 Petrografia do GCC

O GCC tem como principal fácies petrográfica o feldspato alcalino granito, sendo que de forma mais errática ocorre uma fácies sienogranítica devido à ocorrência de albita. A cor predominante é um vermelho claro (Rock Color Chart 5 R 6/6), exibindo uma textura equigranular hipidiomórfica, constituído por feldspato alcalino pertítico, quartzo, minerais opacos e biotita, sendo raramente visto albita. Os feldspatos alcalinos se encontram sempre pertitizados e como esta feição atinge em geral 40% a 45% dos cristais, é coerente que se denomine essa fácies de feldspato alcalino pertítico. Já os tamanhos dos feldspatos estão entre 0,6mm a 2,5mm, com um hábito ligeiramente prismático. As pertitas são do tipo “rods” (MOORHOUSE, 1959, *apud* NAIME, 1987) e possuem um tamanho entre 0,08 mm a 0,15 mm. Os feldspatos alcalinos têm porções com intensa argilização (NAIME, 1987).

O quartzo está como cristais subédricos hexagonais e equidimensionais, com tamanhos entre 0,5 mm a 1,5 mm. Os eventos cataclásticos deram aos cristais de quartzo uma marcada característica de recristalização, além de texturas gráficas. Perfazem entre 35% a 52% da composição mineral (NAIME, 1987).

6.1.2 Geologia Estrutural do GCC

O GCC tem como principal característica a ZF levógira (sinistral) que o secciona com uma direção principal ENE-WSW. É plausível que essa falha teve eventos de reativação ao longo da consolidação da intrusão, pois em algumas porções é possível identificar feições localizadas de milonitização. Todavia, a feição tectônica mais presente é cataclástica, com crescimento da feição em direção à falha e preenchimento por quartzo, proporcionando ao GCC locais de textura “*ribbon*” próxima às áreas mais deformadas (NAIME 1987).

6.1.3 Geoquímica do GCC

Fazendo uma análise geoquímica sistemática dos elementos maiores e traços, Naime (1987) caracteriza o GCC como sendo um granito *hypersolvus*, de alta sílica, alcalino e metaluminoso. O autor ainda complementa caracterizando o GCC como

diferenciado por mecanismos de termodifusão gravitacional decorrente da cristalização fracionada.

6.2 Rochas Encaixantes do GCC

O GCC está circundado preponderantemente pelas rochas metamórficas do CB. Estas rochas que circundam são separadas em Sequência Campestre e Sequência Arroio Lajeado, como visto na Figura 5.

6.2.1 Sequência Arroio Lajeado (SAL)

A SAL é constituída por xistos magnesianos, serpentinitos, metabasaltos, metagabros, metacherts, formações ferríferas bandadas, metatufos e metassedimentares. Espacialmente, a SAL faz divisa a oeste com o Complexo Cambaí através de um falhamento transcorrente com movimento dextral e, a leste com a Sequência Campestre (SC) também por um falhamento transcorrente dextral. Já para noroeste, faz divisa com o Gabro Mata Grande. Para norte, a SAL está encoberta pelas rochas sedimentares da Bacia do Paraná. No sul, faz limite com o Granito Ramada e a sudeste com o GCC (SOARES 2001).

Soares (2001) distingue as rochas da SAL em três grupos:

- Rochas ultramáficas: constituídas em sua maior parte pelos xistos magnesianos que circundam corpos alongados de serpentinitos. Os xistos magnesianos se apresentam com intercalações composicionais que podem ser descritos por litotipos como talco tremolita xisto, talcoxisto, tremolititos, clorititos e clorita carbonato xisto. A mineralogia principal é tremolita, clinocloro, talco, antofilita, cumingtonita, carbonatos, olivina, serpentina, espinélio, magnetita, rutilo, ilmenita e menos presente quartzo, plagioclásio e epidoto;
- Rochas básicas: formado por metavulcanoclásticas, metabasitos, actinolita xisto, anfibolitos e metagabros. Estas rochas afloram com variadas espessuras;
- Rochas químicas: estas rochas que se formam por precipitação química, sendo constituídas por metacherts, formações ferríferas bandadas e um

intermediário denominado de metacherts ferruginosos. A ocorrência destas rochas envolve lentes e camadas de espessura variada, textura isótropa e bandada, mineralogicamente formadas por quartzo e opacos (magnetita, hematita, pirita, arsenopirita e calcopirita), além de possuir localmente ocorrências de partículas de ouro.

6.2.2 Sequência Campestre (SC)

A SC é onde estão localizadas as principais ocorrências auríferas na região, somando seis ao todo, todas encaixadas em metatufos. Espacialmente, a SC faz contato ao norte com o Granito São Sepé, no sul com o Granito Ramada e o GCC e a oeste com a SAL. Na porção leste faz contato com a Formação Acampamento Velho da Bacia do Camaquã.

Soares (2001) distingue as rochas da SC em três grupos petrológicos:

- Rochas vulcanoclásticas: as principais litologias são representadas por metatufos finos a grossos, a cristais e lapilíticos, metaconglomerados, metacherts e metavulcânicas. Naturalmente esta variabilidade de rochas é produto de ciclos vulcânicos, que geraram espessos depósitos piroclásticos decorrentes de fluxo de cinzas, púmices, lavas e depósitos relacionados a processos que fazem surgir material ejetado nos vulcanismos;
- Rochas epiclásticas: associado a litologias metavulcanoclásticas. São constituídas por metarenitos, metargilitos e metaconglomerados;
- Rochas sedimentares químicas: comparativamente com as rochas de mesma característica da SAL, estas estão em menor proporção na SC, mas também apresentam metacherts, formações ferríferas e metacherts ferruginosos, além de estarem alternadas com metatufos finos. Lâminas de ouro com até 1 mm de comprimento ocorrem em afloramentos próximos a Mina Bossoroça.

7 MATERIAIS E MÉTODOS

Na construção do presente trabalho foi elaborada análise estrutural focada na deformação dútil presente no GCC. Para isso, foi utilizado:

- Levantamento de dados presentes na bibliografia;
- Análise de dados de sensoriamento remoto e tratamento estatístico dos lineamentos inferidos no ArcGIS™ e *Google Earth*;
- Coleta de dados estruturais e geológicos em campo;
- Processamento e análise no *Openstereo*, seguido de interpretação dos tensores no *Win-Tensor*.

7.1 Revisão Bibliográfica

O primeiro trabalho que deu olhar sobre a existência de intrusões graníticas na porção oeste do Escudo Sul-rio-grandense (ESrg) foi o de Carvalho (1932), utilizando critérios descritivos e sistemáticos de caracterização e mapeamento geológico, seguido por Leinz *et al.* (1941) e Ribeiro *et al.* (1966), que mapearam em maior detalhe a região do entorno de Caçapava do Sul e Lavras do Sul. Como exemplificado por Soliani (1986), a região de estudo é compreendida de 40% a 50% por granitoides, onde os melhores expoentes são: São Sepé, Ramada, Caçapava do Sul, Lavras do Sul e Santo Afonso, além de corpos menores como o Cerro da Cria, Santa Rita, Jaguari e Saibro.

Graças a Naime (1987) que um estudo geológico, estrutural, e principalmente petrológico, geoquímico e geocronológico foi feito sobre o Granito Cerro da Cria (GCC) e o Granito Ramada (GR), ambos correlacionados entre si, mas distintos quanto à idade. O GCC possui $563,7 \pm 4,3$ Ma, idade determinada através de razões Rb/Sr (NAIME 1987) e o GR tem 558 ± 2 Ma, idade obtida através de LA ICP-MS em zircões (MATTÉ *et al.*, em prep.).

A intrusão do GCC está encaixada em rochas metamórficas do Complexo Bossoroca (CB), que afloram a leste de Vila Nova do Sul e a sul de São Sepé. As rochas ali aflorantes são metavulcânicas de composição andesítica associadas a metatufos, metaepiclásticas e metabasaltos almofadados, metamorfizadas na fácies xisto verde de forma geral, atingindo a fácies anfíbolito em pontos específicos (RIBEIRO *et al.*, 1966).

Uma das características principais do GCC é a ZF que ele intrude, dentro do ESrg. Este lineamento pode ser visto em imagens de satélite e divide a movimentação dos blocos que compõe o Granito Cerro da Cria. Pode-se dividi-lo em três blocos, onde o

movimento relativo é correspondente a uma falha levógira (sinistral) e a deformação é de característica puramente cataclástica (NAIME 1987).

A mesma estrutura tectônica rúptil que está presente na região e que afeta o GCC se estende além dos limites deste. O lineamento avança em direção ao GR a sudoeste, deformando-o também, mas de maneira menos cataclástica e mais dúctil. Já para a direção nordeste, o lineamento estende-se para o domínio das rochas metavulcânicas do CB (NAIME, 1987), fraturando estas rochas e assim possibilitando a percolação de fluidos hidrotermais que podem condicionar a concentração de metais.

Estas estruturas tectônicas e lineamentos mencionados anteriormente entre outros que compõe o ESrg foram mapeados e caracterizados em escalas regionais, pelos trabalhos de Ribeiro *et al.* (1966), Porcher *et al.* (1995) e Porcher *et al.* (2000).

Koppe (1990), em seu doutorado, conseguiu elucidar com estudos geológicos de forma sistemática as mineralizações a sul de São Sepé, nos arredores da Mina Bossoroça. Mas foi só com Koppe *et al.* (1985) que o termo Complexo Bossoroça foi implantado para o cinturão de rochas metamórficas que afloram na porção do entorno do GCC.

Outros trabalhos visando prospecção mineral foram feitos na região do CB, mas o presente trabalho se focou na revisão e contribuição de Soares (2001) que, com as campanhas de levantamento aerogeofísico sobre o ESrg, conseguiu identificar em escala regional anomalias magnéticas e gamaespectrométricas. Desta forma, conseguiram levantar indícios para novas campanhas de prospecção mais localizadas.

O presente trabalho se contribuiu do trabalho de Soares (2001) para melhor compreensão das estruturas deformacionais rúpteis sofrida pelo GCC para assim, de forma contínua, fomentar os estudos sobre a evolução da deformação e como isto pode ter influenciado as mineralizações na região.

7.2 Sensoriamento Remoto

Dados gerados por sensoriamento remoto colaboram para informações preliminares sobre uma determinada área de estudo. Os dados podem ser trabalhados de forma analógica, através de fotos aéreas e cartas topográficas, ou

digitais, como imagens Landsats, imagens do *Google Earth*, *Shuttle Radar Topography Mission* (Missão Topográfica Radar Shuttle - SRTM) e base cartográfica.

Somando os dados de sensoriamento remoto em etapas pré-campo, colabora-se para um vislumbre do que se espera encontrar na região quanto à geomorfologia e reconhecimento das estruturas regionais e locais (lineamentos). Já na parte pós-campo, soma-se os dados de sensoriamento remoto para ligar os dados obtidos em campo com suas correlações regionais. Além de tratar estatisticamente no Openstereo os lineamentos inferidos no sensoriamento remoto.

Para o trabalho foi utilizado o ArcGIS™, *software* de plataforma SIG para processamento e interpretação dos dados de sensoriamento remoto.

7.3 Estado da Arte: Análise Estrutural

O trabalho vai contribuir com uma análise estrutural do regime rúptil sobre o GCC, com maior detalhe do que já existe na bibliografia atual. Para isto, será utilizado os conceitos metodológicos abordados por Van der Pluijijm & Marshak (2004):

- Análise descritiva: consiste na elaboração de uma descrição sistemática que transmita de forma lúcida a orientação espacial de uma estrutura geológica, possibilitando que qualquer outro geólogo consiga conceber forma e aparência do corpo geológico ou estrutura;
- Análise cinemática: consiste em precisar os locais onde houve deslocamento de um corpo geológico, ou parte dele, durante a transformação do estado inicial de não deformado para um posterior deformado;
- Análise dinâmica: consiste na compreensão do *stress* e o vínculo com a deformação, relacionando com mecanismos que afetam o planeta e que possibilite tal deformação. Também consiste em utilizar técnicas interpretativas para a investigação do estado de tensão, evidenciado por estruturas específicas na rocha.

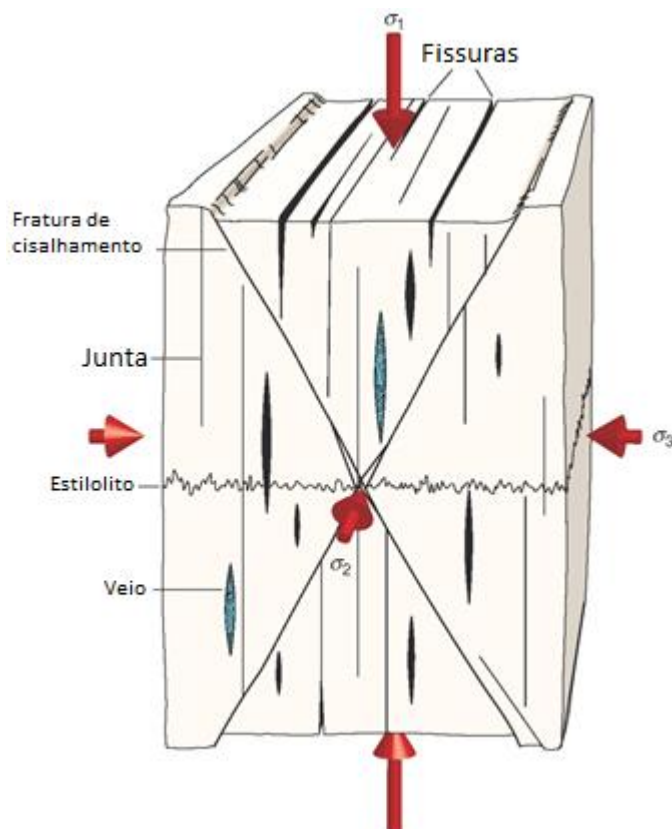
As descrições das falhas serão obtidas através da direção geográfica azimutal do mergulho com a horizontal. Estas medidas serão tomadas utilizando-se do método *Dip Direction*.

Tendo-se a atitude da falha, investiga se estas possuem espelhos de falhas (*slickenside*) com estrias de movimentação, que dirão qual é a direção real do movimento entre os blocos (corpos de rocha) e se possuem degraus que comprovam o sentido de cada bloco (FOSSEN, 2012; VAN DER PLUIJIM & MARSHAK, 2004).

As fraturas e juntas são a manifestação de um regime deformacional rúptil ou no máximo rúptil-dúctil. Estas estruturas se diferem, respectivamente, pelo fato que em uma há movimentação e na outra não. Juntas podem ocorrer de inúmeras maneiras além dos processos tectônicos, desde resfriamento a intemperismo. Fraturas comumente estão associadas com esforços tectônicos de magnitudes superior. Fraturas menores sempre estão condicionadas a falhamentos regionais ou até continentais. Como ilustrado na Figura 6, Fossen (2012) distingue as fraturas :

- Fraturas de cisalhamento: onde há aumento da pressão atingindo o ponto de ruptura na evolução da deformação. Em um corpo que no início respondia mecanicamente como um, agora está cisalhado e cada parte terá comportamento próprio;
- Fraturas extensionais (fissuras): ocorrem quando há alívio de pressão sobre o bloco. Também é consequência da evolução da deformação alcançar o ponto de ruptura. Este tipo de falha está comumente relacionado à formação de veios e diques, pois o alívio de pressão colabora.
- Fraturas de compressão: há aumento da pressão, mas não gera cisalhamento, o que comumente ocorre é a dissolução por pressão dos minerais e cristalização de estilólitos.

Figura 6 – Bloco diagrama discriminando fraturas, juntas, veios, fissuras e fraturas compressivas (estilolito).

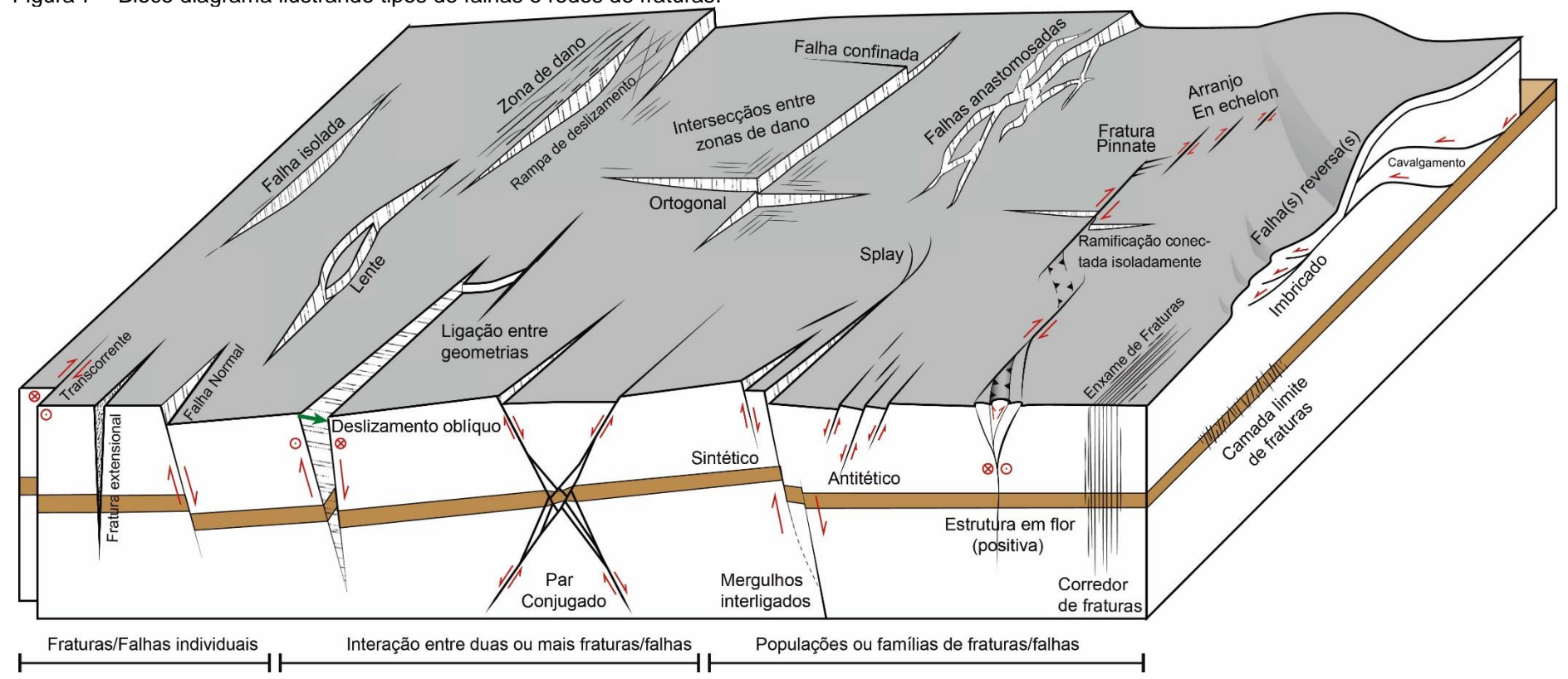


Fonte: modificado de Fossen (2012).

Até uma profundidade de 10 km na crosta, as rochas sofrem principalmente deformação rúptil, possibilitando o desenvolvimento de uma variedade de estruturas geológicas (FOSSEN, 2012) (Figura 7).

Uma única falha não pode ser utilizada como critério para análises. Todavia, um conjunto ou família de falhas podem ser usadas para criar um modelo deformacional que se encaixe em um regime de *stress* coerente a um modelo de evento tectônico, evento este que pode ser dividido em: compressivo, extensivo ou transcorrente. Estes regimes de *stress* ainda podem remeter, respectivamente, a ambientes tectônicos: colisionais, divergentes e transformantes (onde este pode ainda ser transtrativo ou transpressivo). O diagnóstico do regime de *stress* rúptil está intimamente ligado ao movimento pelo plano de falha (FOSSEN, 2012; VAN DER PLUIJIM & MARSHAK, 2004), como ilustrado na Figura 7.

Figura 7 – Bloco diagrama ilustrando tipos de falhas e redes de fraturas.



Fonte: modificado de Peacock (2016).

No bloco diagrama anterior (Figura 7), é ilustrado os aspectos e geometrias dos planos de fraturas ou falhas, onde há uma variação de interação correlacionado a quantidade de fraturas que venham a envolver-se. Falhas individualizadas podem criar lentes, que são fragmentos da rocha deformada que ficam englobadas dentro da zona de falha. Já a zona de dano ou rampa de deslizamento são uma porção onde a tensão na rocha cria uma deformação que não se restringe somente ao plano da falha, deformando toda uma porção da rocha.

Nas interações de mais de uma falha (Figura 7), Peacock *et al.*, (2016) exemplificam a interação entre distintas zonas de dano, que consiste na intersecção entre distintas deformações relacionadas a respectivas falhas. A falha ortogonal é uma intersecção entre duas falhas que possuem um ângulo de 90° entre elas. Falha confinada é decorrente do truncamento de um plano de falha por outra superfície, que não necessariamente precisa ser o desenvolvimento de movimento entre falhas. As falhas com deslizamento oblíquo são decorrentes de um movimento diferencial no plano de falha, onde um bloco sofre rotação em relação ao outro. Ligação entre geometrias podem ser interpretadas como fraturas ou falhas de transferência de tensão, onde o desenvolvimento de uma falha recente atinge uma região que já possuía falhas antigas, e o esforço cria fraturas que ligam estas distintas falhas. O par conjugado é o produto de duas fraturas que se intersectam, mas são decorrentes do mesmo esforço de tensão, este tipo de interação de falha é fundamental para compreensão da direção e sentido do esforço.

Quando famílias de fraturas se intersectam (Figura 7) cria-se uma volumosa variação de interações, como Peacock *et al.*, (2016) exemplifica que as falhas em *splay* que ocorrem quando uma ou mais falhas se conectam a uma falha maior, a qual estão relacionadas, isto cria um aspecto de afunilamento das falhas ou fraturas menores de encontro a falha maior. Nas estruturas em flor podem ser separadas quanto a geometria em dois tipos: positiva (gerando falhas compressivas) e negativa (gerando falhas extensionais). As estruturas em flor são controladas por um plano de falha principal, onde o movimento é transcorrente, todavia, as sinuosidades ao longo do plano principal podem acarretar localmente áreas com componentes compressivas ou extensivas. Geometricamente define-se falhas cavalgantes quando o maciço rochoso deforma-se acompanhando a continuidade da falha. O termo cavalgante faz alusão aos fios da calda de um cavalo, pois de maneira semelhante, as falhas cavalgamento tem flexuras ao longo do prolongamento, causando em alguns casos,

dobras de propagação de falha na rocha, que é uma deformação que não se limita ao plano de falha.

Ainda sobre os tipos de interação de famílias de fraturas, Peacock *et al.*, (2016) demonstra as fraturas em *Pinnate* que se formam próximas as extremidades de fraturas de cisalhamento. As imbricações são um arranjo de falhas que se deslocam em uma falha comum, mas que não se encontram novamente para formar um duplex. Falhas anastomosadas são falhas que formam canais que se encontram e recombinaem em diversos pontos. O arranjo *En echelon* são elementos estruturais relativamente curtos sobrepostos ou subjacentes de falhas ou dobras que são aproximadamente paralelas entre si, mas oblíquas ao plano que ocorrem. Um corredor de fratura ou exame de fraturas, são nomes que diferem de como se observa o aglomerado de fraturas paralelas e com pouco espaçamento entre si. Por fim, a falha reversa tem uma inclinação superior a 30° e o teto estar deslocado para cima em relação ao muro.

O desenvolvimento de uma falha também pode gerar um processo de desfragmentação (abrasão) de rochas ou, eventualmente, formação de novas rochas. Denominadas de brecha de falha quando o material cominuído da rocha cisalhada está inconsolidado e cataclasito quando o material que preteritamente foi esfoliado da rocha sofre algum processo de litificação e volta a formar uma nova rocha com feições próprias e novas (FOSEN, 2012).

8 RESULTADOS E DISCUSSÕES

8.1 Sensoriamento Remoto

Chiang (1984) usa a definição clássica para sensoriamento remoto, que está descrita no Manual de Sensoriamento Remoto (*apud* REEVES *et al.*, 1975): a quantificação ou aquisição de informações sobre alguma propriedade de um objetivo ou fenômeno, por meio de instrumento e sensores que não se encontram em contato físico ou íntimo com o objeto ou fenômeno estudado.

Os produtos descritos a seguir, foram utilizados para análise e vetorizar os lineamentos em duas escalas: local e regional.

8.1.1 Modelo Digital de Elevação (MDE)

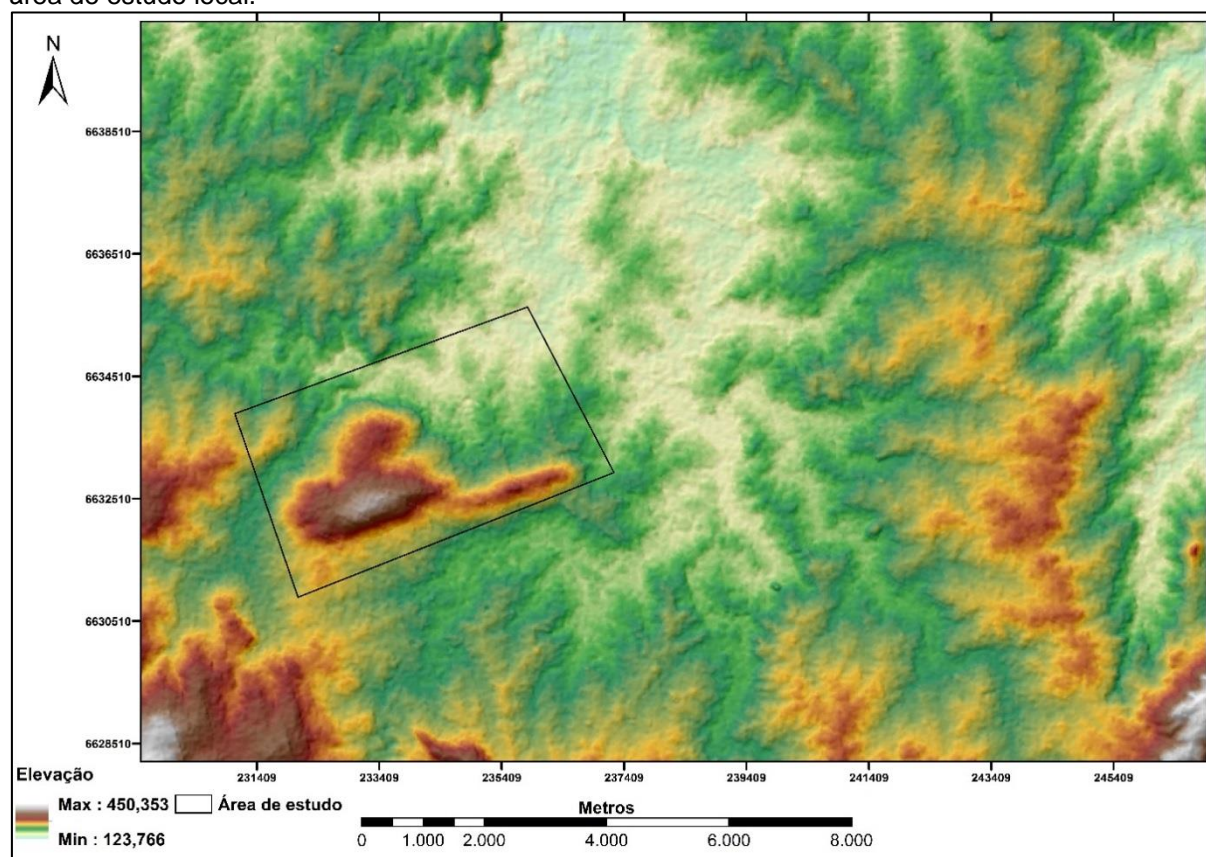
O MDE é um produto eficiente para identificar lineamentos em escala regional, pois evidencia padrões na morfologia do terreno sem que haja interferências da vegetação ou fatores antrópicos.

Os padrões na morfologia que sugerem lineamentos podem ser: cristas ou vales alinhados, escarpas de diferentes elevações alinhadas e mudanças abruptas na continuidade dos vales ou das cristas.

O MDE da Figura 8 foi criado a partir de um *Raster* (camada matricial) do SRTM (*Shutter Radar Topographic Mission*), utilizando a ferramenta *Hillshade* do *ArcGIS™*, que gera como produto um Mapa de Relevo Sombreado (MRS) (Figura 8).

Como rotina de trabalho na ferramenta *Hillshade*, testou-se vários modelos de azimute e inclinação da iluminação. O melhor MRS que ressaltou as estruturas na região foi um com 320° de azimute e 35 de inclinação.

Figura 8 – MRS sob o mapa de elevação em metros, ambos gerados com SRTM. Polígono destaca a área de estudo local.



Fonte: modificado do *Earth Explorer* (2016).

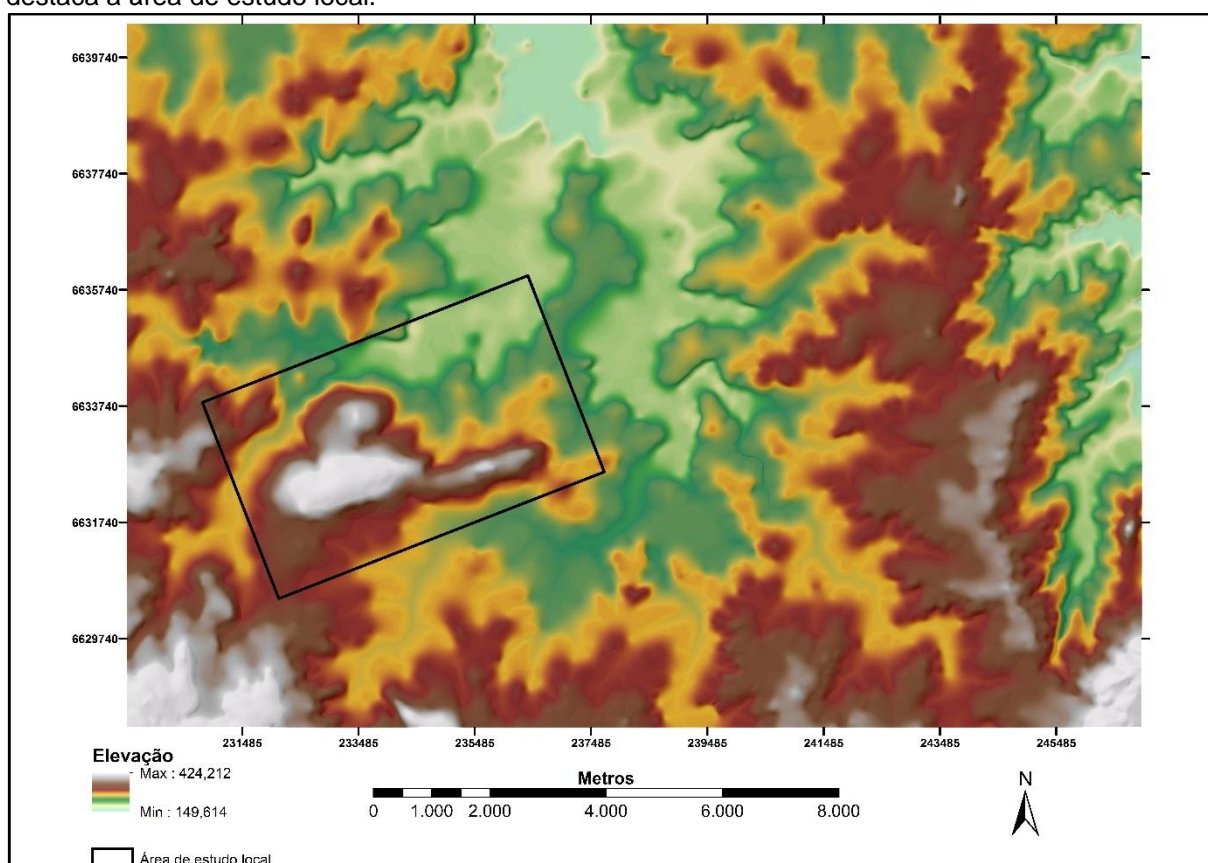
8.1.2 Base Cartográfica

A área de estudo é representada por duas cartas topográficas do exército: Passo do Salsinho e Vila Nova.

A partir da vetorização desta base cartográfica é possível interpolar uma superfície de elevação no ArcGIS™, utilizando a ferramenta *Topo to Raster*, que por sua vez pode ser usada na ferramenta *Hillshade* para criar um MRS (Figura 9).

A base cartográfica se difere do SRTM no aspecto dos dados serem adquiridos em campo, ou seja, os pontos cotados têm uma confiabilidade maior quanto a elevação. Todavia, o SRTM não possui a mesma exatidão da elevação, mas consegue gerar mais pontos de cota, que quando interpolados, podem gerar uma área com um contorno topográfico menos suavizado.

Figura 9 – MRS sob o mapa de elevação em metros, ambos gerados com a base cartográfica. Polígono destaca a área de estudo local.



Fonte: modificado de Hasenack & Weber (2010).

8.1.3 Landsat

O presente trabalho utiliza imagens do satélite Landsat-8, disponibilizados na plataforma *EarthExplorer*. O satélite Landsat-8 está em operação desde 2013, disponibilizando 11 bandas espectrais (Tabela 1), capacitadas por dois aparelhos: *Operational Land Imager* (OLI) e *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). A vantagem do Landsat-8 aos seus modelos anteriores é principalmente a banda 8, que ao ser utilizada na composição de imagens, permite uma resolução de 15 m.

Tabela 1 – Características espectrais das bandas do Landsat-8.

Bandas do Landsat-8	Comprimento de onda (µm)	Resolução (m)
Banda 1 – aerossol costeiro	0,43 – 0,45	30
Banda 2 – azul	0,45 – 0,51	30
Banda 3 – verde	0,53 – 0,59	30
Banda 4 – vermelho	0,64 – 0,67	30
Banda 5 – próximo ao infravermelho (NIR)	0,85 – 0,88	30
Banda 6 – SWIR 1	1,57 – 1,65	30
Banda 7 – SWIR 2	2,11 – 2,29	30
Banda 8 – pancromática	0,50 – 0,68	15
Banda 9 – cirros	1,36 – 1,38	30
Banda 10 – infravermelho térmico (TIRS) 1	10,60 – 11,19	100
Banda 11 – infravermelho térmico (TIRS) 2	11,50 – 12,51	100

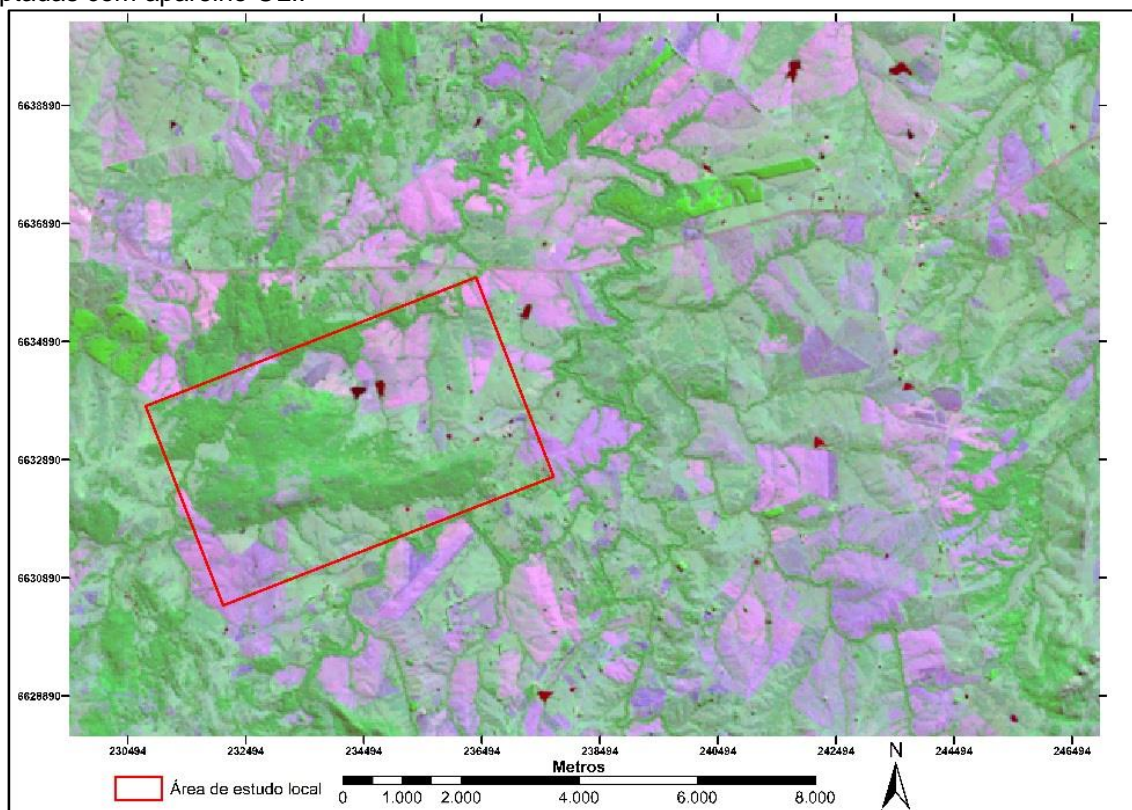
Fonte: modificado da USGS (2016).

Uma das vantagens em utilizar imagens Landsat é o emprego da banda 5, que ressalta a textura do terreno, com um grau de detalhe eficiente para o sensoriamento remoto de áreas com escala local, corroborando com os dados de MDE.

A composição de imagens de falsa cor é baseada em propriedades espectrais conhecidas de rochas e minerais de alteração. Os minerais de argila e carbonato tem características de absorção de 2,1 a 2,4 µm e reflectância de 1,55 a 1,75 µm (Ahmed & Amin, 2014).

O trabalho aplicou na área dois tipos de composição de falsa cor apresentadas por Ahmed & Amin, (2014): a primeira (Figura 10) demonstra as áreas com maior concentração de argilas no solo, representada pelas áreas com cores rosadas a roxo. A segunda (Figura 11) demonstra as áreas com maior concentração de sílica no solo, onde as áreas mais azuladas são empobrecidas em sílica e as áreas esverdeadas mais enriquecidas em sílica.

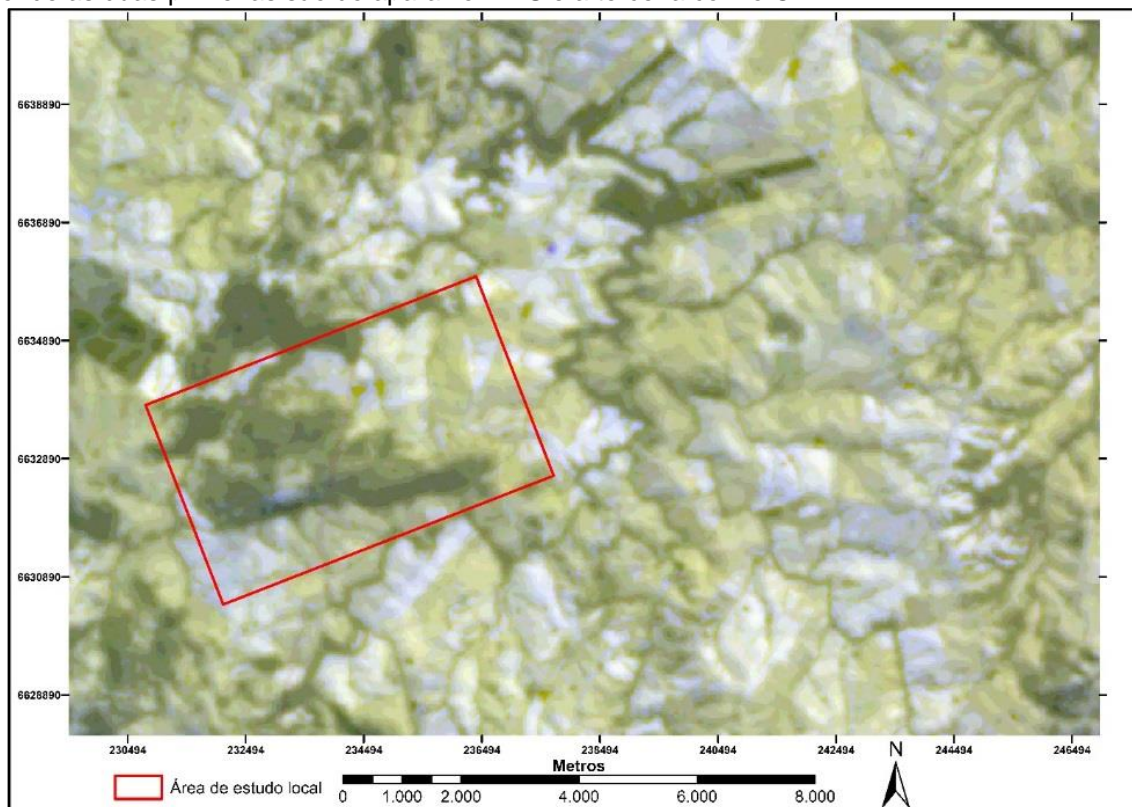
Figura 10 – Imagem da área de estudo, com resolução de 15 m, composta com as bandas: 2; 5 e 7, captadas com aparelho OLI.



Fonte: *Earth Explorer* (2016).

Na composição de falsa cor a seguir (Figura 11), identifica-se que o GCC se apresenta como uma região empobrecida em sílica em relação a algumas porções das metamórficas circundantes. Isto deve ocorrer pelo fato que o protólito de parte das metamórficas são rochas sedimentares (KOPPE *et al.*, 1985). Entretanto, como o CB é formado in situ por rochas metavulcanossedimentares, é possível identificar variações de sílica entre porções no domínio do CB.

Figura 11 – Imagem da área de estudo, com resolução de 100 m, composta com as bandas: 10; 11 e 7, onde as duas primeiras são do aparelho TIRS e a terceira com o OLI.

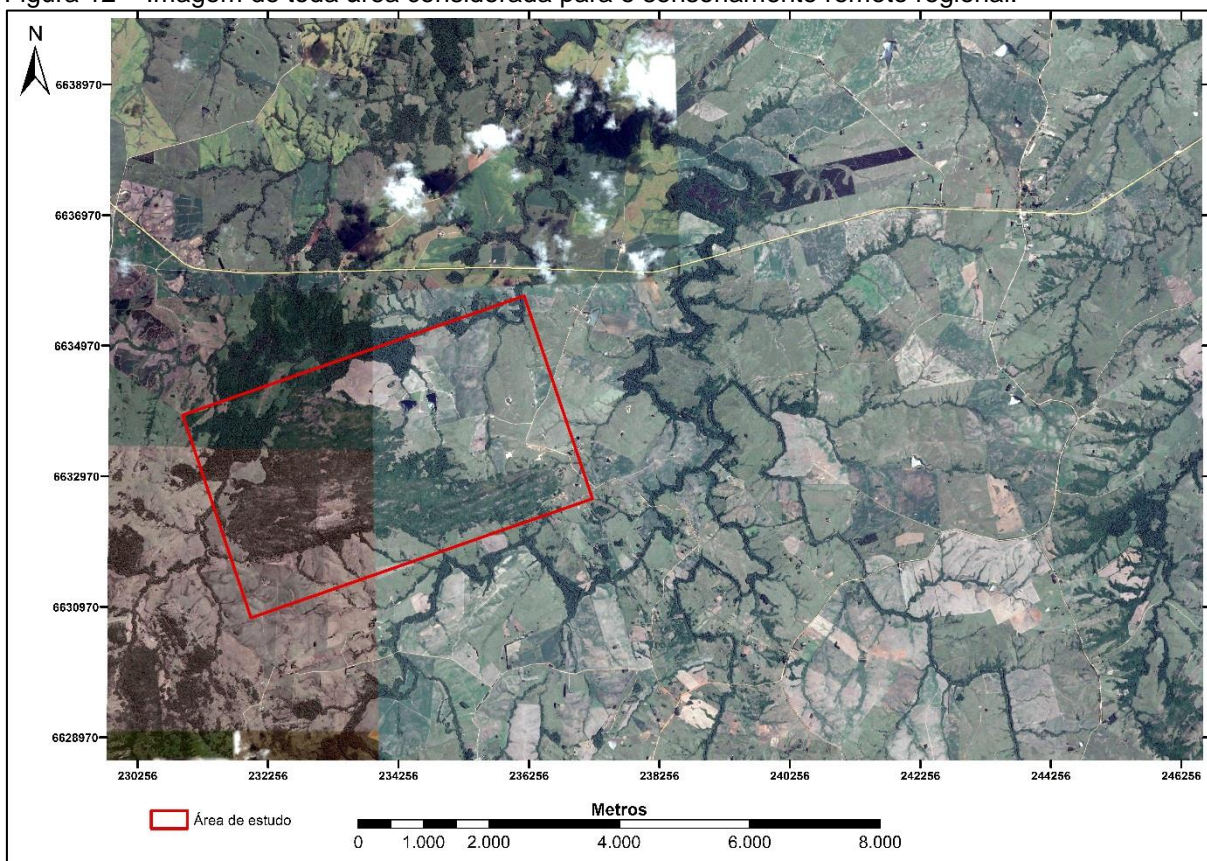


Fonte: *Earth Explorer* (2016).

8.1.4 Google Earth

O uso das imagens do *Google Earth* (Figuras 12 e 13) foi utilizado para criação de um banco de dados pré-campo atualizado para delimitação de regiões de potencial exposição de rocha, trilhas e estradas que dessem acesso a área de estudo. Isto possibilitou o planejamento de toda a logística das etapas de campo.

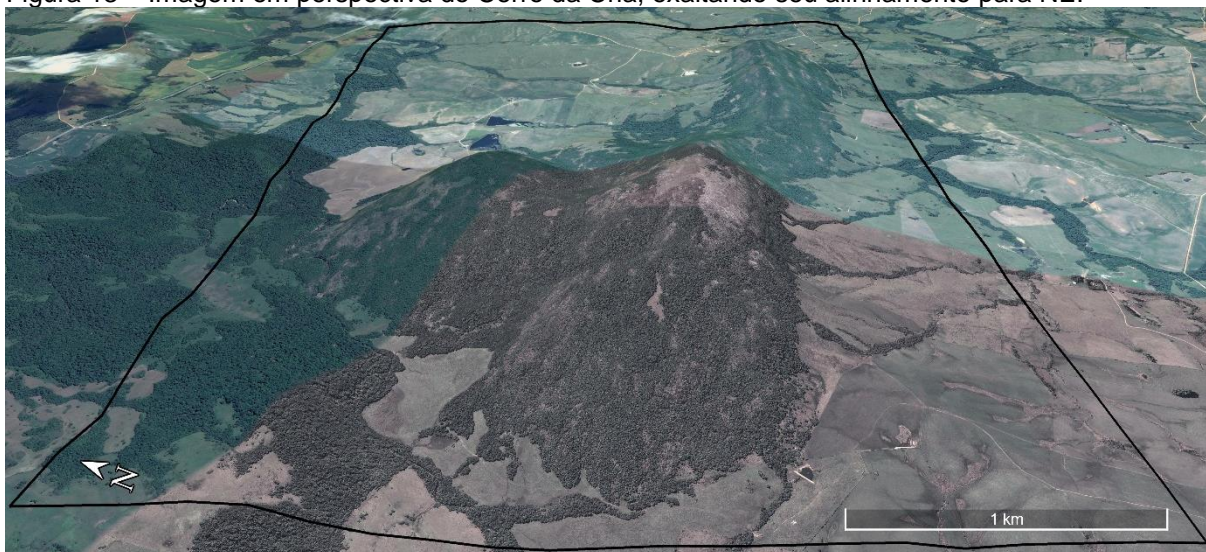
Figura 12 – Imagem de toda área considerada para o sensoriamento remoto regional.

Figura: modificado do *Google Earth* (2016).

Quanto ao sensoriamento dos lineamentos, o uso das imagens do *Google Earth* foi fundamental para a análise, devido ao fato da plataforma disponibilizar várias imagens em diversas escalas, fundamental para a análise dos lineamentos em escala local.

Outra utilidade do *Google Earth* é a possibilidade de visualizar uma área em 3D, podendo ter perspectiva da topografia de vários ângulos diferentes. Assim, é possível visualizar o alinhamento morfológico do Cerro da Cria (Figura 13).

Figura 13 – Imagem em perspectiva do Cerro da Cria, exaltando seu alinhamento para NE.



Fonte: retirado do *Google Earth* (2016).

8.1.5 Lineamentos

A arquitetura retilínea de estruturas que ocorrem na morfologia do planeta tem sido observada pelos geólogos europeus desde os primeiros anos do séc. XIX (CHIANG, 1984). Entretanto, a definição de lineamentos só foi introduzida nas primeiras décadas do séc. XX pelo geólogo estadunidense Wm. Herbert Hobbs, como: “uma significativa linha do relevo, a qual revela a arquitetura oculta do embasamento rochoso... É uma linha característica da fisionomia da Terra” (*apud* CHIANG, 1984).

Na sua tese, Chiang (1984) discrimina a natureza dos lineamentos como decorrentes de:

- Morfo-litológica;
- Zonas de fraturas;
- Contatos geológicos abruptos;
- Zonas de charneira de dobras.

O presente trabalho se utilizou de todos os dados de sensoriamento remoto descritos nos tópicos anteriores para inferir lineamentos em duas escalas: lineamentos regionais (1:85.000) e lineamentos locais (1:25.000).

Os critérios mencionados por Chiang (1984) para identificar feições geológicas provêm da combinação de elementos das imagens. Para lineamentos, especificamente, os critérios serão as expressões dos elementos da morfologia do terreno, tais como: segmentos de escarpa, alinhamento de cristas, vales e cursos de

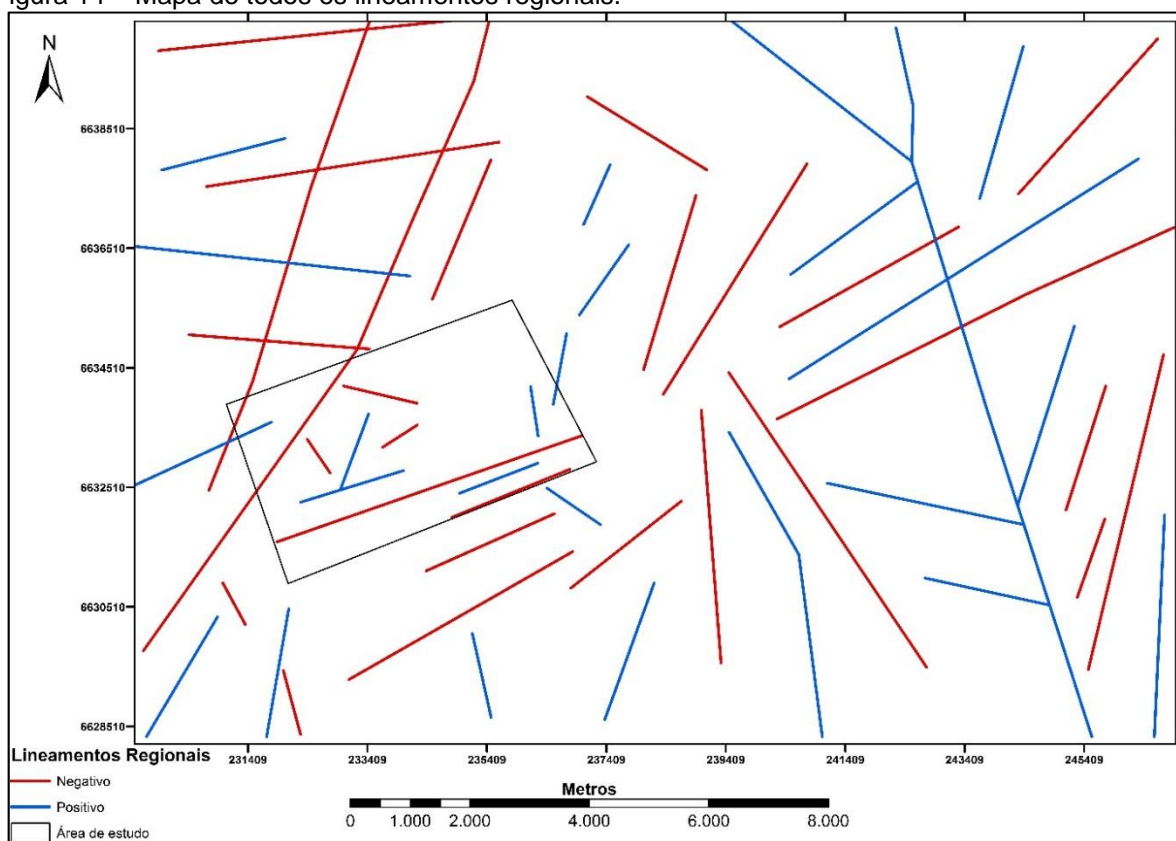
rio, lagos ou linhas de costa alongadas, depressões alongadas (dolinas), feições lineares que segmentam distintas texturas e/ou tonalidades do terreno, alinhamento da vegetação ou diferenças na umidade do solo.

Na produção do mapa de lineamentos regionais (Figura 14), separou-se os lineamentos em negativos e positivos de maneira que os negativos representam vales ou escarpas e os positivos são cristas ou alinhamento de colinas. A região circundante a área de estudo demonstra um comportamento distinto entre os lineamentos positivos e negativos: os positivos tendem mais a se flexurar ou ter ramificações, enquanto que os lineamentos negativos são mais retos e em algumas porções podem se intersectar.

Na região NW do mapa de lineamentos regionais (Figura 14) há um grande lineamento negativo que se destaca por atravessar todo o mapa, lineamento este que provavelmente está relacionado ao contato da SAL com a SC, contato este que já é interpretado na literatura como uma ZF de movimento dextral (SOARES, 2001).

Já focando na área de estudo, é visível que a ZF que intersecta o Cerro da Cria produz um lineamento negativo, mas que se torna difícil de identificar seu prolongamento quando sai do perímetro do GCC e adentra as metamórficas. Isso deve decorrer pelo intemperismo diferencial entre a rocha ígnea intrusiva que compõe o GCC e as metamórficas do CB.

Figura 14 – Mapa de todos os lineamentos regionais.

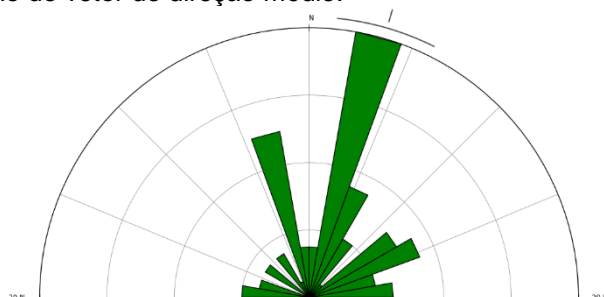


Fonte: autor.

Para melhor analisar o padrão de continuidade da região que circunda a área de estudo, criou-se um diagrama de roseta dos lineamentos regionais (Figura 15) no *software Openstereo*. O diagrama ilustra estatisticamente a frequência dos lineamentos, divididos em intervalos de 10° e uma frequência máxima de 20%, com um vetor médio na parte externa do diagrama.

É visível na Figura 15 que, regionalmente os lineamentos possuem um *trend* principal para leste em frequência, a direção do lineamento que corta o GCC não é tão expressiva.

Figura 15 – Diagrama de roseta produzido com a frequência dos azimutes de todos os lineamentos regionais, com a indicação do vetor de direção médio.

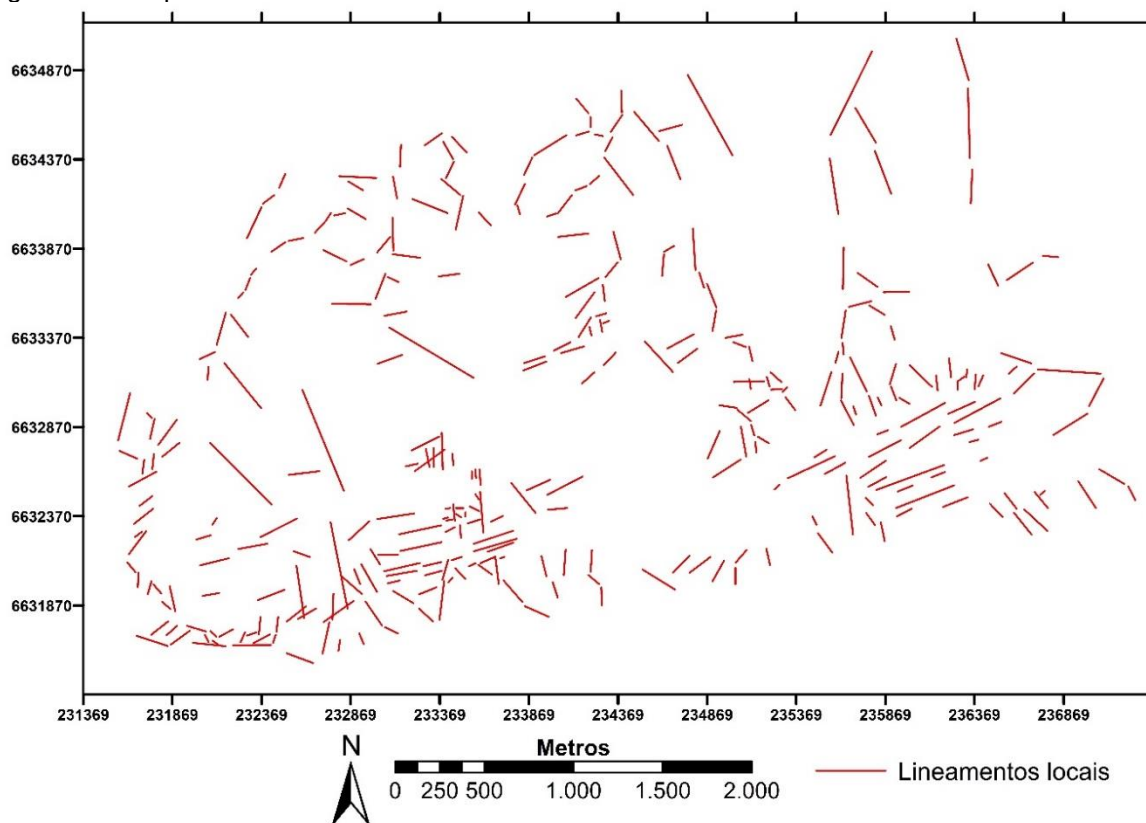


Fonte: autor.

Contudo, quando avança para a análise dos lineamentos em escala local (Figura 16) constata-se que dentro da área de estudo, que em sua maior parte é compreendida pelo GCC, os lineamentos próximos à região da ZF tem a direção preferencial para NE.

Entretanto, quanto mais afasta-se da ZF, mais ocasionais os lineamentos NE se tornam. Já quando se adentra para as metamórficas o *trend* principal fica oscilando entorno do norte.

Figura 16 – Mapa de todos os linemantos locais.

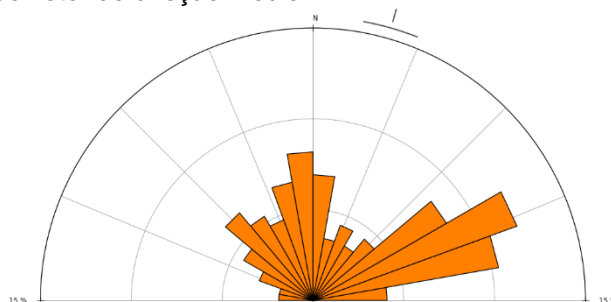


Fonte: autor.

Da mesma forma que para os lineamentos regionais, criou-se um diagrama de roseta dos lineamentos locais (Figura 17). Com uma frequência acumulada máxima de 15% e divisão dos lineamentos a cada 10°.

É perceptível que o *trend* da direção dos lineamentos muda, apesar que o vetor médio continua na mesma direção dos lineamentos regionais. Mas a direção ENE torna-se uma das principais, sendo seguida da NWN e outra para NW.

Figura 17 – Diagrama de roseta produzido com a frequência dos azimutes de todos os lineamentos locais, com a indicação do vetor de direção médio.



Fonte: autor.

8.2 Aspectos Geológicos e Análise Estrutural

8.2.1 Descrição Litológica e Relações de Campo

Macroscopicamente, o GCC apresenta uma textura fanerítica, uma razão de feldspatos alcalinos superior as de plagioclásio, onde ambos possuem uma cristalização anédrica. O quartzo do GCC possui um tamanho relativamente uniforme, com uma cristalização subédrica. Já a sua fase máfica é composta por pequenos cristais, que tem uma distribuição errática e desuniforme, onde Naime (1987) definiu como biotita através de estudos petrográfico.

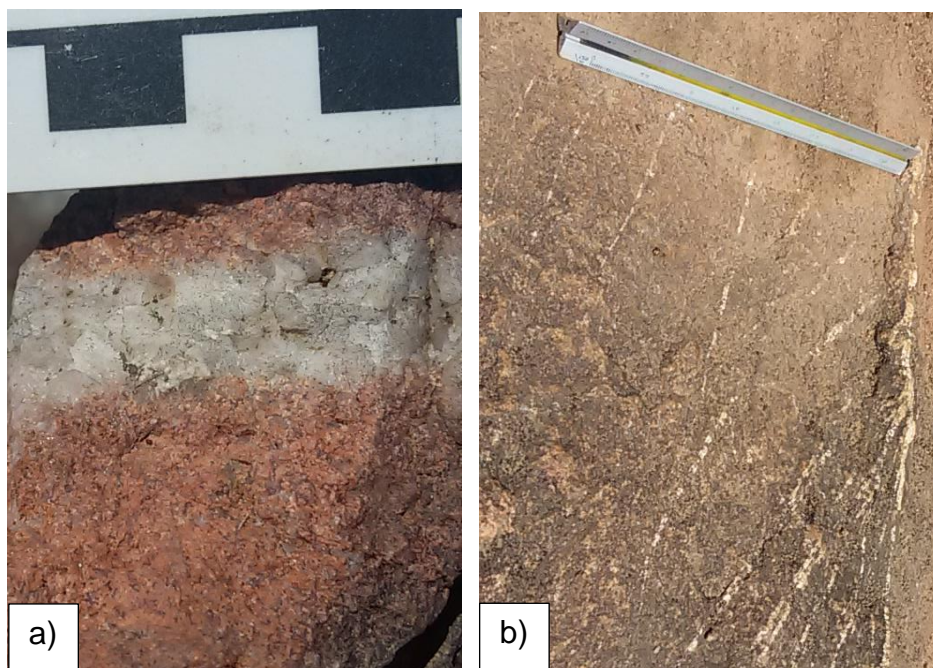
É coerente a classificação de Streckeisen (1973) aplicada por Naime (1987) para o GCC ser um álcali-feldspato granito.

Graças às relações de campo, identifica-se que há uma variação no tamanho dos minerais. Isto decorre do processo de cristalização de corpos magmáticos, onde a região mais central da intrusão desenvolve cristais maiores em relação às bordas do corpo, onde o resfriamento é mais rápido e com menos tempo de cristalização.

A descompressão do GCC provocou algumas raras fraturas de baixo ângulo. Estas ocorrem devido à retirada de carga litostática das rochas sobrejacentes. Essas rochas sobrejacentes foram retiradas por processos intempéricos e erosionais.

Como já mencionado anteriormente o GCC, está fraturado e por vezes preenchido com veios de quartzo leitoso, onde pode-se separar dois tipos de veios através do contato com o granito. A maioria dos veios possui um contato abrupto com o granito, mostrando que o preenchimento se deu quando o GCC já estava totalmente cristalizado. Entretanto, há ocasionalmente veios de contato interdigitado com o granito (Figura 18)

Figura 18 – Tipos de veios de quartzo leitoso que ocorrem no GCC: a) contato interdigitado e b) contato reto.



Fonte: autor.

O GCC aflora principalmente como lajeados (Figura 19) ou em taludes quando se aproxima das escarpas ou bordas do Cerro da Cria. Na superfície, o granito possui uma capa de alteração ferruginosa que quase sempre o recobre. Esta alteração só não está presente quando o granito está muito fraturado e a água lixivia essa capa de alteração.

Figura 19 – Aspecto de campo do GCC.



Fonte: autor.

Algo que ainda não havia sido descrito na literatura foi que na sua parte mais setentrional, o GCC possui cristais de magnetita como mineral acessório. A magnetita possui dimensão da ordem de até 2,5 mm

Figura 20 – Cristais de magnetita do GCC.



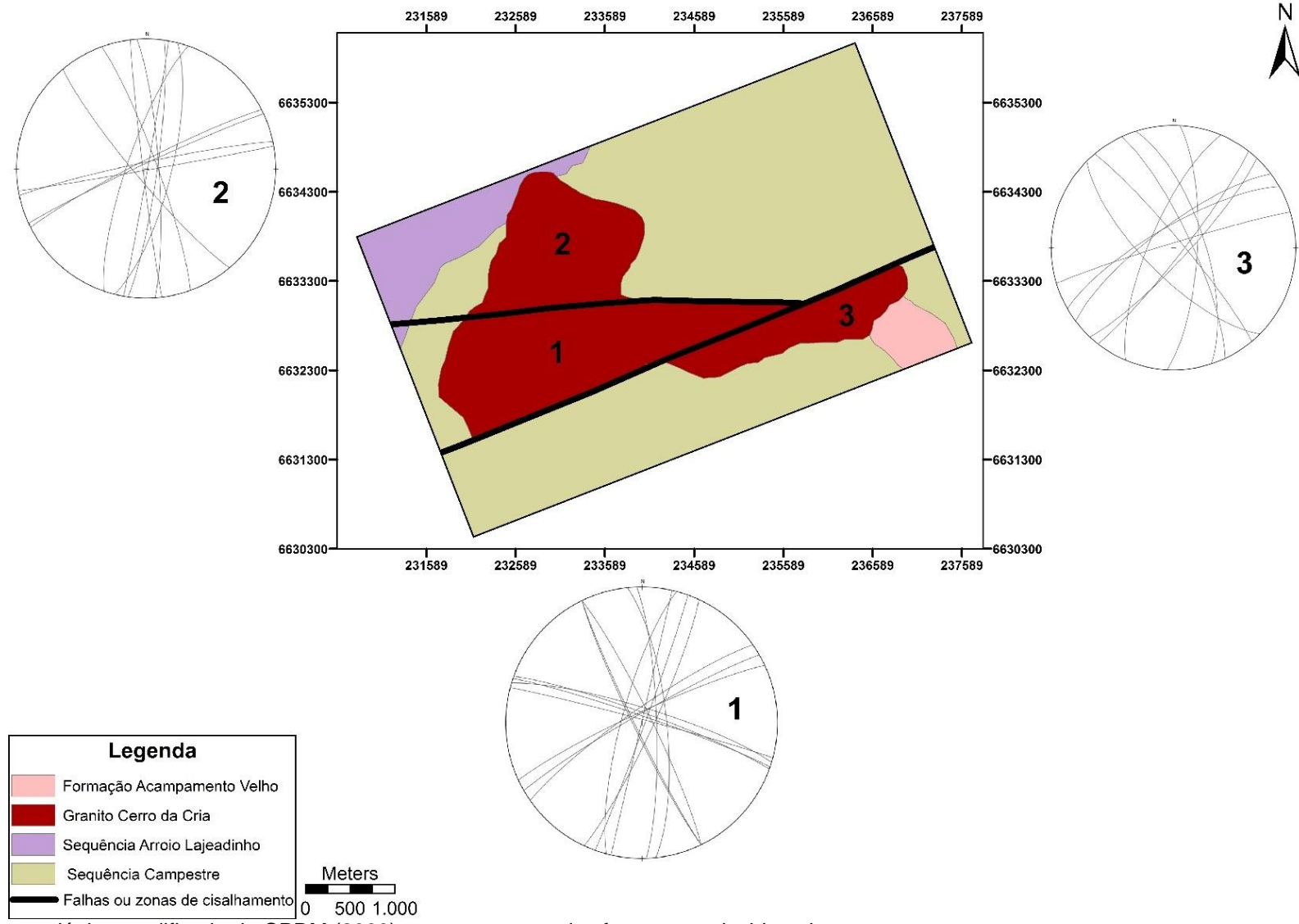
Fonte: autor.

Uma importante relação de campo averiguada foi que quando se mapeou sobre a região que a ZF intersecta o GCC não foi encontrado nenhum afloramento. Isto se deve ao fato que na região de domínio da ZF torna-se um plano de fraqueza propenso ao intemperismo diferencial, pois a água tende a percolar nas fendas da rocha e alterá-la.

8.2.2 Blocos Estruturais

Devido aos padrões de fraturamentos encontrados em campo, é possível segmentar o GCC em três blocos estruturais (Figura 21). Estes blocos possuem arranjos das famílias de fraturas parcialmente semelhantes, mas que possuem sutis diferenças.

Figura 21 – Individualização do GCC em três blocos estruturais.



Fonte: mapa geológico modificado de CPRM (2000); estereogramas das fraturas produzido pelo autor.

O critério para divisão dos blocos estruturais no presente trabalho foi a falha NW, a qual separa os blocos 2 e 1, até ser truncada pela ZF que divide os blocos 1 e 3.

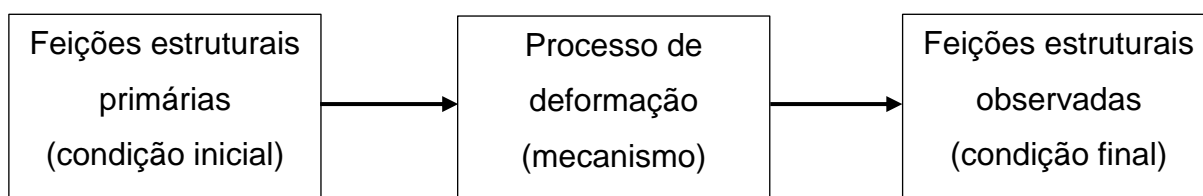
O bloco 1 é o maior de todos os blocos. Sua morfologia (Figura 13) é bem marcada por uma crista assimétrica, onde possui uma escarpa mais abrupta para sul e mais suave para NW. Quanto ao padrão de fraturamento, as fraturas N-S e para NW são menos marcantes nos afloramentos, ficando difíceis de serem avaliadas às vezes. Já quanto mais próximo a ZF, mais predominante ficam as falhas NE.

A parte mais setentrional do GCC é formado pelo bloco 2, que possui como principal característica a presença da magnetita (Figura 20). Antagonicamente ao bloco 1, o bloco 2 possui as fraturas N-S e NW muito bem marcadas. Já as NE aparecem ocasionalmente e com uma frequência baixa. Na morfologia do bloco 2 pode-se distinguir sua crista, mas a divisão entre o bloco 2 e o 1 fica de difícil avaliação, considerando somente a morfologia.

No bloco 3 o padrão de fraturamento é relativamente parecido com o bloco 1. Contudo, os ângulos de mergulho das fraturas não são altos como no bloco 1. Quanto à morfologia do bloco 3, é bem distinta em relação aos outros blocos, sua crista não é tão conspícua e sua geometria é muito mais alongada para NE. Já a face NW do bloco 3 tem uma declividade mais acentuada do que a face contrária. Isso pode decorrer da ZF estar controlando esta leve assimetria entre as vertentes.

8.2.3 Análise Estrutural do Granito Cerro da Cria

As estruturas presentes em uma área podem ser o produto final de um evento tectônico deformacional, cujos estágios principais são:



Na campanha de campo se tem acesso somente às feições estruturais observadas e a partir da análise descritiva, cinemática e dinâmica consegue-se compreender os processos deformacionais, que por sua vez foram impressos na rocha. Só dessa maneira que é possível inferir como eram as feições estruturais primárias.

Chiang (1984) discrimina as estruturas da rocha como:

- Estruturas primárias: como acamamento das rochas sedimentares, foliação magmática, estruturas de fluxo de magmas e a erosão diferencial que atinge de forma diferente distintas litologias;
- Estruturas secundárias: são feições estruturais geradas através de eventos deformacionais, tais como: fraturas, juntas, veios, diques, falhas, foliação, clivagem, entre outros. Nessas descontinuidades na rocha, forma planos de maior fraqueza, tanto para o intemperismo, quanto para novos eventos deformacionais.

O método em campo para aquisição de dados estruturais foi o de delimitar nos afloramentos áreas de maior representatividade estrutural, ou seja, que possuíam maior quantidade de fraturas com a maior variabilidade de direções. Essas áreas eram dimensionadas com 4 m² (Figura 22) quando o afloramento era grande o suficiente e com no mínimo 1 m² quando o afloramento não era grande suficiente.

Após a delimitação da área representativa foram observadas as principais direções de fraturas e as mais representativas/preservadas para cada direção foram medidas na notação Dip Direction. Em seguida, foi calculada a densidade de fraturas para aquela área através da contagem de fraturas de mesma direção das medidas anteriormente. Com esta metodologia foi possível além de elaborar uma análise estrutural da rocha, verificar a variação da qualidade mecânica do GCC, calculando a densidade de fraturas.

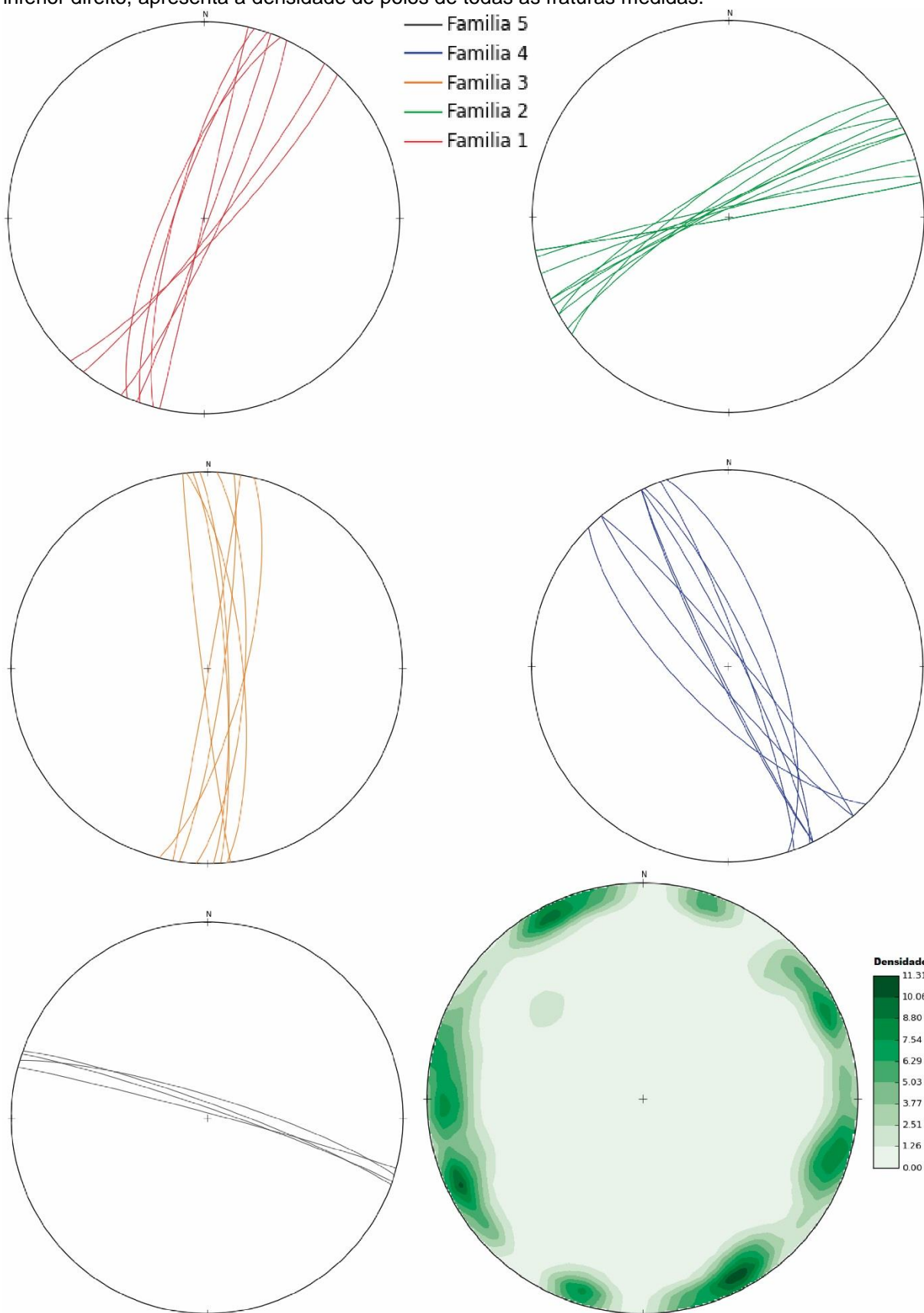
Figura 22 – Área representativa do afloramento para análise estrutural. A linha vermelha representa a família 1, linha verde representa a família 2, linha laranja representa a família 3, linha azul representa a família 4, linha preta representa a família 5. Estas fraturas indicam as que mais representavam a área e que foram medidas. Caderneta de campo está orientada para o norte.



Fonte: autor.

Para a análise estrutural foram selecionados 17 pontos e coletadas 276 medidas de *Dip Direction*, onde destas, 40 foram medidas além do *Dip Direction* o ângulo do mergulho e assim usadas para construção da análise estrutural. Com o uso da projeção estereográfica, foi possível identificar cinco famílias distintas de fraturas, usando como critério o *strike* das fraturas, como ilustrado na Figura 23.

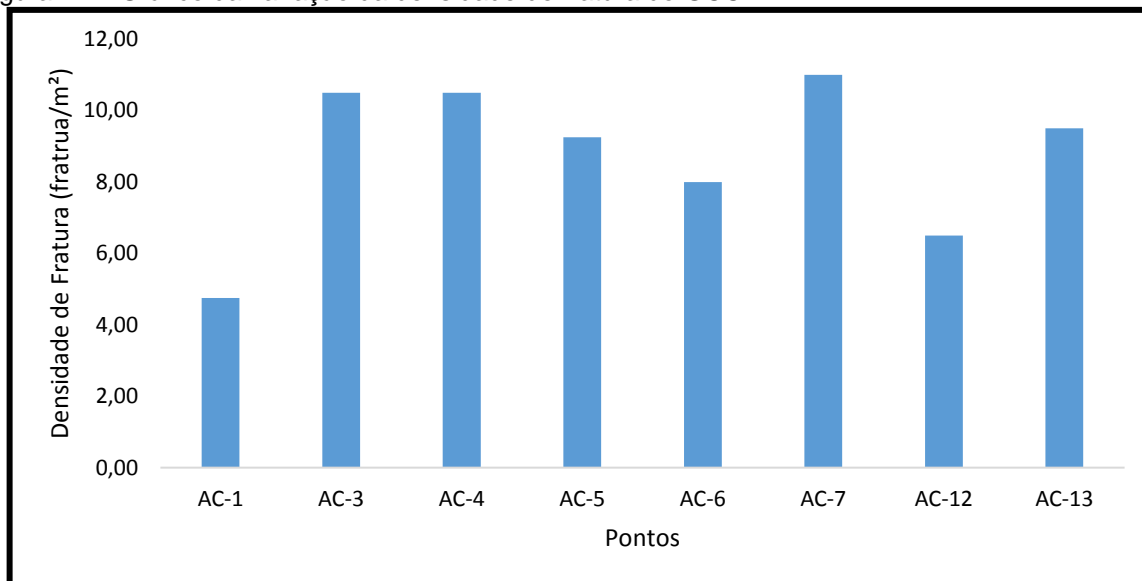
Figura 23 – Projeções estereográficas com grandes círculos das famílias de fraturas. A última, no canto inferior direito, apresenta a densidade de polos de todas as fraturas medidas.



Fonte: autor.

A densidade de fratura de um material é diretamente proporcional ao seu grau de coesão. Materiais muito fraturados são menos coesos. Com esta análise foi possível observar como a deformação atinge de forma heterogênea um mesmo corpo pois, apesar do GCC estar sendo intersectado por uma ZF, a densidade de fratura varia bastante espacialmente (Figura 24).

Figura 24 – Gráfico da variação da densidade de fratura do GCC.



Fonte: autor.

Quanto mais próximo à ZF que intersecta o GCC, mais fraturado o granito se torna, chegando a possuir feições cataclásticas e em raros locais uma feição protomilonítica, como já havia sido descrito por Naime (1987).

8.2.3.1 Análise descritiva

Os padrões de fraturamento foram discriminados em cinco famílias distintas como visto na Figura 23. Esta divisão foi feita considerando o padrão geométrico das fraturas, azimute do *strike* e inclinação do mergulho, além da textura das fraturas, que pode ser apresentada como uma reta contínua, ou sofrer leves flexuras, ter degraus ou rugosidade, ou ainda se forem extensionais estarem preenchidas por veios.

A família 1 foi uma das fraturas que deformaram o GCC. Ela se expressa nos três blocos estruturais (Figura 21) que formam o GCC. Esta família de fratura possui *strike* N015°-047°E, com um alto mergulho, variando entre 74° a 88°. Ocasionalmente estão preenchidas com veios de quartzo leitoso. Já em alguns afloramentos são

intersectadas e deslocadas pelas famílias 2 e 4 com um rejeito aparente em torno dos 10 cm (Figura 25).

Já a família 2 também se expressa nos três blocos estruturais. Entretanto muito mais nos blocos estruturais 1 e 3 e mais incipiente no bloco 2. Esta família é a que melhor descreve a deformação da ZF que corta o GCC, pois possui um *strike* N050°-075°E, com um alto mergulho de 76° a 90°. Possuem uma alternância na característica, em alguns lugares possuem um preenchimento por veio e em outras tem uma característica cisalhante, podendo considerá-las hora extensionais e hora compressivas. Semelhante a família 1, a família 2 é cortada pela família 4, provocando um rejeito aparente perto de 10 cm.

A família 3 se expressa muito forte no bloco estrutural 2, ocasionalmente no bloco 1 e mais incipiente no bloco 3. Já o *strike* da família 3 oscila para W350°-360°N e N000°-020°E, com um alto mergulho de 74° a 89°. As fraturas da família 3 podem ser consideradas extensionais mesmo quando não estão preenchidas, pois o fluxo de água aumenta no topo do Cerro da Cria (bloco 1 da Figura 21) quando esta família está presente.

Diferente da família anterior, a família 4 está muito bem expressada no bloco estrutural 3, ocasionalmente no bloco 1 e mais incipiente no bloco 2. Com um *strike* para W315°-340°N e mergulho de 69° a 86°. A família 4 é marcadamente uma fratura de cisalhamento, pois não está preenchida e quando intersecta outras famílias de fraturas deforma-as, evidenciando um movimento fratura, com o rejeito descrito na família 1.

Por fim, a família 5 difere de todas as anteriores. Só aflora no bloco estrutural 1. Possui um *strike* bem definido para NW, com um mergulho alto de 81° a 86°. Semelhante à família 4, a família 5 também é cisalhante, mas pode ser interpretada como falha de transferência, pois são delimitadas por outras fraturas.

8.2.3.2 Análise cinemática

Nos pontos do GCC que foram utilizados para estudo, não foi encontrado fraturas com um movimento que se caracterizasse como uma falha (movimentação maior que 1 m). As fraturas possuíam movimentos aparentes entorno dos 6 cm a 10 cm, como mostra a Figura 25.

Figura 25 – Fratura com um movimento aparente que deformando um veio de quartzo leitoso.



Fonte: autor.

Como base para a análise cinemática a publicação de Ribeiro *et al.*, (1966) que utilizou do mapeamento geológico da turma de formandos em geologia da UFRG de 1965, que identificaram a ZF com um movimento levógiro (sinistral). Além de somar à análise do presente trabalho a petrografia do Naime (1987) que identifica em lâminas delgadas, diferentes níveis de formação da textura “*ribbon*”.

Onde Vauchez (1980) (*apud* Naime, 1987) enfatiza que a textura “*ribbon*” se dá decorrente da recristalização dinâmica do quartzo original, de forma que, um aumento no cisalhamento faz com que novos cristais de quartzo com fragmentos não recristalizados se alonguem mais.

O Granito Cerro da Cria foi milonitizado ao longo de um falhamento levógiro, em elevada temperatura, provavelmente em pulsos tectônicos tardios sincrônicos às fases finais de colocação da intrusão e posteriormente. Estas reativações posteriores deste falhamento atingem temperaturas capazes de reduzir o tamanho dos grãos de quartzo, que reagem nos contatos com os feldspatos alcalinos (NAIME, 1988, p. 75).

Contudo, como visto na Figura 13, é possível distinguir que o Cerro da Cria é morfologicamente composto por três distintas cristas, cada uma compondo respectivamente um bloco estrutural (Figura 21).

Por fim, é possível inferir que devido as reativações de movimento da ZF ao longo do tempo, houve uma transladação aparente para NE do bloco estrutural 3. Mas como

não se encontrou espelhos de falha ou lineações, não é possível mensurar o movimento real e a magnitude deste.

8.2.3.3 Análise dinâmica

Um forte indicativo que a falha que intersecta o GCC caracteriza-se como transcorrente, foi percebido em campo pelo alto mergulho das fraturas, contudo falhas transcorrentes podem apresentar comportamentos transtrativas e transpressivas, dependendo da sinuosidade da transcorrência ao longo do prolongamento. Além de haver outros eventos de deformação atuantes no GCC.

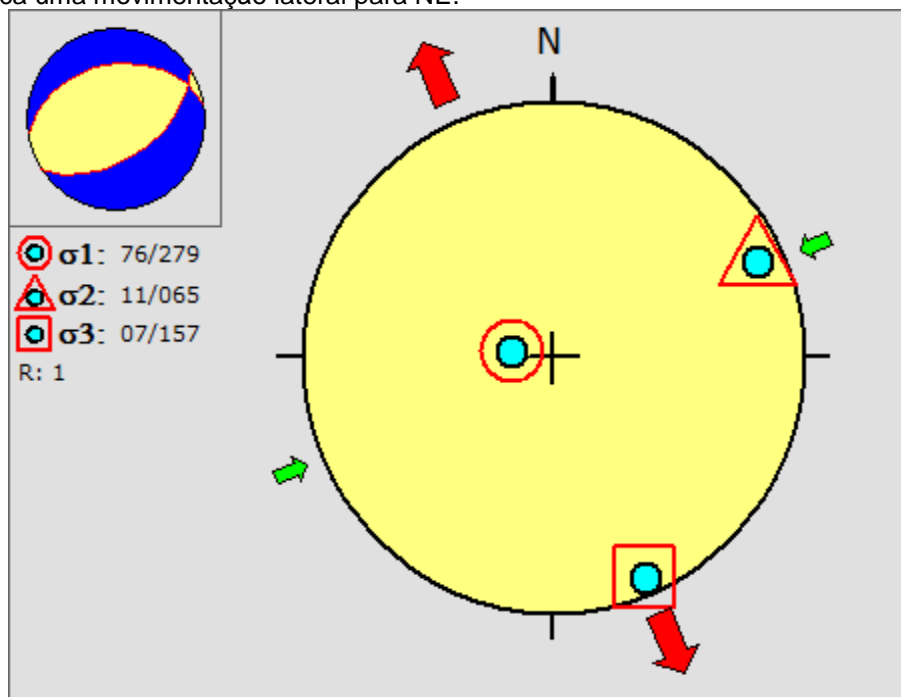
Para compreender o comportamento da ZF que intersecta o GCC é preciso entender os vetores de tensão, que são denominados de sigmas (σ) e possuem um arranjo ortogonal entre eles, onde: σ_1 , σ_2 e σ_3 fazem ângulo de 90° , como ilustrado por Fossen (2012) na Figura 6. Onde o σ_1 é o vetor de máxima tensão, já σ_2 é o vetor de tensão intermediária e o σ_3 é o vetor de mínima tensão (FOSSSEN, 2012).

Para a análise dos vetores de tensão que atuaram no GCC, foi usado o *software Win-Tensor* para inferir a direção dos vetores de tensão (σ) que atuam em no GCC, além do método do diedro que ilustra relação “P” (pressão) e “T” (extensão). Todavia, a atitude exata dos tensores é inferida, já que não foram encontradas lineações.

Na elaboração da análise dinâmica foi possível identificar que no GCC há ao menos dois eventos deformacionais, um extensional com movimentação lateral para NE e um segundo transcorrente com uma leve extensão.

A configuração dos σ descrevem um dos dois eventos presentes no GCC, onde o da Figura 26 é caracterizado como extensional, pois: o σ_1 está na vertical, mostrando que a natureza da compressão é provocada por força da gravidade; o σ_2 está ortogonal a ZF, justificando as fraturas da família 2 estarem preenchidas de quartzo, pois houve um relaxamento das estruturas de sentido perpendicular a elas; já o σ_3 expressa a direção do movimento lateral, uma transcorrência associada a extensão.

Figura 26 – Projeção estereográfica dos σ , onde: seta vermelha representa σ_2 , seta verde o σ_3 e o σ_1 está na vertical, caracterizando uma deformação extensional. Canto superior direito: diedro P & T, onde o nodal marca uma movimentação lateral para NE.



Fonte: autor.

A variável “R” classifica de forma quantitativa o tipo de *stress* e varia de 0 a 1, onde 0 indica uma extensão radial perfeita e 1 indica extensão com forte movimentação lateral (*strike-slip*). O valor 1 da variável “R” na Figura 26, marca o regime de *stress* do tipo *strike-slip* aplicado no GCC.

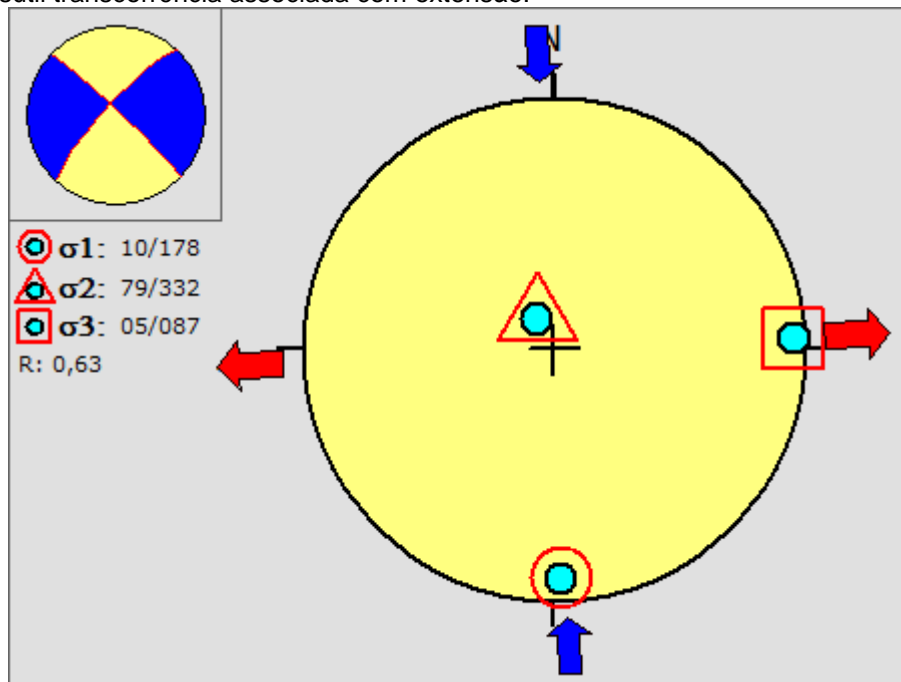
Onde Angelier (1989) calcula a variável “R” como a razão (Equação 1):

$$R = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{\sigma_2 - \sigma_3} \quad (1)$$

Já o diedro é uma ferramenta robusta para análise de estruturas, contudo é menos preciso que seus equivalentes numéricos (ANGELIER & MECHLER, 1977). No diedro P & T da Figura 26 é possível identificar o ponto de maior esforço do movimento lateral durante a extensão, indicado no local onde ocorre o nodal, mostrando a direção da transcorrência.

O outro evento deformacional presente no GCC é composto pelas fraturas da família 3, 4 e 5. De maneira que a relação entre os σ (Figura 27) do *stress* empregado caracteriza uma transcorrência N-S, mas com uma sutil extensão. De maneira que a variável “R” de valor 0,63, mostra um *strike-slip* quase perfeito, se não fosse pela leve extensão.

Figura 27 – Projeção estereográfica dos σ , onde: seta vermelha representa σ_2 , seta azul o σ_1 e o σ_3 está na vertical, caracterizando uma transcorrência. Canto superior direito: diedro P & T, onde o nodal marca uma sutil transcorrência associada com extensão.



Fonte: autor.

O diedro P & T da Figura 27 ilustra a transcorrência quase perfeita, onde o nodal quase forma um ângulo reto, todavia é perceptível uma leve inclinação dos ângulos para NNW.

Na análise dos lineamentos locais presentes no GCC, foi possível identificar que um dos três *trend* direcionais no diagrama de roseta (Figura 17) já evidenciava uma direção dos lineamentos destacado para NNW, decorrentes deste *stress* N-S.

Assim interpreta-se que o GCC teve ao menos dois eventos de *stress* marcados na sua deformação, que podem ou não estarem relacionados entre si. O mais provável é que a transcorrência N-S seja de uma deformação mais recente ou menos intenso, pois não deforma GCC com a mesma magnitude da extensão com movimento lateral NE, onde está é responsável pelo deslocamento do bloco estrutural 3.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho elaborou uma análise de forma mais detalhada do que havia na bibliografia sobre a deformação rúptil aplicada no GCC decorrente da ZF que o intersecta.

Foi identificado com o uso de sensoriamento remoto, em qual contexto regional o GCC está inserido, a partir da delimitação dos lineamentos regionais inferidos (Figura 14), que circundam a área de estudo. Para então inferir os lineamentos locais (Figura 16) e assim identificar os principais *trends* das estruturas do GCC e suas cercanias.

Em campo foram identificadas fraturas de cisalhamento, distintos tipos de veios com quartzo (fraturas extensionais) e fraturas compressivas. Com a análise estrutural dessas fraturas foi possível discriminar o GCC em três blocos estruturais, onde estes possuíam padrões de fraturas sutilmente diferentes, demonstrando como a deformação propagou de forma heterogênea no GCC.

Decorrente da análise estrutural, foram classificadas as fraturas no GCC em famílias, onde graças à interação entre as famílias de fraturas foi possível desenvolver as análises: descritiva, cinemática e dinâmica do GCC. Constatando-se que, gradualmente com o tempo, o bloco estrutural 3 foi transladado para NE e a direção dos vetores de tensão (σ) que atuaram no GCC descrevem dois eventos deformacionais distintos, um extensional com movimento lateral para NE e um segundo transcorrente com leve extensão para NNW.

Correlacionando está análise estrutural às informações das mineralizações auríferas na região do CB, é possível identificar que os veios que preenchem as fissuras e fraturas no GCC, representados pelas famílias 1 e 2, tem o mesmo *trend* preferencial que os veios de quartzo mineralizados tanto na mina Bossoroca, como na mina Cerrito do outro. Desta forma, é possível utilizar-se desta análise como guia prospectivo de ouro, próximo a ZF que transpassa a região.

9.1 Recomendações Para Trabalhos Futuros

Durante o levantamento bibliográfico, notou-se que há um conflito de interpretação quanto à continuidade da ZF que intersecta o GCC. Ribeiro *et al.*, (1966) interpretou que ocorre uma flexura da estrutura e que a falha atinge a região da mina Cerrito do Ouro, próximo ao contato da SC com a formação Maricá. Contudo, em mapas publicados posteriormente, como feito por Pocher *et al.*, (2000), não é sugerida a existência desta flexura, sendo que o lineamento seria interrompido poucos quilômetros depois de adentrar na SC, posterior ao GCC.

O presente trabalho recomenda um mapeamento estrutural de detalhe na SC, corroborando com dados geofísicos de magnetometria ou gravimetria, para compreender melhor o prolongamento para nordeste da ZF que intersecta o GCC.

Recomenda-se também para trabalhos futuros, uma análise geoquímica e/ou isotópica, para averiguar se os fluidos que formaram os veios de quartzo nas minas Bossoroca e Cerrito do Ouro são provenientes da intrusão GCC e percolaram ao longo da ZF.

REFERÊNCIAS

ANGELIER, J. **From orientation to magnitudes in paleostress determinations using fault slip data.** Journal of Structural Geology, v. 11, p. 37-50. 1989.

ANGELIER, J. & MECHLER, P. **Sur une methode graphique de recherche des contraintes principales egalment utilisable en tectonique et en seismologie: La methode des diedres droits.** Bulletin de Societe Geologique de France, v. 19, p. 1309-1318. 1977.

AHMED S. O. A. & AMIN B. P. **Lithological mapping and hydrothermal alteration using Landsat 8 data: a case study in ariab mining district, red sea hills, Sudan.** International Journal of Basic and Applied Sciences, 3 (3) (2014) 199-208. 2014.

ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R. A. **Províncias Estruturais Brasileiras.** Atas do VIII Simpósio de Geologia do Nordeste. Campina Grande (Pb) novembro de 1977.

BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil:** texto, mapas & SIG. Brasília : CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2003.

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

CARVALHO, P.F. **Reconhecimento geológico no Estado do Rio Grande do Sul.** Boletim do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil, v. 66. 1932.

CHIANG, L. C. **ANÁLISE ESTRUTURAL DE LINEAMENTOS EM IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO: APLICAÇÃO AO ESTADO DO RIO DE JANEIRO.** Dissert. Dr., USP. São Paulo. 1984.

COSTA, A. F. U. **Teste e modelagem geofísica das associações litotectônicas pré-cambrianas no Escudo Sul-rio-grandense.** Porto Alegre. 2v., 257p. Tese de Doutorado em Ciências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1997.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). **Carta Geológica: Folha Cachoeira do Sul SH.22-Y-A.** Escala 1:250000. 2000.

EARTH EXPLORER. Disponível em <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Acessado em 2016.

FOSSEN, H. **Geologia estrutural**. Tradução Fábio R. D. de Andrade. São Paulo. Oficina de Textos, 2012.

GASTAL, M.C.P. **Suíte Intrusiva Saibro, RS: avaliação de um modelo petrológico**. Porto Alegre, 365p. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1997.

GASTAL, M. C. P. & LAFON, J. M. **Gênese e evolução dos granitóides metaluminosos de afinidade alcalina da porção oeste do Escudo Sul-riograndense: geoquímica e isótopos de RB-SR e PB-PB**. Revista Brasileira de Geociências, 28(1): 11-28, março de 1998.

HARTMANN, L. A.; REMUS, M. V.D. Origem e evolução das rochas ultramáficas do Rio Grande do Sul desde o Arqueano até o Cambriano. In: **Geologia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre**. UFRGS. 2000.

HARTMANN, L. A.; CHEMALE JUNIOR, F.; PHILLIPP, R. P. Evolução Geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano. In: **50 Anos de Geologia**. 2007

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

HEILBRON, M. C. P. L.; PEDROSA-SOARES, A. C.; CAMPOS-NETO, M. C.; SILVA, L. C.; TROUW, R. A. J.; JANASI, V. A. Província Mantiqueira. In: **Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. 2004.

KOPPER, J. C.; HARTMANN, L. A.; CHEDID, P. F. & MONTEIRO, R. N **Aspectos Geológicos e Estratigráficos do Complex Bossoroca, São Sepé – RS**. SIMPOSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 2, Florianópolis. 1985.

KOPPER, J. C. **Metalogênese do ouro da Mina da Bossoroca, São Sepé, RS**. Porto Alegre. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, UFRGS. 1990.

LEINZ, V.; BARBOSA, A. F.; TEIXEIRA, G. A. **Mapa Geológico Caçapava - Lavras.** Bol. Div. Prod. Min. Secr. Agric. Ind. e Com., 90: 1-39, Porto Alegre. 1941.

MATTÉ, V. **O vulcanismo neoproterozóico alcalino na porção oriental do Plato da Ramada, oeste do escudo Sul-Rio-Grandense.** Dissertação de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências.

MOORHOUSE, W. W. **The study of rocks in thin section.** Harper's Geoscience Series, New York, Harper & Brother, 1959.

NAIME, R.H. **Geologia, geoquímica e petrologia do complexo granítico Ramada e do granito Cerro da Cria.** Dissert. Msc., Univ. Fed. RS, Porto Alegre. 1987.

NARDI, L. V. S. & Bonin, B. **Post-orogenic and non-orogenic alkaline granite associations: the Saibro intrusive suite, southern Brazil – A case study.** In: Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam. Chemical Geology, p. 197-211. 1991.

PEACOCK, D. C. P.; NIXON, C. W.; ROTEVATN, A.; SANDERSON D. J.; ZULUAGA, L. F. **Glossary of fault and other fracture networks.** In: Journal of Structural Geology. Elsevier, p. 12-29. 2016.

PHILIPP, R. P.; PIMENTEL, M. M.; CHEMALE JUNIOR, F. **Tectonic evolution of the Dom Feliciano Belt in Southern Brazil: Geological relationships and U-Pb geochronology.** Brazilian Journal of Geology, 46(Suppl 1): 83-104, 2016. No prelo.

PORCHER, C. A.; LEITES, S. R.; RAMGRAB, G. E.; CAMOZZATO, E. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Passo do Salsinho. Foha SH. 22-Y-A-I-4.** Estado do Rio Grande do Sul. CPRM, 1995.

PORCHER, C. A.; LOPES, R. C. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Cachoeira do Sul, Folha SH22-Y-A.** Estado do Rio de Grande do Sul. Escala 1:250.000. Brasília: CPRM, 2000.

REEVES, R. G.; ANSON, A.; LANDEN, D. **Manual of remote sensing.** 1975.

RIBEIRO M.; BOCCHI P.R.; FIGUEIREDO FILHO P.M.; TESSARI R.I. **Geologia da Quadrícula de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul.** Boletim 127, DNPM/DFPM, Rio de Janeiro, RJ. 1966.

SOARES, M. S. **Processamento e interpretação de dados aerogeofísicos magnetométrico e gamaespectrométricos no estudo do controle das mineralizações auríferas na região do Complexo Bossoroca, São Sepé, RS.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais. 2001.

STRECKEISEN, A. **Plutonic rocks. Classification and nomenclature recommended by the IUGS-Subcommission on the systematics of Igneous Rocks.** Geotimes, Washington, D.C., 18: 26-30. 1973.

TRAVASSOS, R. P. **Interpretação estrutural regional do Escudo Sul-riograndense - Rio Grande do Sul - Brasil, com base em aeromagnetometria.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Brasília (UNB), Instituto de Geociências - IG 2014.

United States Geological Survey (USGS). Disponível em <http://landsat.usgs.gov>. Acessado em 2016.

VAN DER PLUIJM, B. A. & MARSHAK, S. **Earth Structure: an introduction to structural geology and tectonics.** Ed. 2nd. 2004.

VAUCHEZ, A. Ribbon texture and deformation mechanism of quartz in a mylonitized granite of Great Kabylia (Algeria). **Tectonophysics.** Amsterdam, p. 1-12. 1980.

ANEXO

Anexo 1: Mapa de pontos utilizados para a análise estrutural.

