

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

RENAN SILVA FIORE

**ANÁLISE ESTRUTURAL DA REGIÃO DE PICADA GRANDE COMO SUPORTE
PARA A PROSPECÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA, CAÇAPAVA DO SUL, RS**

RENAN SILVA FIORE

**ANÁLISE ESTRUTURAL DA REGIÃO DE PICADA GRANDE COMO SUPORTE
PARA A PROSPECÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA, CAÇAPAVA DO SUL, 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: Giuseppe Betino de Toni

**Caçapava do Sul
2024**

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) .

F518a Fiore, Renan Silva

Análise Estrutural da região de Picada Grande como suporte
para prospecção de água subterrânea em Caçapava do Sul-RS /
Renan Silva Fiore.

83 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Universidade
Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2024.

"Orientação: Giuseppe Betino de Toni".

1. geologia estrutural. 2. lineamentos estruturais. 3.
aquífero fraturado. 4. água subterrânea. 5. hidrogeologia. I.
Título.

Renan Silva Fiore

Caracterização geológico-estrutural da região de Picada Grande (Caçapava do Sul, RS) como suporte à prospecção de água subterrânea

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 19 de dezembro de 2024.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Giuseppe Betino De Toni

Orientador

Universidade Federal do Pampa

Profa. Msc. Mariah X. Rocha

Universidade Federal do Pampa

Prof. Dr. Tiago R. Gregory

Universidade Federal do Pampa



Assinado eletronicamente por **GIUSEPPE BETINO DE TONI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 19/12/2024, às 13:46, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **MARIAH XAVIER ROCHA, PROFESSOR MAGISTERIO SUPERIOR - SUBSTITUTO**, em 19/12/2024, às 13:53, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **TIAGO RAFAEL GREGORY, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 19/12/2024, às 14:18, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1617468** e o código CRC **FAAA8ACB**.

RESUMO

O município de Caçapava do Sul apresenta comunidades rurais que sofrem com a falta de abastecimento d'água em períodos de estiagem. O presente trabalho foi desenvolvido em uma das comunidades afetadas pela falta de água periódica no interior do município, na região de Picada Grande. Tem como meta, verificar do ponto de vista da Geologia Estrutural, áreas promissoras para a prospecção de água subterrânea previamente estudadas do ponto de vista geofísico, com uso do método de eletrorresistividade, definindo pontos de potencial hídrico para perfuração de poços tubulares profundos. Com a utilização de técnicas de sensoriamento remoto para identificação de lineamentos de escala regional, aliado a levantamentos estruturais em escala de campo, além de compilação e integração de base de dados prévios, foi possível apresentar mapas de ponto e geológico-estrutural, estereogramas e uma seção integradora e assim, compreender a deformação dúctil e rúptil e o controle que exercem sobre o aquífero fissural da área de estudo. Na área de estudo encontram-se predominantemente sienogranitos foliados (Complexo Granítico Caçapava do Sul) na porção oeste e xistos de origem metavulcânica na porção centro-leste, com foliações de baixo a médio ângulo para leste, concordante com o contato entre as unidades. Arenitos (Grupo Maricá) ocorrem subordinados a leste. As rochas apresentam fraturas predominantemente de alto ângulo e direção NE-SW e NW-SE. Diversas evidências de campo sugerem que as estruturas NE-SW presentes próximo ao contato, de direção N-S, exercem controle no fluxo de água subterrânea, assim como a intersecção destas com o contato representado por um grande lineamento N-S (010-190) tem provável papel de área de recarga para ocorrências de água subterrânea previamente reconhecidas por análises geofísicas, o que ressalta a importância da sua preservação do ponto de vista hidrogeológico.

Palavras-chave: geologia estrutural; lineamentos estruturais; aquífero fraturado; aquífero fissural; água subterrânea; hidrogeologia.

ABSTRACT

The municipality of Caçapava do Sul has rural communities that suffer from a lack of water supply during periods of drought. This work was carried out in one of the communities affected by the periodic lack of water in the interior of the municipality, in the Picada Grande region. Its aim is to verify, from the point of view of structural geology, promising areas for groundwater prospecting that have previously been studied from a geophysical point of view, using the electroresistivity method, defining points of water potential for drilling deep tube wells. With the use of remote sensing techniques to identify lineaments on a regional scale, combined with structural surveys on a field scale, as well as the compilation and integration of previous databases, it was possible to present point and geological-structural maps, stereograms and an integrating section and thus understand the ductile and brittle deformation and the control they exert on the fissure aquifer in the study area. The study area contains predominantly foliated syenogranites (Caçapava do Sul Granitic Complex) in the west and schists of metavolcanic origin in the central-east, with low to medium angle foliations to the east, in line with the contact between the units. Sandstones (Maricá Group) occur subordinately to the east. The rocks show predominantly high-angle fractures in a NE-SW and NW-SE direction. Several pieces of field evidence suggest that the NE-SW structures present near the contact, in a N-S direction, control the flow of groundwater, and the intersection of the contact with the N-S lineament (010-190) probably plays a role as a recharge area for groundwater occurrences previously recognized by geophysical analyses, which highlights the importance of preserving it from a hydrogeological point of view.

Keywords: structural geology; structural lineaments; fractured aquifer; fissure aquifer; groundwater; hydrogeology.

Sumário

1 INTRODUÇÃO	7
1.2. OBJETIVOS	8
1.3. JUSTIFICATIVA	8
2 ÁREA DE ESTUDO	10
3 CONTEXTO GEOLÓGICO	11
3.1. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	11
3.2. CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL	13
3.2.1. COMPLEXO PASSO FEIO (CPF)	14
3.2.2. COMPLEXO GRANÍTICO CAÇAPAVA DO SUL (CGCS)	15
3.2.3. GRUPO MARICÁ (GM)	16
3.3. FRATURAMENTO REGIONAL	17
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
4.1. DEFORMAÇÃO DE ROCHAS	18
4.2. AQUÍFEROS FRATURADOS	25
4.3 - PROSPECÇÃO EM AQUÍFEROS FRATURADOS NA PICADA GRANDE	30
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	37
6 ANÁLISE DE LINEAMENTOS.....	40
7 GEOLOGIA E ESTRUTURA DA REGIÃO DE PICADA GRANDE	43
8. DISCUSSÃO	72
REFERÊNCIAS.....	78

1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da humanidade a proximidade de uma fonte d'água foi um fator preponderante para a formação de assentamentos, sendo responsável pela mudança no hábito de vida dos humanos, onde abandona-se o modo de vida nômade de caça e adota-se o modo de vida sedentário com a prática da agricultura primitiva (Harari, 2015). Sendo assim, a necessidade do acesso à água limpa e própria para o consumo humano se tornou um fator imprescindível para suprir necessidades como, por exemplo, a dessedentação, a obtenção de alimento através da agricultura e a higiene básica. Com o passar do tempo, a disponibilidade de água potável superficial foi se tornando escassa, considerando o aumento da população humana e, por consequência, a maior demanda e poluição dos mananciais. Os períodos de estiagem somam-se aos fatores que agravam ainda mais esse quadro. O contexto de falta de água superficial é observado em diversas regiões do Brasil, citando-se aqui o município de Caçapava do Sul/RS, onde o aporte de água superficial não é suficiente para abastecer a população durante o ano todo, acarretando em falta de água encanada periodicamente durante o ano (Pereira, 2023).

Contudo, o aporte de água superficial não é a única solução para sanar a falta de água para a população. Com a escassez de água superficial se faz necessário a exploração do recurso de águas subterrâneas para tentar suprir as necessidades hídricas da população. Quando se trata da água e seu ciclo hidrológico, deve ser levada em conta a absorção dessa água pelo solo e pela rocha na qual percola. Portanto, em condições favoráveis, pode ocorrer acumulação de água subterrânea, e, quando descoberta, pode vir a ser explorada, caso suas características sejam próprias para o consumo humano. Quando a acumulação d'água ocorre subterraneamente forma-se um aquífero e os tipos de aquíferos variam de acordo com a litologia. Aquífero é uma formação geológica que contém e permite que quantidades significativas de água se movimentem em seu interior em condições naturais. De acordo com Feitosa et al. (2008), as reservas de um aquífero ou sistema aquífero podem ser consideradas como um volume armazenado passível de mobilização, isto é, o volume armazenado pode sofrer deslocamentos sem que seja pela vazão de escoamento natural gerada pela recarga do mesmo.

O acesso a água é de suma importância e, levando-se em conta a Declaração Universal dos Direitos à Água (ONU - 1992), a água limpa e segura e o saneamento são um direito humano essencial para gozar plenamente a vida e todos os outros direitos humanos. Sendo assim, a água potável não se trata de um bem, mas sim um direito legal. Além disso, deve ser considerada a Portaria do Ministério da Saúde da República Federativa do Brasil (nº 2914 de 12 de dezembro de 2011), que, por sua vez, aborda os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Na região de Picada Grande, interior de Caçapava do Sul-RS, ocorre o problema de falta de água encanada para a população em períodos de estiagem, com relato de moradora que comunicou a falta de água periódica, dizendo ainda que chegou a faltar água por 4 meses do ano. Por conta disso, o presente trabalho pretende reunir subsídios estruturais e hidrogeológicos para auxiliar em algum projeto futuro de perfuração de poço na área de estudo.

1.2. Objetivos:

1.2.1. Geral:

O objetivo desse trabalho é oferecer subsídios para prospecção de água subterrânea na região de Picada Grande, Caçapava do Sul, RS.

1.2.2. Específico:

Análises de lineamentos estruturais através de sensoriamento remoto e análise estrutural e geologia de campo, visando a conferência de áreas com elevado potencial para prospecção de água subterrânea que tenham sido reconhecidas via sensoriamento remoto em trabalhos prévios citados no próximo capítulo.

1.3. Justificativa:

A falta de água na região foi observada em uma saída de campo do Componente Curricular Mapeamento Geológico I, no segundo semestre de 2022 do curso de Geologia do Campus de Caçapava do Sul (Plano Pedagógico do Curso de Geologia – UNIPAMPA, 2014,). Nas atividades de campo, em conversa entre um dos grupos de trabalho e uma moradora da região (Alci Moraes), foi relatada a falta de água encanada em períodos de estiagem entre os meses de janeiro e fevereiro e que em um contexto mais atual esse período se iniciou dois meses antes, em novembro. O abastecimento de água dos moradores da região se dá por uma caixa

d'água comunitária que recolhe água de uma fonte natural, que por sua vez não faz parte da rede de abastecimento da cidade, gerenciada pela Companhia Rio-Grandense de Saneamento (CORSAN).

A facilidade de deslocamento para a realização das etapas de campo do presente trabalho se justifica, levando em conta a proximidade da área de interesse com o Campus Caçapava do Sul, aliado à necessidade do município de sanar o problema de falta de água de comunidades afastadas do centro urbano. Assim, os custos envolvidos com essas saídas de campo seriam baixos e com alto potencial de retorno.

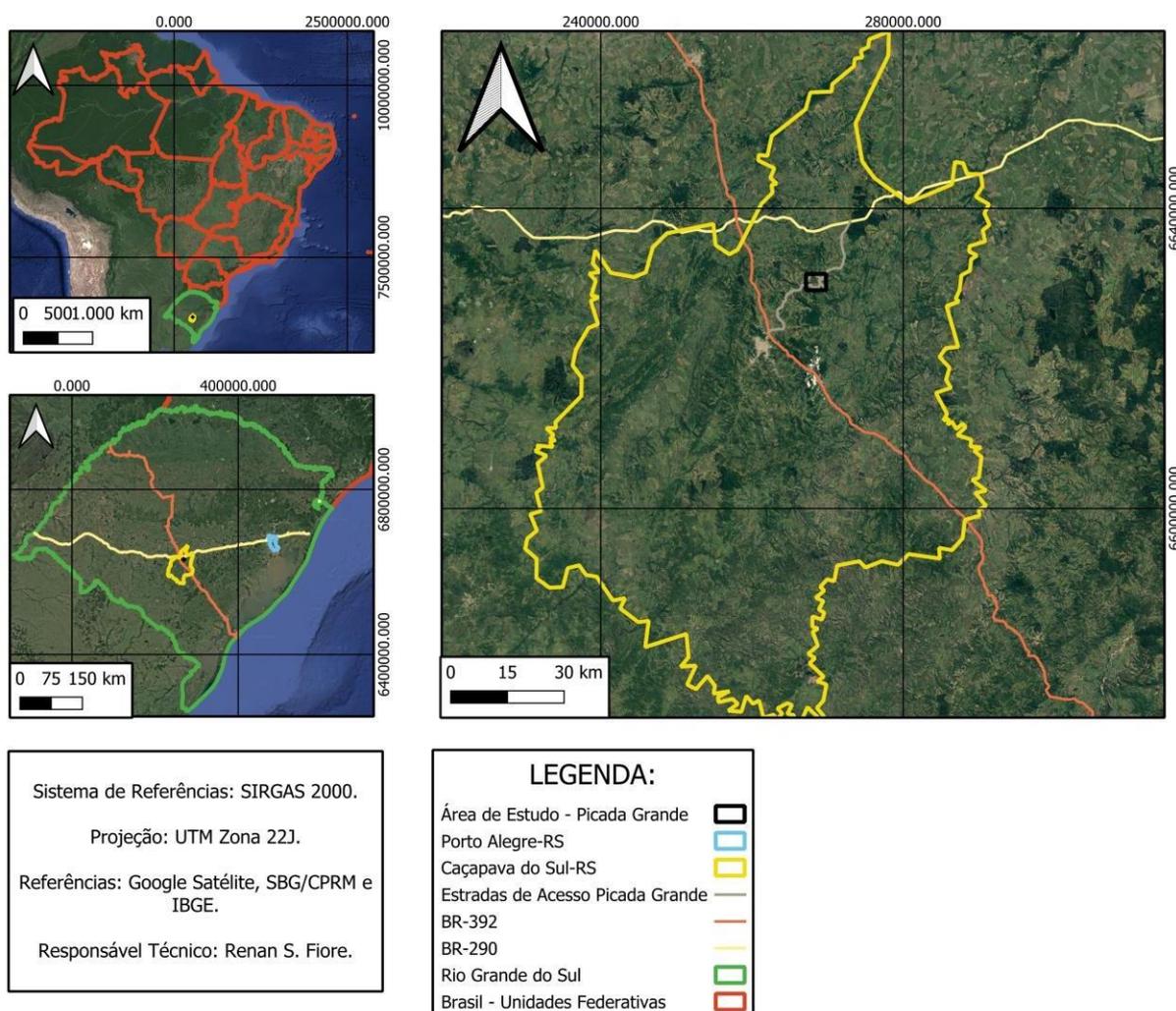
Considerando o tripé Pesquisa-Ensino-Extensão, sabe-se que é de extrema importância o retorno do investimento feito na educação para a população da região. Desta forma, a proposta do presente trabalho se justifica pelo reconhecimento de um problema através de uma atividade de ensino e o emprego de técnicas de pesquisa na proposição de uma solução extensionista.

2 ÁREA DE ESTUDO

A cidade de Caçapava do Sul se encontra no estado do Rio Grande do Sul, na porção centro sul do estado. Para chegar até o município, considerando o ponto de partida sendo a capital do estado, Porto Alegre, o trajeto mais recomendado é utilizar a BR-116 para chegar na BR-290, sentido oeste até o entroncamento com a BR-392, para sul, até o município de Caçapava do Sul, percorrendo uma distância total de aproximadamente 253 km.

A geomorfologia do município apresenta um relevo em forma de coxilhas, onde as melhores estações do ano para realização de atividades de campo nesta região é verão/primavera, por serem momentos onde o tempo se apresenta mais quente e seco do que outono/inverno.

Figura 1 – Mapa de localização Caçapava do Sul.



(Fonte: autor)

3 CONTEXTO GEOLÓGICO

3.1. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

No que compreende o conhecimento geológico da área, a evolução ocorreu a partir de trabalhos pioneiros de Leinz et al. (1941), onde o mapa geológico Caçapava do Sul-Lavras do Sul deu suporte a vários trabalhos posteriores, como por exemplo Ribeiro et al. (1966), Tessari e Picada (1966), Picada (1971), Ribeiro & Fantinel (1978) e Ribeiro (1980), na investigação estrutural da região. Posteriormente vieram trabalhos com dados geofísicos, como Fernandes et al. (1995) e dados aeromagnetométricos de Costa (1997, *apud* Hartman et al., 2007) e Travassos (2014), tornando assim possível a compartimentação geotectônica do Escudo Sulriograndense (ESrg).

Após estes levantamentos, a geocronologia se tornou o foco dos projetos de estudos na região, tendo em trabalhos como de Chemale Jr (2000) e Hartman (2007) uma boa base de dados para estudos geocronológicos no ESrg.

Ribeiro et al. (1966), identifica dois sistemas principais de falhas: Irapuá (SFI) e Cerro do Vigia (SFCV), sendo suas direções NE e NW respectivamente. Contudo, apresentam diferenças entre si: o SFI controla as mineralizações de cobre em zonas de falha de grande extensão, compostas por várias falhas individuais com ângulos variando de 35° a 45° da falha principal; enquanto o SFCV é representado por fraturas tensionais, apresentando extensão menor em relação ao SFI, comumente preenchidas por diques de diabásio.

Ribeiro (1980), diz que os lineamentos regionais estão alinhados predominantemente nas direções N50E e N50W, gerando uma rede ortogonal de fraturas, onde o mesmo considera as duas direções contemporâneas, com a direção mais proeminente sendo a N50E e a direção N50W continuamente intrudida por granitos e diabásios no Pré-Cambriano, e diabásios, rochas alcalinas e kimberlitoídes ultramáficos no Mesozoico. Almeida (1977) sugere que as intrusões mesozoicas podem estar ligadas com a reativação da Plataforma Sulamericana e a abertura do Oceano Atlântico que, por sua vez, geraram os arcos estruturais de Rio Grande e Ponta Grossa.

O município de Caçapava do Sul se encontra no contexto geológico do Escudo Sul-rio-grandense (ESrg), uma unidade geomorfológica composta por assembleias petrotectônicas formadas principalmente no Paleoproterozoico e

Neoproterozoico (CHAMALE Jr. 2000), formado por processos de deformação de crosta continental, ocorrendo principalmente em dois ciclos orogênicos: o Ciclo Transamazônico (2,26-2,00 Ga) e o Ciclo Brasileiro (600-535 Ma). O Ciclo Brasileiro compreendeu eventos de subducção, acreção e colisão, originando o que se denomina de arcabouço neoproterozoico do ESrg (HARTMANN et al., 1998). O ESrg se subdivide em cinco unidades geotectônicas, sendo elas:

Bloco Taquarembó (BTa): Unidade composta por granulitos básicos, trondhjemitos e tonalitos ácidos, com idade paleoproterozoica, representando um fragmento do Cráton Rio de La Plata, localizado no extremo sudoeste do estado. Hartmann (1998), descreve quatro principais eventos metamórficos nesta unidade, contudo o BTa sofreu intenso retrabalhamento durante o ciclo Brasileiro no Neoproterozoico. É limitado ao norte pela Zona de Cisalhamento de Ibaré, ao leste pela zona de cisalhamento de Caçapava do Sul e ao sul e oeste é coberto pela Bacia do Paraná.

Faixa Tijucas (FT): rochas desmembradas em distintas unidades geológicas, porém com importância grande de duas unidades que apresentam metamorfismo entre fácies xisto verde e anfibolito: Complexo Encantadas, rochas paleoproterozoicas granito-gnáissicas e anfibolíticas; e Complexo Porongos, se tratando de rochas supracrustais e metavulcânicas cálcico-alcálicas formadas entre 773-783 Ma, além de rochas graníticas, geradas entre 595-543Ma pelo evento Dom Feliciano (CHAMALE JR., 2000). Ocupa a porção central do ESrg, separado a leste do Batólito de Pelotas pelas zonas de cisalhamento do Passo do Marinheiro e Dorsal de Canguçu, a oeste separado da Bacia do Camaquã pela zona de cisalhamento Caçapava do Sul. Sendo seu embasamento (2,2Ga), composto por gnaisses da associação TTG (tonalitos-trondhjemitos-granodioritos). (HARTMANN et al., 2007; CHAMALE JR, 2000).

Bloco São Gabriel (BSG): unidades em sua maioria juvenil com rochas derivadas de um manto neoproterozoico. É delimitado ao leste pela anomalia magnética de Caçapava do Sul (Costa, 1997), ao sudoeste pela Zona de Cisalhamento de Ibaré e ao norte pela cobertura fanerozoica da Bacia do Paraná. É constituído por associações petro-tectônicas justapostas relacionadas ao desenvolvimento de um ciclo orogênico com idade entre 860 e 680 Ma, denominado como Evento São Gabriel (Chemale Jr., 2000). Em sua evolução geotectônica foram reconhecidas quatro fases de deformação (SAALMANN et al., 2006).

Batólito Pelotas (BP): composto por suítes e complexos graníticos com septos do embasamento (HARTMANN et al., 2007).

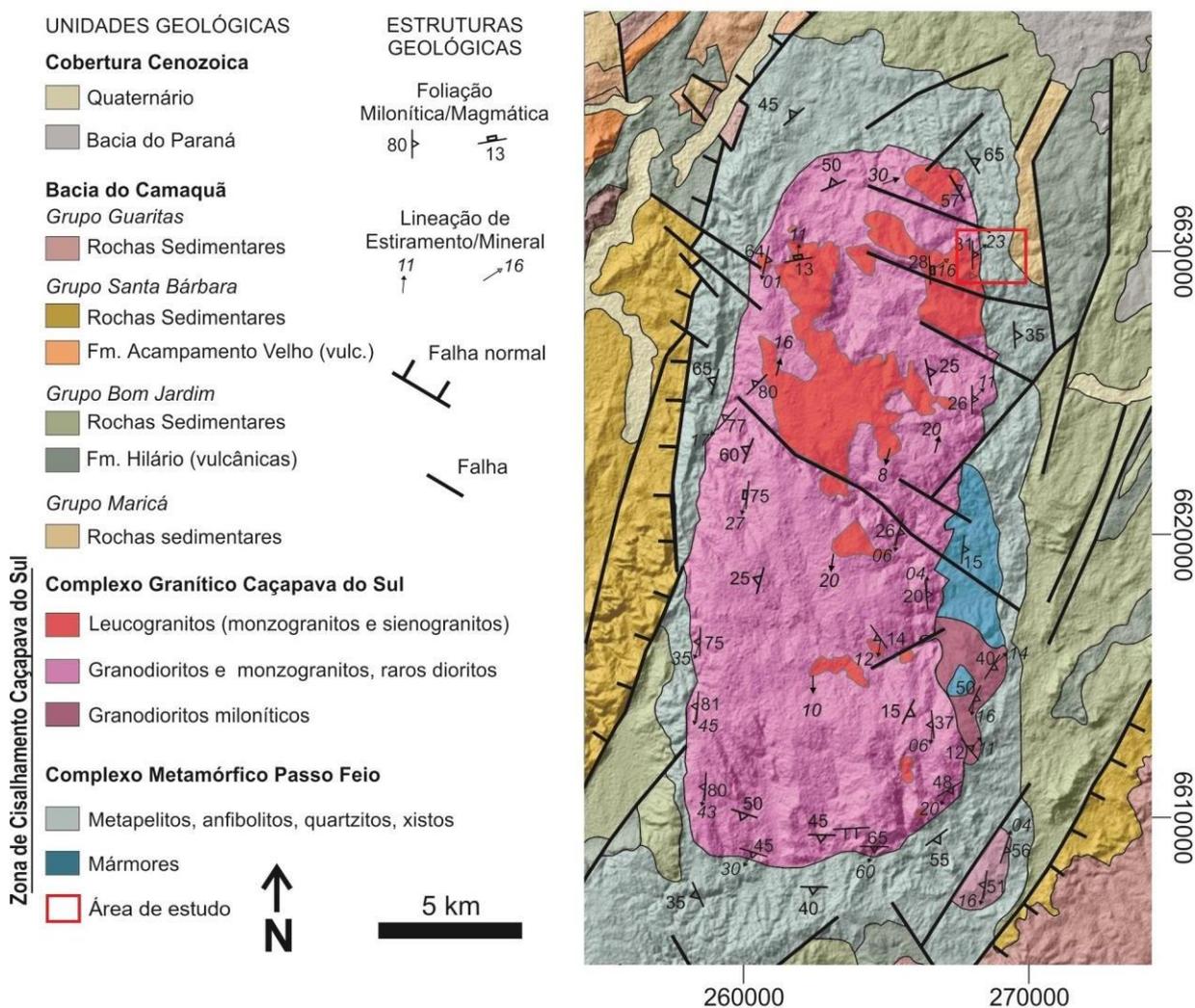
Bacias Sedimentares Pós-Orogênicas: Bacia do Camaquã (BC) apresenta a maior extensão territorial entre as unidades do ESrg. No entanto, se trata de uma série de bacias que se sucederam no tempo, ocupando um mesmo lócus deposicional, alongadas no sentido NE-SW (BORBA, 2006; HARTMANN et al., 2007). Registra em seu interior a evolução dos estágios tardi e pós-colisionais da Orogênese Dom Feliciano (630-510 Ma), em uma evolução de ambiente marinho raso para continental, dominando os ambientes flúvio-lacustres e desérticos, caracterizada por vulcanismo e sedimentação (LIMA & NARDI, 1998) comumente associados a um sistema de bacias tardi a pós-orogênicas (PAIM et al. 2000; PAIM et al. 2014).

Os limites entre as unidades geológicas do ESrg são marcados por zonas de cisalhamento dúctil-rúptil e dúctil, representando estruturas de descontinuidade crustal de escala regional (PHILIPP et al., 2007) que, por se tratar de descontinuidades rúpteis-dúcteis, geram lineamentos possíveis de serem estudados na região alvo. Tal região se encontra no limite dos domínios Bloco São Gabriel e Faixa Tijucas, tendo como foco o Complexo Passo Feio (CPF), Complexo Granítico Caçapava do Sul (CGCS) e Grupo Maricá (GM).

3.2. CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL

A geologia local do município de Caçapava do Sul pode ser exemplificada pela Figura 2, onde se tem o mapa geológico do município. Neste mapa se observa o nítido predomínio de um corpo granítico contornado por rochas metamórficas mais antigas, porém, com presença considerável de rochas sedimentares adjacentes às rochas metamórficas (bacias orogênicas).

Figura 2 – Mapa geológico do município de Caçapava do Sul-RS com suas principais unidades geológicas.



Fonte: extraído de Nascimento (2024), após modificações de De Toni e Costa (2024) e Hoerlle (2022).

3.2.1. Complexo Passo Feio (CPF)

O CPF se trata de uma sequência vulcano-sedimentar polimetamórfica. Composto de metapelitos, anfibolitos, metavulcanoclásticas, mármoreos dolomíticos, quartzitos, rochas cálcio-silicáticas, xistos magnesianos, rochas quartzofeldspáticas e metavulcânicas. O CPF se apresenta estruturado como uma antiforme alongada na direção N-S com mergulho para NW e núcleo ocupado pelo Complexo Granítico Caçapava do Sul (CGCS) (BITENCOURT, 1983). A maioria dos granitoides do sul do Brasil está relacionada ao Ciclo Orogênico Brasileiro/Pan Africano, ocorrendo subducção de crosta oceânica (800-700Ma) e eventos colisionais entre continentes e arcos magmáticos (700-500Ma) (BITENCOURT & NARDI, 2000), consolidando o supercontinente Pangeia. Diversos autores (e.g. Bonin et al. 1998) destacam que o

ciclo orogênico de Wilson termina gerando acreção de blocos continentais. Liegeois (1998), define a colisão como o impacto inicial de duas ou mais placas continentais, caracterizados por grandes empuxos e metamorfismo de alta pressão salientando ainda que se sucede um período pós-colisional marcado por mega zonas de cisalhamento e pelo surgimento de isotermas regionais, produzindo uma grande variedade de magmas.

O CPF foi submetido aos principais eventos metamórficos regionais, sendo o primeiro evento há 700 Ma, resultando em rochas de fácies anfíbolito, zona da estauroлита, enquanto o segundo evento gerou rochas de fácies xisto verde, zona da biotita (BITENCOURT, 1983; Costa et al., 2021). Metamorfismo de contato é restrito às bordas das apófises de granito e também afetou as rochas da região, sendo caracterizadas por recristalização (REMUS et al., 2000). O contato das litologias do CPF e do CGCG são concordantes com a foliação metamórfica

3.2.2. Complexo Granítico Caçapava do Sul (CGCS)

O CGCS apresenta área aproximada de 250 km², é a segunda unidade geológica mais presente dentro da área estudada na Picada Grande, datado em 562±8 Ma, segundo Remus et al. (2000). Apresenta características de um magmatismo ácido, cálcio-alcálico sin- a tardi-tectônico, em contexto pós-colisional, e de idade brasileira, apresentando um corpo alongado na direção N-S, constituído principalmente por sienogranito, monzogranito e granodiorito. A relação de contato entre as litologias se apresenta de modo que as rochas metamórficas do CPF ocorrem contornando e intrudindo o corpo granítico do CGCS, contemporaneamente à eventos vulcanossedimentares da Bacia do Camaquã (BC). O CGCS é composto por três fácies principais: i) biotita granitoides, rochas de coloração cinza que com a ação do intemperismo se tornam rosadas, contendo biotita e allanita como minerais acessórios principais; ii) leucogranitoide, rochas de coloração rosada, com baixo teor de minerais máficos, com granada e/ou muscovita localizadamente e predominam na porção norte do corpo granítico, e iii) granitoide transicional, ocorrendo principalmente na porção central e leste do complexo granítico e apresentam características geoquímicas intermediárias em relação às outras duas fácies citadas. O complexo ainda é caracteristicamente deformado (foliado) nas suas margens, onde suas medidas de foliação tendem a acompanhar o contorno do corpo, com valores de mergulho mais acentuados na porção oeste e valores de mergulhos mais

suaves na porção leste do corpo. Já nas porções centrais do corpo o mergulho da foliação tende a ser horizontal, principalmente na porção centro-norte do corpo. O desenvolvimento tanto da foliação quanto da lineação se apresenta mais intenso nas porções mais próximas à borda do CGCS (NARDI & BITENCOURT, 1989).

3.2.3. Grupo Maricá (GM)

O GM é composto por camadas de conglomerados na base, constituídos de seixos e rochas graníticas, ocorrendo predominantemente arenitos com grãos sub-angulosos de quartzo e feldspato, geralmente bastante compactos e podendo ser maciços ou com marcas onduladas. Leinz et al. (1941) descrevem que essa unidade repousa sobre granitos e xistos. Ribeiro et al. (1966), define o GM como sendo composto predominantemente por espessos pacotes de arenitos arcoseanos “sal e pimenta”, secundariamente conglomeráticos com pouca matriz e cimento argiloso, intercalando siltitos, ardósias e grauvacas finas com estratificação plano-paralelas. Em uma definição mais recente, Fragoso-Cesar et al. (2003), define o GM como a unidade basal do Super Grupo Camaquã, sendo o GM subdividido da base pro topo em três formações, sendo elas as formações: Passo da Promessa, São Rafael e Arroio América, com a formação aflorante da região de estudo sendo a Formação São Rafael.

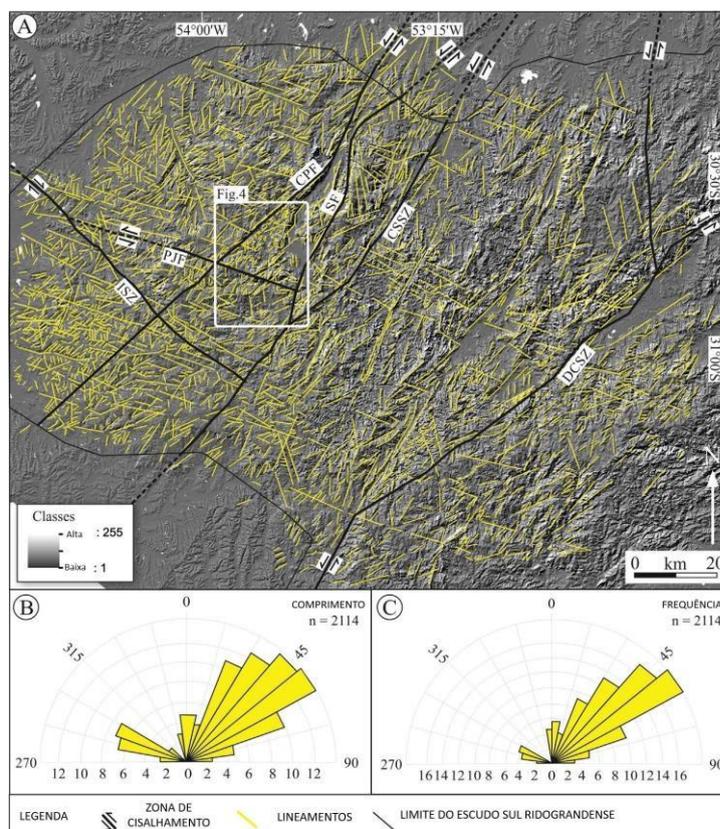
O GM aflora apenas no Terreno São Gabriel, recobrando rochas ígneas e metamórficas pertencentes aos complexos juvenis Cambaí e Vacacaí (LEINZ et al., 1941), onde o contato basal do GM com essas rochas, que hoje constituem o seu embasamento, não possuem boas exposições nas regiões do Passo do Salsinho, Vila Nova do Sul e Arroio América (BORBA et al., 2007).

Em relação a sua geocronologia, sua idade ainda é indefinida, podendo ter 630 a 600 Ma, referente ao final da colisão do terreno juvenil com o Cráton La Plata (SAALMANN et al., 2005). Suas camadas basais apresentam padrão de lineamento contrastado com o caráter maciço do embasamento. Além disso, intrusões tabulares de andesitos e riolitos, provavelmente da Formação Hilário (Grupo Bom Jardim) e Acampamento Velho (idades aproximadas 600-550 Ma), aproveitaram esses planos de fraqueza da zona de contato para se posicionarem durante os respectivos eventos magmáticos (BORBA et al., 2007).

3.3. Fraturamento Regional

A região centro-sul do Rio Grande do Sul se apresenta altamente fratura, sendo as principais direções de fraturamento NW e NE, onde as fraturas NW se apresentam menos abertas que as fraturas NE, Ribeiro (1980). A figura 2 a seguir, ilustra como a análise desses planos de fraturas, no caso de lineamentos, pode ser realizada com o uso do diagrama de rosetas. Os diagramas de roseta são subdivididos em diagramas de frequência, usados para representar padrões de tendência de atitude dos diferentes tipos de lineamentos, e diagramas de comprimento, onde a soma do comprimento dos lineamentos de uma dada direção é representada pelo tamanho respectivo da pétala representada no diagrama. Estes diagramas se mostram bastante úteis para setorizar a análise em subáreas, visto a variabilidade de medidas dentro de uma mesma área de interesse (FOSSEN, 2012), como ilustrado por Lopes et al. (2018) na figura 2.

Figura 2 – Análise de lineamentos estruturais do Escudo Sul-rio-grandense (Esrg) de acordo com Lopes et al. (2018). A) Lineamentos marcados em escala 1:10.000 com modelo digital de elevação ASTER do ESrg (Toniolo, 2007). Diagramas de rosetas de comprimento (B) e frequência (C).



Fonte: extraído de Lopes et al. (2018).

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

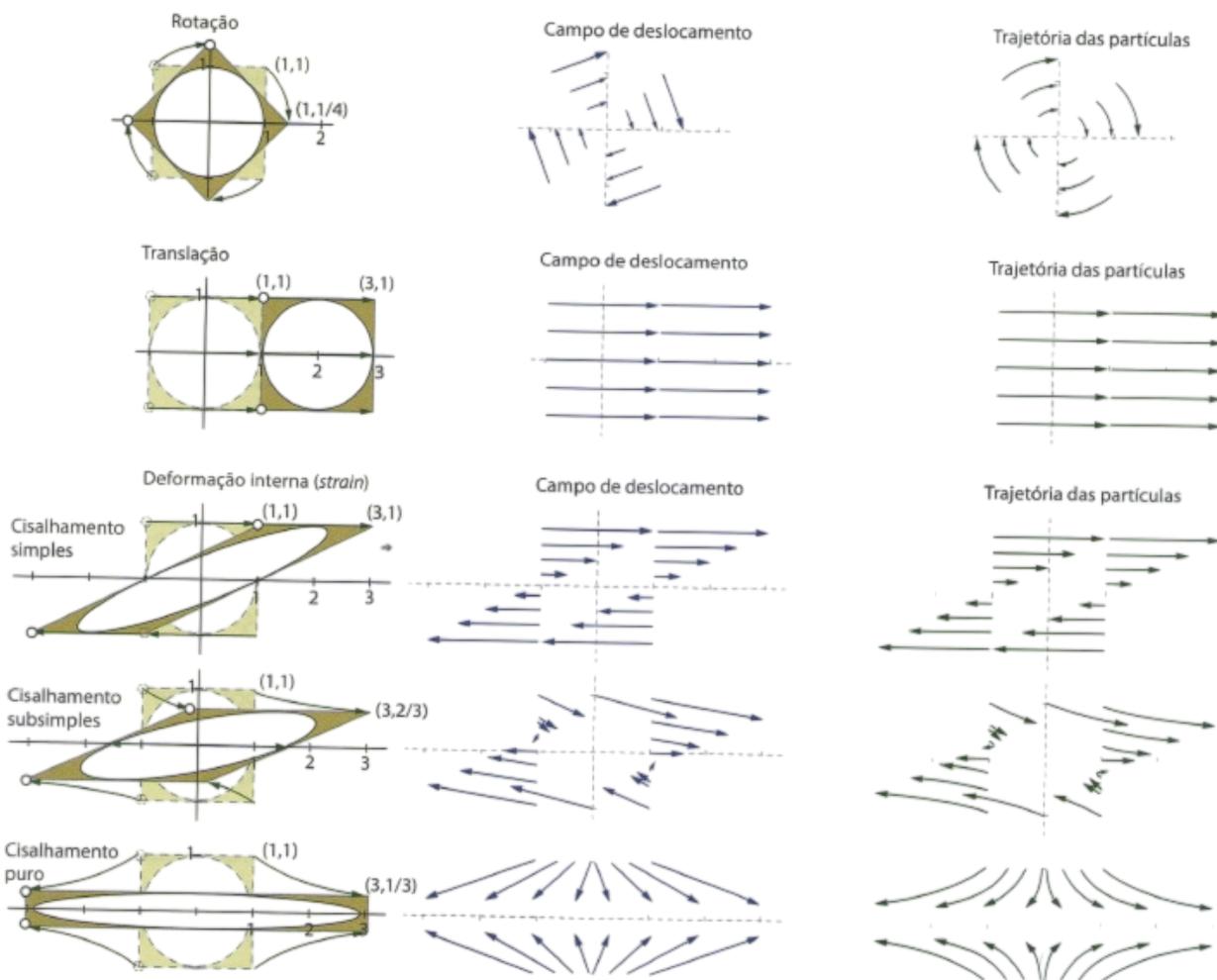
4.1. Deformação de Rochas

De acordo com Fossen (2012), uma estrutura geológica é uma configuração geométrica de rocha, sendo assim, a geologia estrutural é a parte da geologia que se dedica a definir geometricamente a distribuição e a forma dessas estruturas. Davis & Reynolds (1996) conceituam três categorias de estruturas fundamentais: estruturas primárias, contatos litológicos e estruturas secundárias, se diferenciando pelo momento ao qual se formam, sendo estruturas primárias e contatos litológicos formados durante a formação da rocha, enquanto as estruturas secundárias se dão como resultado do stress e deformação aplicados às rochas após suas formações.

Deformação é a transformação de uma geometria inicial em uma geometria final, através de rotação ou translação de corpo rígido, deformação interna e/ou mudança de volume (FOSSSEN, 2012). Saklani (2008) define stress (σ) como uma força por unidade de área, atuante na superfície de um sólido com suas componentes normais e cisalhantes. A deformação de um corpo acontece em resposta ao stress e se relaciona com as propriedades reológicas do corpo. Quando o corpo não suporta a quantidade de stress, a rocha pode se deformar ruptilmente ou ductilmente (DAVIS & REYNOLDS, 1996; FOSSSEN, 2012).

A Figura 3 a seguir mostra os campos de deslocamento e trajetória das partículas, em translação, rotação rígida e deformação (strain) resultante de cisalhamento simples, subsimples e puro.

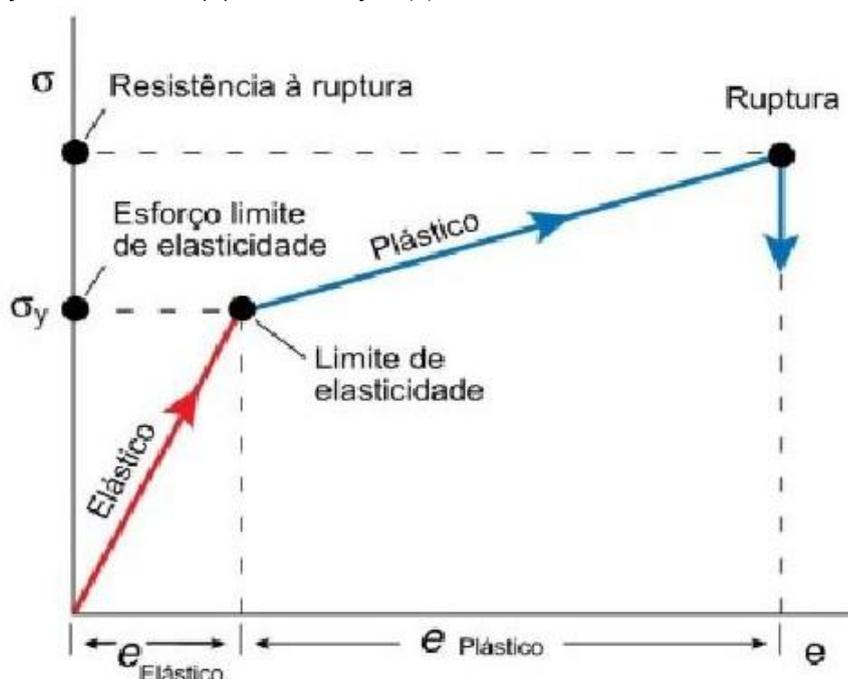
Figura 3 – Campos de deslocamento e trajetória das partículas.



Fonte: extraído de Fossen (2012).

Quando ocorre acúmulo de stress ao longo do tempo em uma região, as rochas podem sofrer deformação elástica pelo alongamento das ligações químicas, podendo retornar a sua configuração inicial após cessado o esforço. Contudo, caso o limite de deformação plástica seja extrapolado esta rocha não recupera sua forma geométrica inicial, por conta do acúmulo de tensão ao longo do tempo. Quando o limite elástico é extrapolado, deixa de ser uma deformação plástica, caso o esforço continuar a aumentar e o limite rúptil for superado, a rocha se fratura, como mostrado pela figura 4 (FOSSSEN, 2012), que mostra a relação entre stress e deformação nas rochas, podendo sofrer deformação plástica e/ou elástica, até o ponto em que ocorre fraturamento no ponto de ruptura.

Figura 4 – Relação entre stress (σ) e deformação (e).

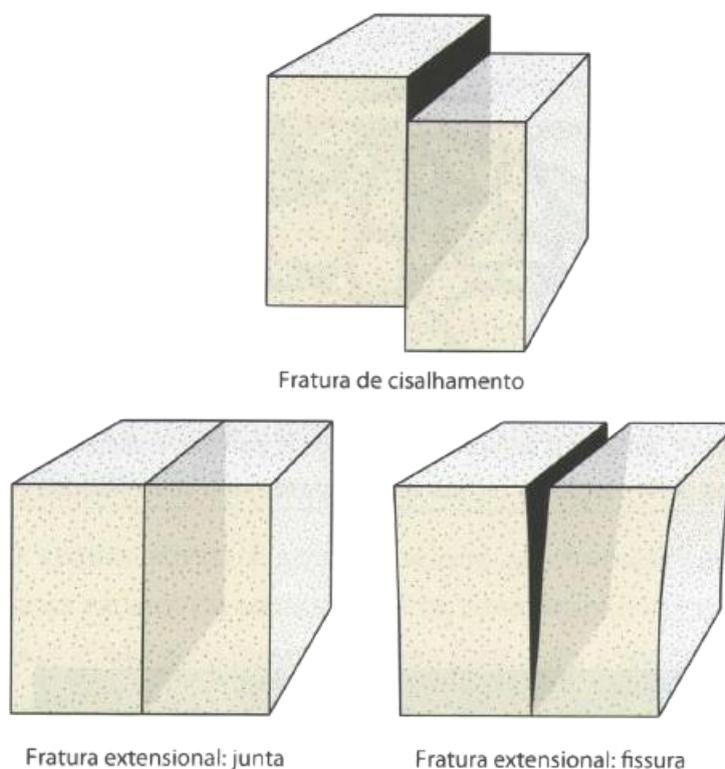


Fonte: extraído de Fossen (2010).

Van der Pluijm & Marshak (2004) define uma estrutura geológica como sendo uma característica geométrica da rocha, sendo assim suas formas e distribuições podem ser descritivas. Considerando juntas, veios e certos tipos de fraturas como deformação principalmente rúptil, enquanto foliação, dobramento e clivagem se tratam das manifestações dos processos dúcteis de deformação.

Uma fratura é qualquer descontinuidade plana ou subplana, delgada em uma direção em relação às outras duas e formada em resposta ao esforço externo (tectônica) ou esforço interno (térmico ou residual), sendo assim uma superfície onde o material teve perda de coesão/continuidade (FOSSEN, 2012). São estruturas que se formam principalmente em regime rúptil de deformação, que ocorrem após o campo de tensão exceder o limite de ruptura. Elas podem ser divididas em fraturas de cisalhamento, caracterizadas por superfícies de deslizamento e fraturas abertas ou de extensão (juntas, fissuras ou veios) como mostra a Figura 5.

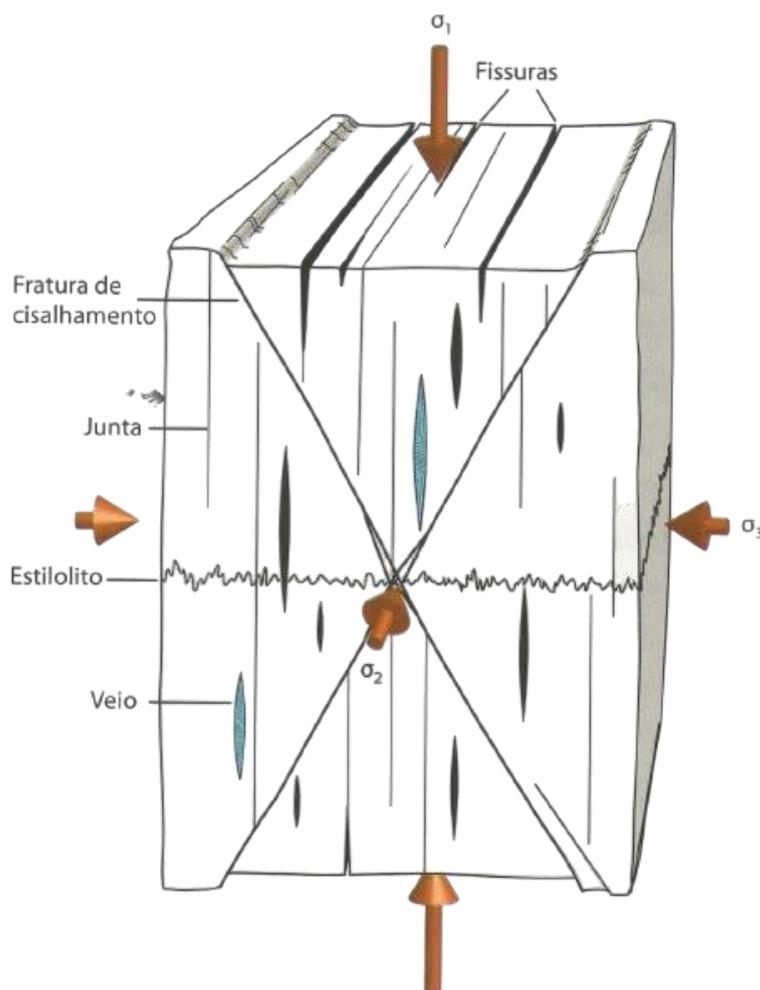
Figura 5 – Tipos de fraturas, segundo Fossen (2012).



Fonte: Fossen (2012).

A diferenciação do termo falha e fratura se dá de modo que a fratura é dita de cisalhamento quando se tem deslocamento relativo pequeno, normalmente em escalas milimétricas a decimétricas, enquanto o termo falha é empregado quando se tem um rejeito maior (FOSSSEN, 2012). Fraturas extensionais apresentam direção de abertura paralela a σ_3 , como ilustrado na Figura 6 a seguir, que exemplifica os principais tipos de fraturas e sua orientação com relação aos esforços principais σ_1 , σ_2 e σ_3 , representando respectivamente as direções de esforços maior, intermediário e menor.

Figura 6 – Orientação de vários tipos de fraturas.



Fonte: extraído de Fossen, (2012).

Fraturas podem ainda ser classificadas quanto ao seu preenchimento, onde podem ocorrer preenchidas por gás, fluidos, magmas ou minerais. Quando são preenchidas por ar ou outro fluído são chamadas de fissura; quando preenchidas por minerais denominam-se veios; quando são preenchidas por magma denominam-se diques. Dentre os tipos de estruturas rúpteis existem as principais são falhas, fraturas, juntas e fissuras (FOSSSEN, 2012).

Fraturas de cisalhamento ocorrem oblíquas a σ_1 e σ_3 , tendo um deslocamento paralelo a superfície da própria fratura e deste modo não podem se expandir, a menos que ocorram várias fraturas extensionais menores no perímetro da fratura cisalhante, diminuindo a resistência da rocha (FOSSSEN, 2012).

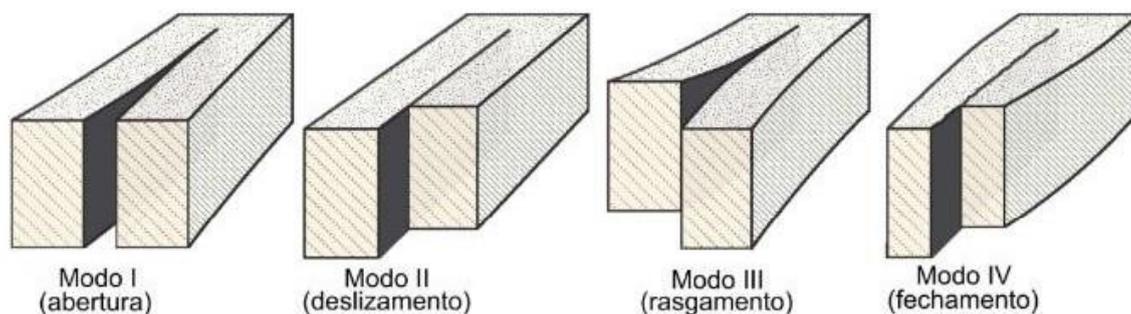
Fraturas desse tipo podem indicar uma contemporaneidade entre o evento ao qual a superfície se fratura e ao evento ao qual ela se desloca, podendo ainda ser

uma reativação e deslizamento ao longo da superfície de uma junta (DAVIS & REYNOLDS, 1996).

Os meios de propagação de fraturas podem ser classificados de acordo com três principais modos de propagação (FOSSEN, 2012). Ilustrado pela Figura 8, onde o chamado Modo I representa uma fratura de extensão com movimento relativo perpendicular à parede da fratura; o Modo II se trata de uma fratura caracterizada como movimento relativo paralelo à superfície de fratura; o Modo III ocorre quando o movimento de deslizamento é paralelo tanto à superfície de fratura como à ponta de propagação da fratura; tendo ainda um Modo IV, correspondendo às fraturas de fechamento, exemplificado pelos estilólitos. Estilólitos se tratam de superfícies de dissolução associadas a deformação (MCCLAY, 1987), tratando-se de estruturas de compactação de uma superfície bastante irregular (FOSSEN, 2012).

Sendo assim, os Modos II e III se tratam de fraturas cisalhantes, devido ao movimento paralelo à superfície da fratura, onde em um caso em que a fratura apresente componentes de deslizamento paralelas (II e III) e perpendiculares (I) ao mesmo tempo, é chamada fratura híbrida (FOSSEN, 2012).

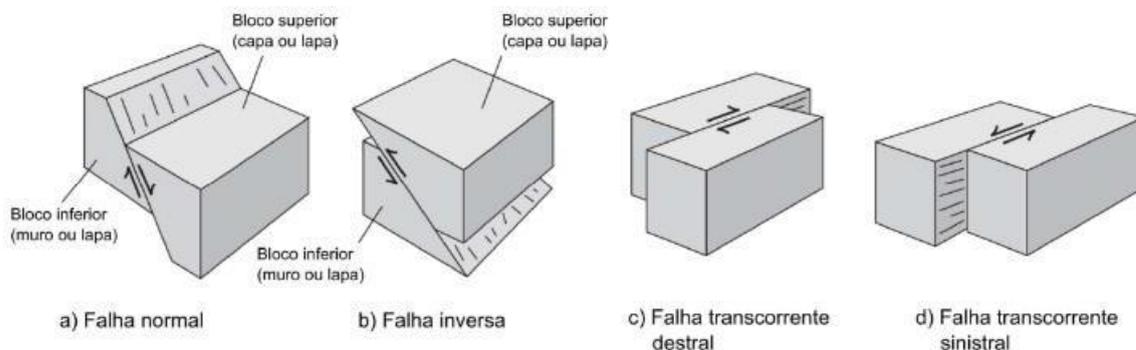
Figura 7 – Modos de propagação de fratura, segundo Fossen (2012)



Fonte: modificado de Fossen (2010)

Falhas, por sua vez, apresentam definições muito semelhantes às definições de fraturas cisalhantes, no entanto, apresentam rejeito na ordem de 1 metro ou mais, sendo estruturas muito mais complexas devido às zonas espessas que podem acomodar quantidades consideráveis de deformação na crosta superior (FOSSEN, 2012). Contudo, com relação a cinemática, são classificados em 3 tipos: normais, inversas e transcorrentes, essa última se subdividindo em dextral e sinistral (Figura 8).

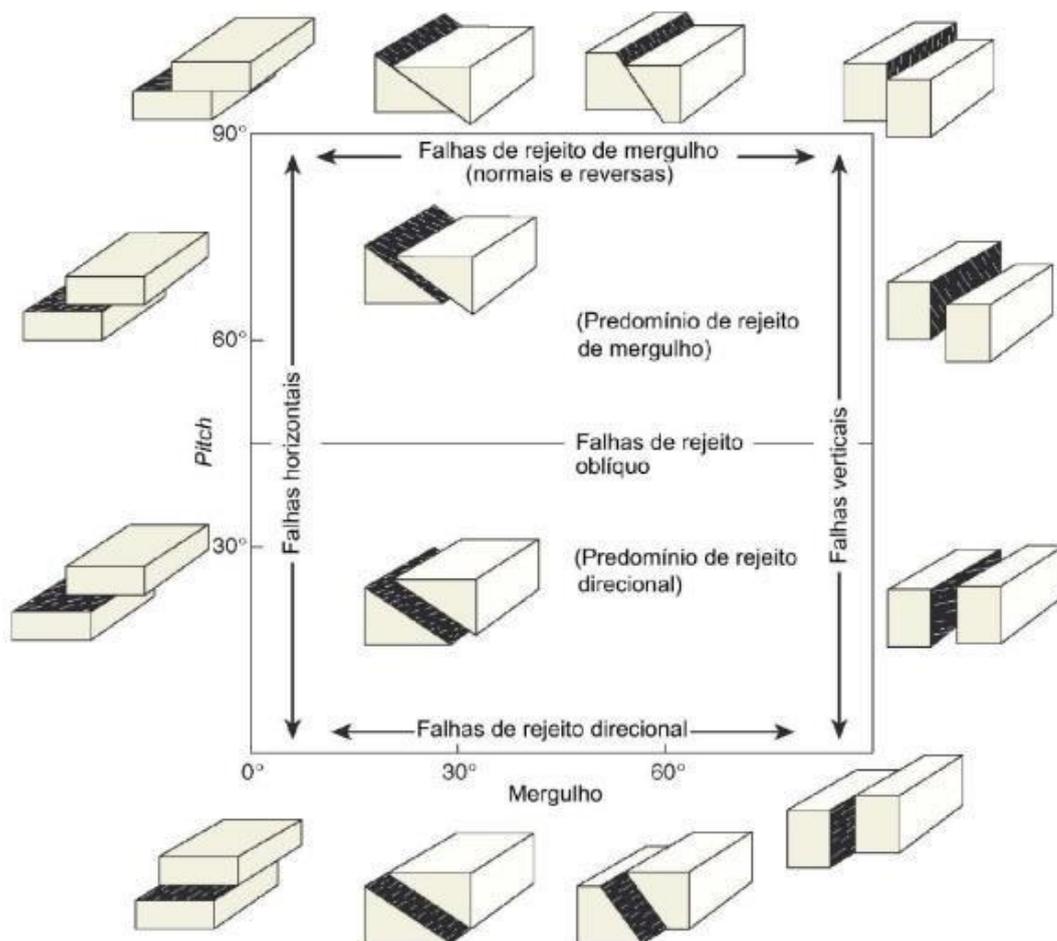
Figura 8 - Geometria e cinemática das falhas.



Fonte: modificado de Van der Pluijm & Marshak (2004).

Falhas ainda podem ser classificadas quanto ao mergulho do plano de falha e a seu *pitch* (obliquidade). Em termos mais específicos, são classificadas quanto ao ângulo de mergulho e obliquidade das estrias de deslizamento, como ilustrado na figura 9 (FOSSEN, 2012).

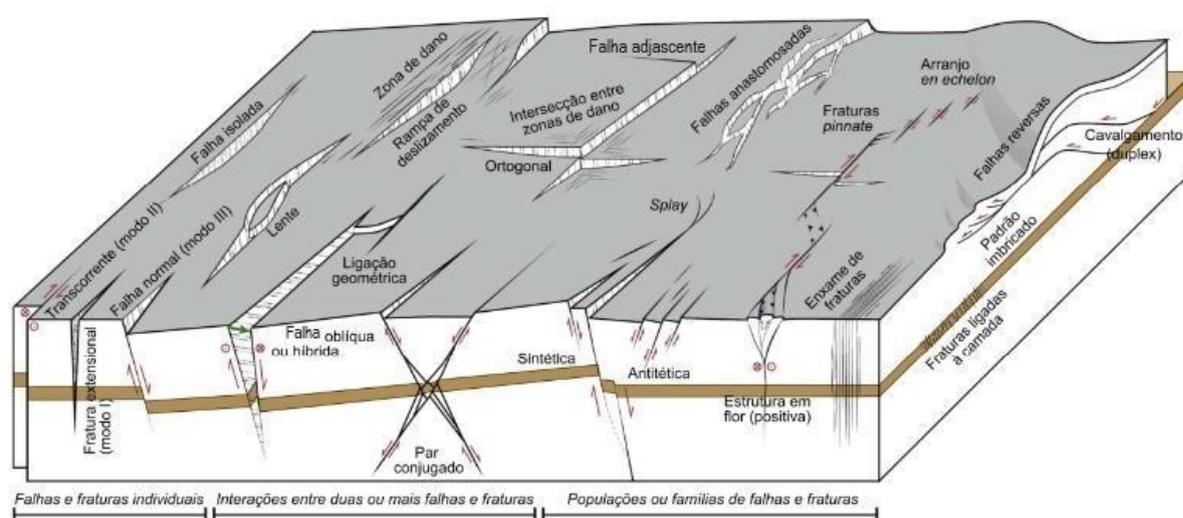
Figura 9 – Classificação de falhas com base no mergulho do plano de falha e o pitch ou obliquidade.



Fonte: extraído e traduzido de Fossen (2010).

Peacock et al. (2016), percebendo as contradições entre diferentes autores acerca das terminologias das estruturas rúpteis, sumarizaram em um glossário (Figura 10) as fraturas e falhas, com o foco em como estas estruturas se relacionam entre si. Este glossário destaca as estruturas de maneira individual, quando há interação entre duas estruturas e em famílias/populações de estruturas, com seus termos organizados em relação à geologia, geometria, topologia, cinemática e/ou mecânica.

Figura 10 – Diversos tipos de falhas e fraturas e suas interações.



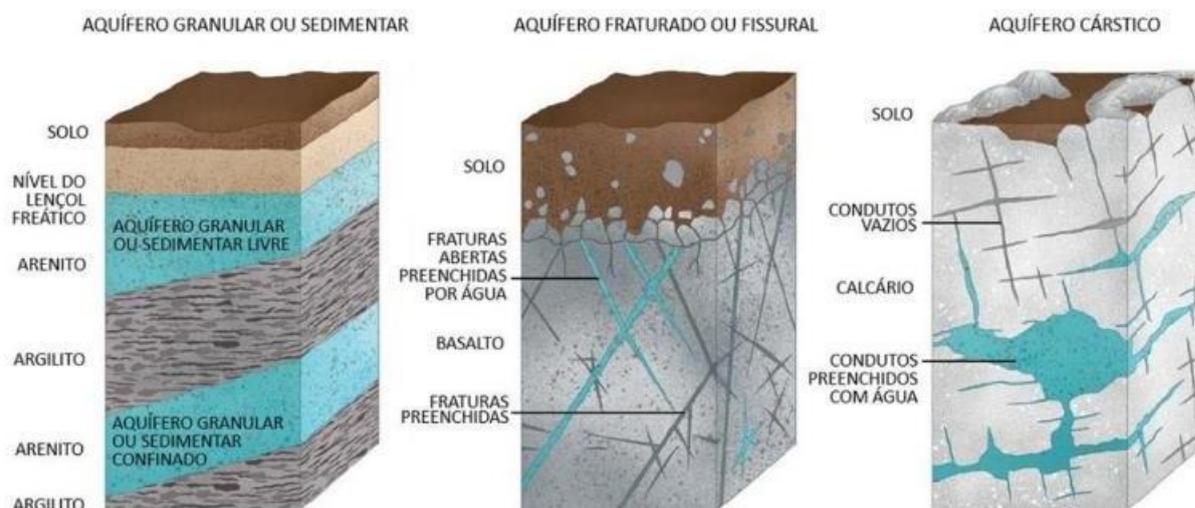
Fonte: extraído e traduzido de Peacock et al. (2016).

4.2 Aquíferos Fraturados

De acordo com Feitosa e Manoel Filho (1997), aquífero é uma formação geológica que apresenta água em sua porção interna, sendo um meio em que essa água tenha condições de se mover naturalmente em seu interior. Podem ser classificados de acordo com o tipo de porosidade da rocha que armazena a água, isto é, podem ser granular, fissural ou cárstico, conforme Figura 11 (Reginato et al., 2017).

Os aquíferos podem ainda ser classificados quanto às condições hidráulicas do reservatório: se o aquífero estiver entre duas camadas de rochas impermeáveis ele é denominado aquífero confinado; aquífero suspenso quando ocorre acumulação de água acima do nível freático da região; se houver duas camadas permeáveis ao seu redor o aquífero é chamado de aquífero livre ou freático; e quando ocorrem duas camadas confinantes pouco espessas, descontínuas ou relativamente permeáveis, o aquífero é chamado semi-livre ou semi-confinado (GIAMPÁ & GONÇALVES, 2006).

Figura 11 – Classificação de aquíferos quanto à porosidade da rocha armazenadora.



Fonte: modificada de Reginato et al. (2017).

Aquíferos fraturados estão relacionados a rochas normalmente ígneas e metamórficas, estruturalmente mais competentes, onde devido a esforços externos ou internos se apresentam falhadas e/ou fraturadas ao longo do reservatório, onde é possível a acumulação e circulação de água. A porosidade primária deste tipo de aquífero é baixa ou quase zero, uma vez que as rochas são densas, sendo a porosidade/permeabilidade fissural ou secundária devido às falhas, fissuras e fraturas, que podem estar presentes devido a esforços tectônicos (GIAMPÁ & GONÇALVES, 2006). De acordo com Ribeiro (1980), sua permeabilidade fica reduzida aos caminhos de percolação através das discontinuidades presentes no maciço rochoso contudo, discontinuidades do tipo xistosidade e estratificação apresentam pouca significação como armazenadores de água subterrânea.

Costa (1980), comenta que o comportamento de um maciço rochoso submetido a um campo de tensões no estágio frágil se comporta como um bloco de rocha submetido a ensaios de compressão uniaxial e triaxial, onde apenas dois tipos de estruturas podem acontecer, sendo elas: trativa e de cisalhamento. Quando o esforço compressivo é superior a resistência à tração ocorre a chamada ruptura por tração, ocorrendo paralelas ao esforço de tração e transversais à xistosidade, tendem a serem fraturas abertas; enquanto que se a resistência à tração do maciço for maior que tensão de tração tendem a ocorrer fraturas de cisalhamento, onde essas formam ângulos de 60° entre si, tendo o maior eixo de esforço compressivo

como bissetriz desse ângulo como mostra a Figura 7, correspondendo às fendas que o autor chama de fendas angulares, justificando que a razão pela qual as fraturas se desenvolvem perpendicularmente ao esforço compressivo original que ocorre por conta dessa direção apresentar o maior alívio de tensões.

Contudo, as principais estruturas que ocorrem em maciços rochosos se tratam principalmente de fraturas (falhas e juntas), brechas de falha e microfraturas (Ramsey & Huber, 1987). Costa (1980, 1982) descreve a importância das fraturas longitudinais para a hidrogeologia, sendo essas fraturas formadas no soerguimento do maciço rochoso por ação tectônica, fazendo com que as tensões de compressão, confinadas anteriormente no maciço, passem a funcionar na forma de tração.

Hancock (1985) descreve uma série de análises que devem ser desenvolvidas visando à obtenção do campo de paleotensões, recomendando o uso de indicadores cinemáticos, fazendo assim a classificação de juntas baseado na integralização de diferentes parâmetros, sendo eles: características macro e microscópicas; marcas superficiais; paralelismo, continuidade ou simetria das fraturas aliadas a indicadores cinemáticos; refração de fraturas controladas pela litologia; geometria curvilinear; arquitetura do sistema de fraturas e ângulo diedro entre conjugados.

Um exemplo de análise estrutural para prospecção de água subterrânea em aquíferos fraturados é o trabalho de tese de doutorado de Pedro A. R. Reginato (2003): Integração de Dados Geológicos para Prospecção de Aquíferos Fraturados em Trecho da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas (RS).

Aquele autor utiliza um método de prospecção proposto para aquíferos fraturados baseados nas características condicionantes dos mesmos, subdividindo os fatores condicionantes em: padrão estrutural da região (fator primário), morfologia (relevo), litologia, solo (tipologia) e hidrogeologia, com os quatro últimos fatores citados sendo considerados fatores secundários. Com o objetivo de, através dessas condicionantes hidrogeológicas, determinar os locais mais favoráveis para a prospecção dos aquíferos fraturados da região de estudo.

Na fase de coleta de dados o autor utilizou fotografias aéreas em escala 1:60.000, junto à CORSAN (Companhia Riograndense de Saneamento), informações sobre os poços tubulares existentes na região, dados meteorológicos e mapas base da região, para caracterização geral da região, juntamente com geração

de um banco de dados contendo as informações dos poços existentes e um mapa de lineamentos, obtidos através de fotointerpretação.

Na fase de mapeamento, foi realizado mapeamento geológico, levantamento pedológico, análise estrutural e cadastramento de poços tubulares para a elaboração dos planos de informações litológico, estrutural, pedológicos, geomorfologia e de cadastro dos poços. Posteriormente, a etapa de integração de dados visa a identificação das condicionantes geológicas e hidrogeológicas dos aquíferos fraturados da região. Com a conclusão do autor citado sendo um sistema aquífero condicionado pelos fatores: sistema estrutural, padrão de relevo, tipologia e espessura de solo.

A análise do sistema estrutural foi realizada com base em fotointerpretação e interpretação de produtos de sensoriamento remoto, identificando predomínio de estruturas tipo 2 (fraturas, zonas de fratura, veios e diques). Permitindo correlação de orientações preferenciais de lineamentos e poços tubulares produtivos com vazões entre 10 e 20m³/h para lineamentos de orientação NE, enquanto maiores vazões apresentam correlação com lineamentos NW.

A análise do padrão de relevo mostrou que áreas com alto gradiente topográfico não são favoráveis para a existência de poços tubulares profundos produtivos, sendo mais favoráveis áreas com declividade inferior à 30%.

A análise pedológica permitiu identificar que os tipos de solos presentes na região apresentam importâncias variadas contudo, a ocorrência deles associados a médias ou grandes espessuras de solo e a regiões de relevo menos íngreme tornam a área mais favorável à ocorrência de água subterrânea. Tendo os maiores valores de vazões associadas a solos dos tipos Cambissolos Brunos, Podzólicos e Terra- Bruna, enquanto poços tubulares profundos mais produtivos associam-se a solos do tipo Litossolos e Cambissolos.

O fator litologia apresenta correlação direta com a hidroquímica das águas subterrâneas, uma vez que o campo das rochas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas está diretamente relacionada com os processos intempéricos que atuam sobre as rochas da região, com rochas vulcânicas ácidas apresentando maior correlação com poços tubulares produtivos.

Outro trabalho que exemplifica o método utilizado para a elaboração da metodologia, é o artigo Utilização Conjunta de Dados de Fraturas e Lineamentos para Indicação de Fatores de Zoneamento de Aquíferos Fraturados, de AM de

Carvalho (2021), realizado em colaboração entre a Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) e o Instituto Geológico do Estado de São Paulo.

Este trabalho tem como objetivo avaliar em que medida o uso conjunto de levantamentos de fraturas e de lineamentos, integrados a análises de *trends* estruturais em unidades litológicas e geomorfológicas, é útil para identificação de domínios estruturais com configurações distintas de sistemas de fraturas.

O trabalho teve como um dos focos a coleta e análise de dados de fraturas em campo e o traçado de lineamentos (em escalas 1:10.000, 1:30.000 e 1:50.000) em imagens de SIG e modelos digitais de terreno e superfície (em escalas 1:30.000 e 1:50.000). Com isso, foram elaboradas rosetas de lineamentos e fraturas para as áreas constituídas por diferentes unidades litológicas, geomorfológicas, de índice de rugosidade e de padrões de drenagem.

O levantamento estrutural se deu através de uso do método em linha de varredura, tendo suas fraturas plotadas nos estereograma elaborados para cada local. O traçado de lineamentos levou em consideração quatro aspectos: i) seu ângulo de mergulho, pois fraturas de baixo ângulo de mergulho não se manifestam como lineamentos, ii) regiões com manto inconsolidado mais espesso, pois são regiões que apresentam menor densidade lineamentos, não significando menor densidade de fraturas, iii) realce das estruturas sob forma de lineamentos tendem a ser menor em áreas de relevo mais suave e iv) o traçado depende da escala dos lineamentos.

Com o levantamento e análise de fraturas, lineamentos, elaboração de mapa de Índice de Concentração de Rugosidade (ICR) e a delimitação de padrões de drenagens chega-se à conclusão, este conjunto de métodos é útil para análises preliminares das tendências estruturais em aquíferos fraturados, podendo correlacionar a existência/não existência de determinados tendências em porções diferentes da área de estudo.

4.3 - Prospecção em Aquíferos Fraturados na Picada Grande

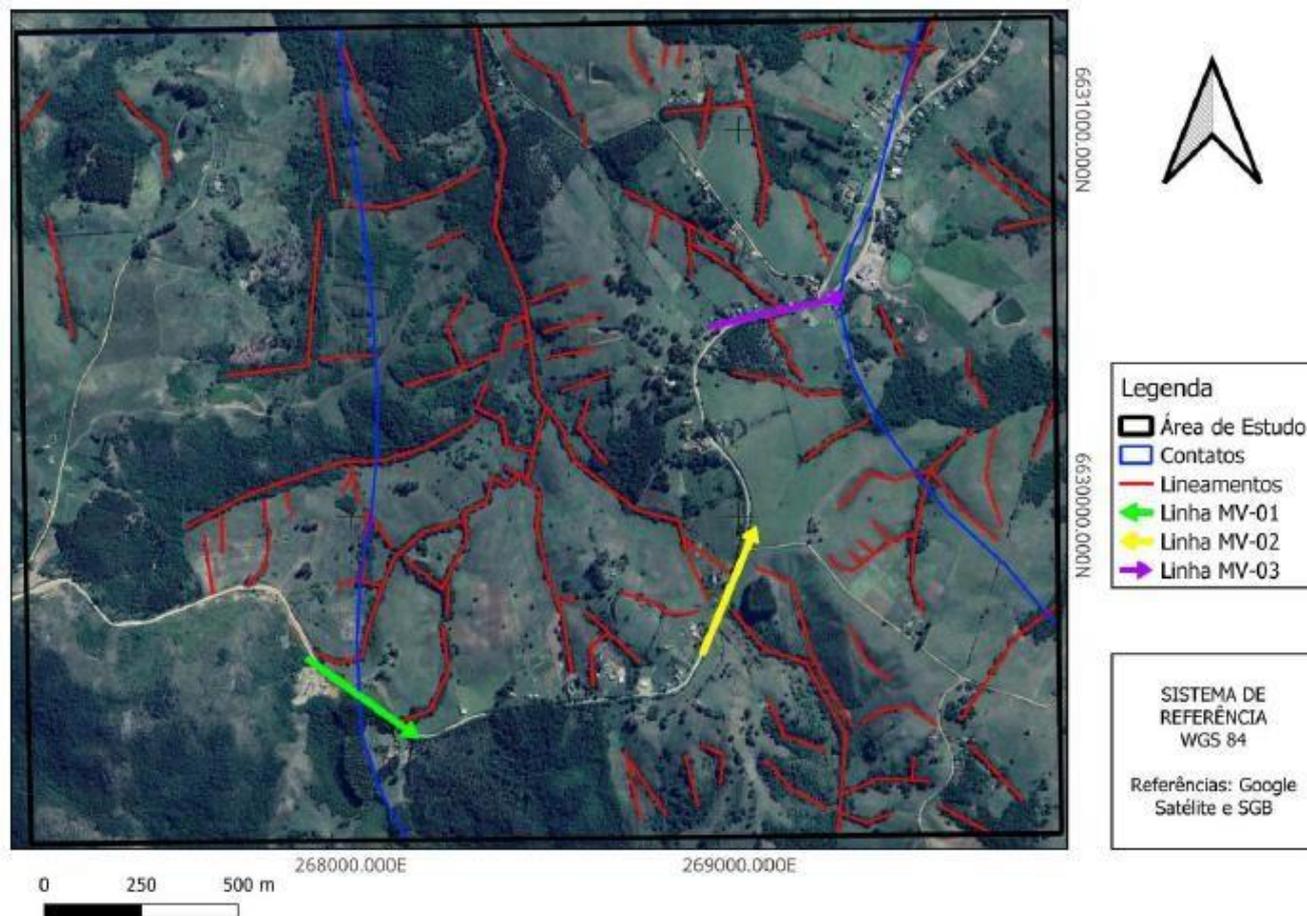
Além dos autores já citados anteriormente, o trabalho de Funke (2022) apresentam importância devido à metodologia desenvolvida para a realização do trabalho, com foco em análise de critérios para locação de poços tubulares profundos em Caçapava do Sul. Se mostrando uma ótima referência metodológica de como desenvolver um trabalho fazendo uso de sensoriamento remoto, geologia estrutural e hidrogeologia em conjunto. O viés principal foi de prospecção de água subterrânea na região do município de Caçapava do Sul-RS, elencando cruzamentos de lineamentos estruturais e definindo pontos em potencial para prospecção, a qual elenca a região da Picada Grande como uma área promissora para a prospecção de água subterrânea.

Já se tratando de um trabalho realizado especificamente na área da Picada Grande, Nascimento (2024), em seu trabalho de conclusão de curso com tema 'Prospecção Geofísica de Água Subterrânea na Região de Picada Grande, Caçapava do Sul-RS', realizou três levantamentos geofísicos (MV1, MV2 e MV3), através do método do caminhamento elétrico, com uso do arranjo dipolo-dipolo, extensão da linha igual à 355 metros e espaçamento dos eletrodos a cada cinco metros.

Contudo, para que isso fosse realizado em pontos estratégicos, foi necessário a investigação e demarcação de lineamentos estruturais com o auxílio de sensoriamento remoto, de modo a elencar áreas de maior potencial hídrico dentro da própria área de estudo, com objetivo de auxiliar na definição e delimitação das áreas que sejam favoráveis a água subterrânea, conforme exibido na figura 12.

Nascimento (2024) descreve como objetivos específicos: i) reconhecimento de orientação e posição de estruturas geológicas, com uso de imagens de satélites e saídas de campo, ii) utilização do método elétrico para medir a resposta geofísica entre os diferentes tipos de litologia, iii) identificar anomalias geofísicas que se correlacionam com estruturas geológicas e iv) estimar localidades com maior potencial hídrico de ocorrência de água subterrânea, através da correlação dos dados geofísicos e geológicos obtidos pelo autor.

Figura 12 – Mapa de lineamentos e localização de linhas geofísicas de eletrorresistividade apresentado por Nascimento (2024).



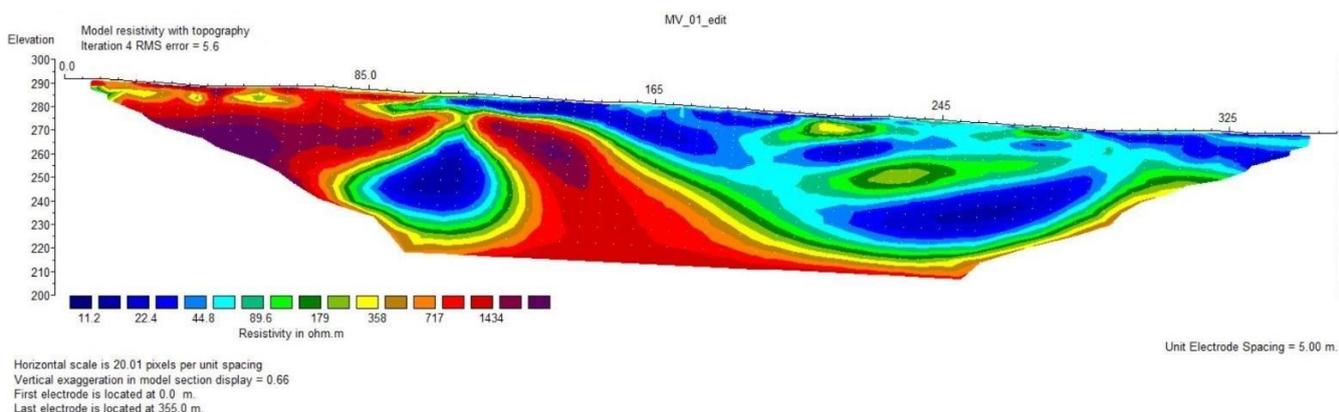
Fonte: extraído de Nascimento (2024).

As Figuras 13, 14 e 15 se referem às imagens do caminhamento elétrico, onde é possível notar nas linhas MV1 e MV2 presença significativa de regiões de baixos valores de eletrorresistividade (valores em azul), o que indica a possibilidade da existência de água subterrânea, enquanto na MV3 existe predominância de valores de alta eletrorresistividade (valores em tons de vermelho e roxo).

Com a realização das atividades de campo, o autor analisa seus resultados de caminhamento elétrico e com base nas anomalias observadas define 3 pontos em potencial (Figura 16). Especificamente, a linha MV1 foi a que apresentou resultados mais promissores, com dois pontos em potencial elencados por Nascimento (2024).

No caminhamento da linha MV1 (Fig. 13), é possível notar predominância de valores de alta resistividade elétrica (~1000 e 1600 ohm.m) nos primeiros 80 metros, onde a partir dessa metragem predomina de tons de azul principalmente em pequenas profundidades, entre 110 e 165 metros. Quanto mais perto do ponto final do caminhamento maior a predominância de baixos valores (~10 e 50 ohm.m) de resistividade elétrica em maiores profundidades. É possível também notar nesta porção uma superfície limítrofe (zona entre às áreas de altos e baixos valores de eletroresistividade) inclinada pra leste, interpretada como zona de contato entre o Complexo Granítico Caçapava do Sul e os xistos de origem metavulcânica do Complexo Passo Feio.

Figura 13 – Resultado do caminhamento elétrico MV1.



Fonte: Extraído de Nascimento, (2024).

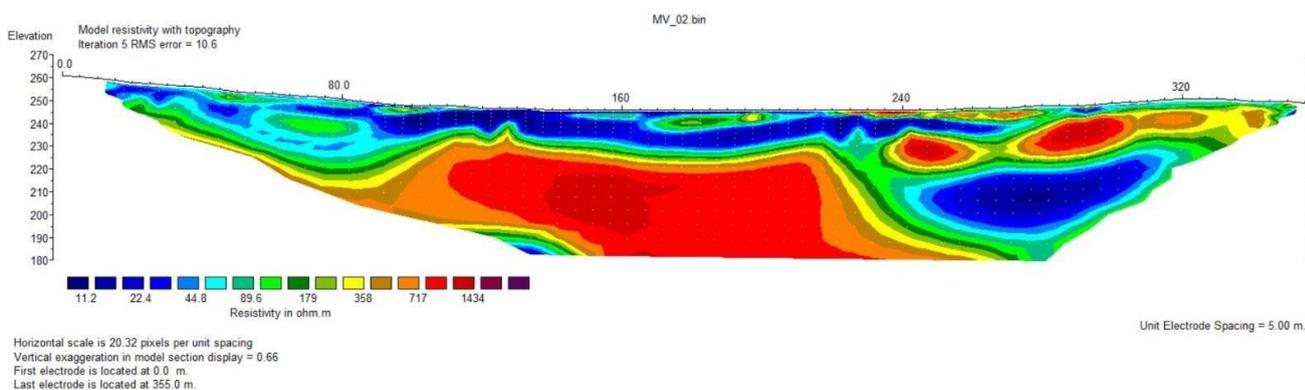
Nota-se uma anomalia alongada para norte, em formato de gota próximo ao centro da figura, de profundidade entre 20 e 50 metros, equivalente à 265 e 235 metros de elevação. A ocorrência da anomalia de baixa eletroresistividade configura uma área com potencial, uma vez que ocorre em profundidade, tendo em vista que estas anomalias ocorrendo muito próximo à superfície podem indicar saturação do solo, não sendo interessantes para a prospecção de água subterrânea, o que

justifica a escolha como o primeiro ponto potencial para a existência de água subterrânea na MV1.

Na metade final do caminhamento é possível notar a predominância de valores baixos de resistividade elétrica ocorrendo cada vez em profundidades maiores. Suas heterogeneidades entre 195 e 290 metros sugerem camadas com valores distintos de eletroresistividade. Apresentam baixo mergulho aparente para oeste, na porção onde intercalam-se camadas de baixa e média resistividade elétrica (colaração esverdeada), local escolhido para o segundo ponto em potencial por conter anomalias de baixa resistividade elétrica abaixo de anomalias de alta resistividade elétrica. Por fim, a porção entre 290 e 355 metros prevalecem valores de baixa eletroresistividade, com camadas com mergulho aparente suave para leste.

A linha MV2, por sua vez (Fig. 14), apresenta regiões com valores altos de resistividade em profundidade maiores que 20 metros e provavelmente indicam o maciço de rocha metamórfica, onde suas margens são limitadas por descontinuidades de alto ângulo coincidentes com os lineamentos observados em imagem de satélite. As associações destes lineamentos sugerem que existe uma estrutura em subsuperfície que provavelmente soergue o maciço metamórfico, resultando uma estrutura denominada de graben-horst-graben.

Figura 14 – Resultado do caminhamento elétrico MV2.



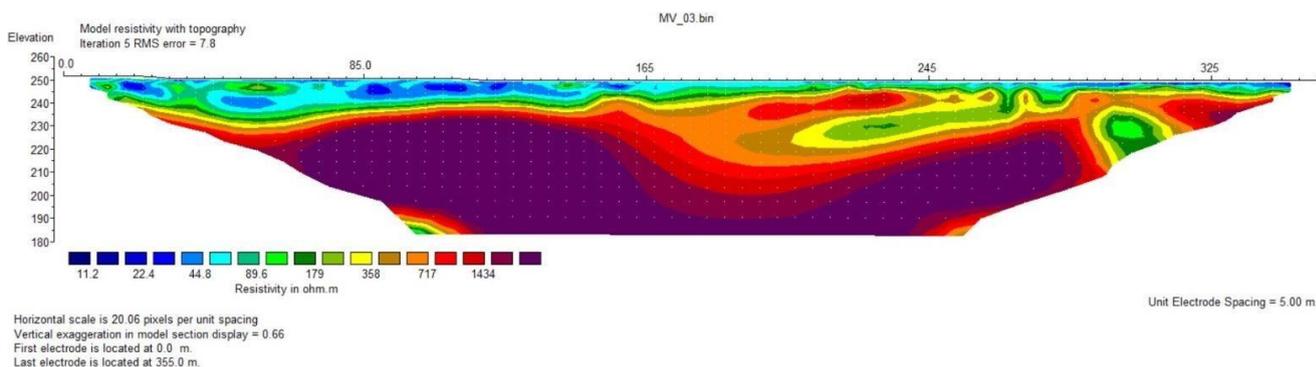
Fonte: extraído de Nascimento (2024).

As anomalias de baixa eletroresistividade com profundidades rasas provavelmente representam a saturação do solo em água, não sendo interessante para a prospecção de água subterrânea. Contudo, na metragem 270 metros é possível notar uma camada com menor valor de resistividade elétrica (inferiores à 50

ohm.m) abaixo de uma camada de maior resistividade elétrica, caracterizando esta porção da MV2 como um ponto com potencial para prospecção de água subterrânea, pois a anomalia ocorre em uma profundidade de 40 metros, o que equivale a 210 metros de elevação.

Por fim, a linha MV3 (Fig. 15) se apresenta como a com menores variações topográficas, com anomalias de baixa resistividade bastante próximas a superfície, provavelmente indicando a saturação de água no solo, não sendo interessante para a prospecção de água subterrânea, devido a relatos da comunidade em que disseram que a água nessa porção da região era salobra, além de fatores como a alta cimentação das unidades basais do Supergrupo Camacua citados em bibliografia e a falta de indícios geofísicos para justificar o adensamento estrutural nesta porção de Picada Grande. Em relação aos valores obtidos com o caminhamento geofísico, em médias e grandes profundidades predominam valores de alta resistividade elétrica, sugerindo que o maciço pouco fraturado está presente horizontalmente em todo o caminhamento.

Figura 15 – Resultado do caminhamento elétrico MV3.



Fonte: extraído de Nascimento (2024).

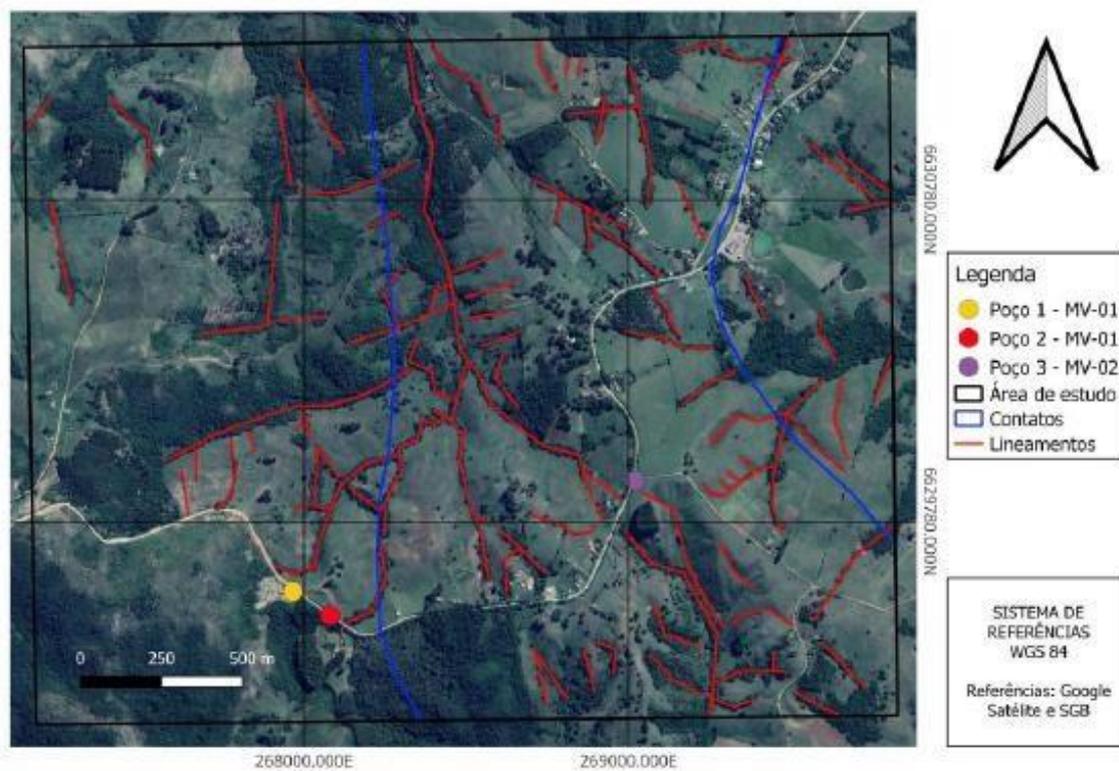
Nesta linha não foi identificado nenhum ponto considerado com potencial para prospecção de água subterrânea, devido ao embasamento pouco fraturado estar próximo da superfície, de modo que as anomalias de baixa resistividade se concentram em uma profundidade média de 10 metros, o que possivelmente indica a saturação de água no solo, tornando a linha desinteressante.

Com a identificação dos pontos com maior potencial de presença de água subterrânea, o presente trabalho se concentrou nas áreas elencadas pelo autor, na intenção de fazer o detalhamento estrutural nestes pontos. Complementando o conjunto de dados da área de estudo e compilando informações para posteriormente

descrever e interpretá-las, afim de determinar se as áreas são de fato interessantes para a captação e distribuição de água para a população da Picada Grande.

A Figura 16 a seguir se trata do mapa com a localização dos três pontos destacados por Nascimento (2024) como interessantes para a continuidade das investigações hidrogeológicas e eventual perfurações de poços tubulares profundos.

Figura 16 - Possíveis locais para a locação de poços na Picada Grande, segundo Nascimento (2024).



Fonte: extraído de Nascimento (2024).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho se subdivide em três etapas principais: Pré-Campo, Campo e Pós-Campo.

A etapa Pré-Campo é pautada primeiramente na realização de pesquisa bibliográfica da área de interesse e posterior análise de lineamentos estruturais através do uso de imagens de satélites e *softwares* como Qgis e Google Earth, para a manipulação adequada dos dados afim de confeccionar mapas fidedignos ao tema proposto em escala sugerida de 1:10000. O método proposto se mostra útil, visando realizar uma análise de lineamentos estruturais da região, fazendo uso de rosetas de frequência e de comprimento, e posteriormente, adicionar os dados levantados em campo (medidas de fraturas, foliações, lineações, falhas, dobras, entre outros), com o intuito de prover dados para prospecção de água na Picada Grande. Trabalhos de campo anteriores auxiliaram também na consistência da base de dados obtidas para a área de interesse, como o trabalho de Mapeamento Geológico I/2022 e o Trabalho de Conclusão de Curso de Mateus Vitor do Nascimento. O trabalho de mapeamento teve seu foco na obtenção de medidas e descrição lito/geomorfológica dos pontos, enquanto no TCC o foco foi a realização de caminhamento elétrico juntamente com obtenção de medidas em pontos estratégicos das linhas.

O mapeamento estrutural de lineamentos contribui para o entendimento dos processos de migração e de gênese das ocorrências de acumulação de água subterrânea, sendo necessárias investigações contínuas e detalhadas por conta da alta variabilidade do sistema de fraturamento (RUSHTON; WELLER, 1985; MORIN et al., 1997).

A etapa de Campo consiste na conferência das áreas mais promissoras identificadas por sensoriamento remoto ou trabalhos prévios, onde tais áreas se tratam das regiões que apresentam intersecções de lineamentos que visivelmente controlam a direção de corpos d'água da região.

A etapa Pós-Campo consiste no processamento dos dados estruturais coletados em campo e a posterior correlação com os dados de sensoriamento remoto através, por exemplo, da plotagem de estereogramas, mapas de lineamento e diagramas de rosetas confeccionados na etapa Pré-Campo, assim como correlação com dados de trabalhos anteriores, onde em especial o trabalho de Nascimento (2024) serve como ponto de partida, com o foco em avaliar estrutural e hidrogeologicamente os pontos propostos pelo mesmo. Por fim, a integração destes

resultados deve, em síntese, indicar os pontos mais abundantes em termos de presença de água subterrânea, ou até mesmo pontos para futuras perfurações.

Foi realizada a integração da base de dados no SIG, com informações sobre hidrografia, lineamentos regionais na escala 1:10.000, acessos, litologia, topografia, e medidas representativas de campo (planos e linhas), sendo assim confeccionado um mapa lito-estrutural da região, além do mapa de pontos.

O planejamento de campo levou em consideração quatro fatores e são eles: i) logístico; ii) dados prévios; iii) lineamentos regionais e iv) político. Cada um dos fatores citados apresenta sua relevância para a determinação das regiões onde ocorreram detalhamento estrutural. A logística é necessária para que seja captado a maior quantidade de água possível de modo que seu escoamento e distribuição para a população da região aconteça de maneira facilitada. Os dados prévios apresentam sua relevância de modo que, com a adição destes dados, as análises estruturais apresentam maior suporte estatístico, além de servirem como fonte de informação para o entendimento da área de estudo. Como já existiam dados para a região de interesse, tanto estruturais quanto geofísicos, as interpretações de Nascimento (2024) serviram como balizadores para definir o foco do detalhamento estrutural nas regiões das linhas MV1 e MV2. Lineamentos de escala regional como critério se justifica pois, se tratando de terrenos cristalinos a maior possibilidade é a ocorrência de um aquífero fissural/fraturado, onde a porosidade secundária controla o fluxo d'água, e sendo assim áreas onde existem cruzamento de lineamentos apresentam grande potencial de armazenamento de água subterrânea, por conta do aumento dos espaços entre as estruturas. Por fim, o aspecto político apresenta sua relevância devido uma comunidade inteira estar sujeita a abastecimentos intermitentes em épocas de estiagem.

O presente trabalho teve como etapa o caminhamento estrutural, nas sub-regiões das linhas geofísicas MV1, MV2 e MV3 realizadas e descritas no trabalho de Nascimento (2024) contudo, o foco das medições se deu nas duas primeiras linhas citadas, devido o autor elencar nessas linhas suas sugestões para a locação de um poço tubular. Visando deixar o menor hiato possível de informações estruturais, o caminhamento se deu pela estrada e suas regiões adjacentes, sem se distanciar muito da estrada principal da Picada Grande por conta do fator logística.

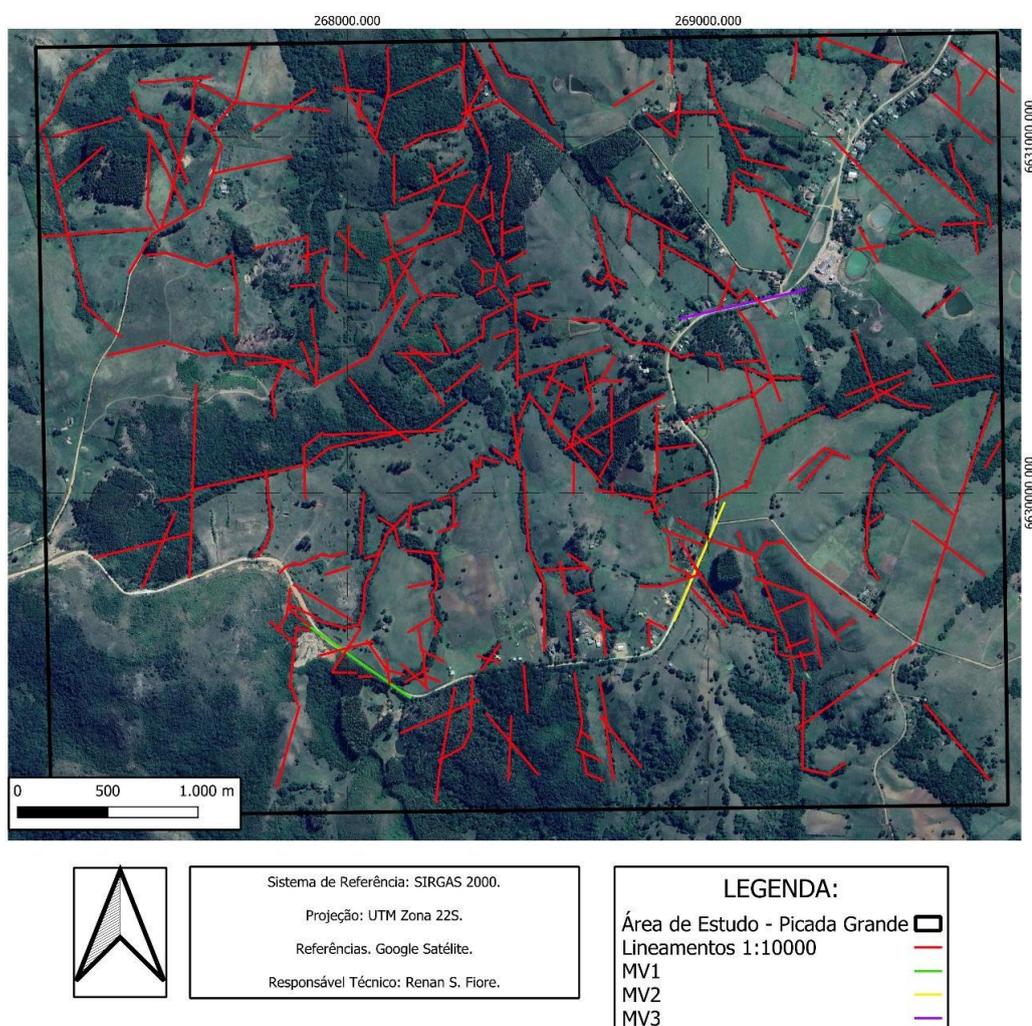
A notação utilizada para as medidas estruturais foi a Trama e é descrita por dois componentes principais, azimute e ângulo de mergulho, onde a medida

hipotética N45E/45SE apresenta azimute a 45° a leste do Norte Geográfico e ângulo de mergulho de 45° no sentido SE. Os softwares utilizados para confecção dos produtos apresentados no trabalho foram, Qgis para confecção de mapas de localização, lito-estruturais, de pontos e diagramas de roseta e Stereo 32 para a confecção dos estereogramas estruturais.

6 ANÁLISE DE LINEAMENTOS

Foram traçados 417 lineamentos na área de estudo, com o intuito de verificar regiões mais ou menos fraturadas, as direções principais de fraturamento regional e áreas onde foram observados cruzamentos de lineamentos de direções distintas. Essas regiões são consideradas áreas de maior potencial para prospecção de água subterrânea devido à possibilidade de existir um aquífero fissural, caracterizado por descontinuidades estruturais, baixa homogeneidade e forte anisotropia. (FEITOSA et al. 2008). Com o uso desta metodologia, foram elencadas duas sub-regiões da Picada Grande para a realização do adensamento de medidas estruturais, sendo elas as regiões referentes às linhas MV1 e MV2 de Nascimento (2024). A Figura 17 mostra o mapa de lineamentos, juntamente com as linhas geofísicas mencionadas.

Figura 17 – Mapa de lineamentos traçados sobre imagem Google Earth na região da Picada Grande. A posição das linhas geofísicas de Nascimento (2024) também é ilustrada.



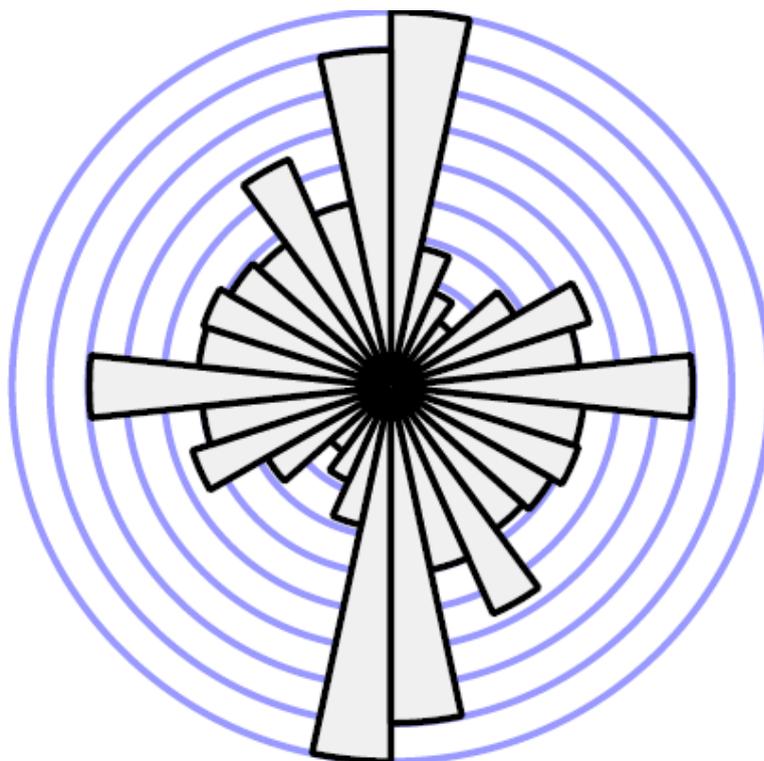
Fonte: autor.

Observando-se o mapa, é evidente que a porção oeste da área de estudo apresenta uma densidade menor de lineamentos do que a porção centro-leste, o que é condizente com o contraste litológico entre o granito no oeste e a rocha xistosa da porção centro-leste. Ainda, é notável a existência de um corredor de fraturas de direção geral NW-SE que passa exatamente onde foi realizada a segunda linha geofísica de Nascimento (2024).

Com o auxílio do mapa de lineamentos foram gerados dois diagramas de roseta, respectivamente de comprimento e frequência. Ambos diagramas foram plotados com número de intervalos igual à 18, ou seja, com subdivisão das pétalas de 10 em 10° (Figuras 18 e 19), explicitando as direções de maior tendência das mesmas.

O diagrama de roseta de frequência a seguir representa padrões de tendência, onde quanto maior o tamanho da pétala maior a frequência que aquela atitude se repete ao longo dos lineamentos marcados. Sendo assim, a Figura 19 mostra que a área de interesse apresenta quatro tendências de atitude principais, sendo elas respectivamente as mais proeminentes: i) N-S, ii) NNE-SSW, iii) E-W e iv) NW-SE.

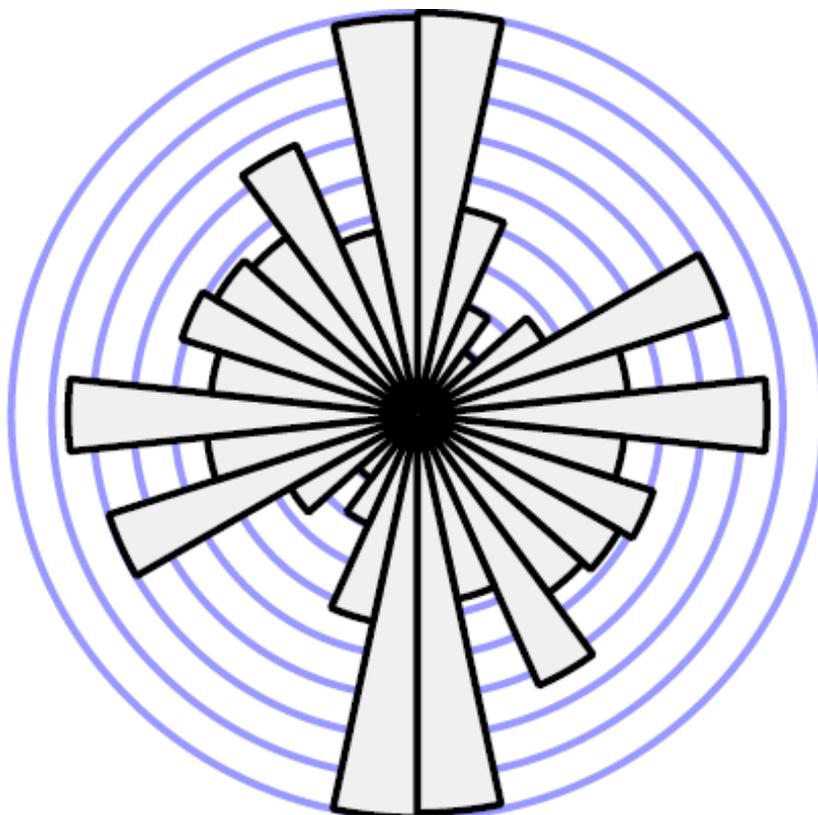
Figura 18 – Diagrama de roseta de frequência de lineamentos na região de Picada Grande (N=417).



Fonte: autor.

O diagrama de roseta de comprimento a seguir representa a soma das extensões dos lineamentos com determinadas orientações. No caso da Figura 19 é possível notar que a maior pétala se trata da N-S, coincidente com a direção de contato entre granito e as encaixantes metamórficas, seguido respectivamente pelas pétalas E-W, ENE-WSW e SE-NW.

Figura 19 – Diagrama de rosetas de comprimento de lineamentos na região de Picada Grande (N=417).



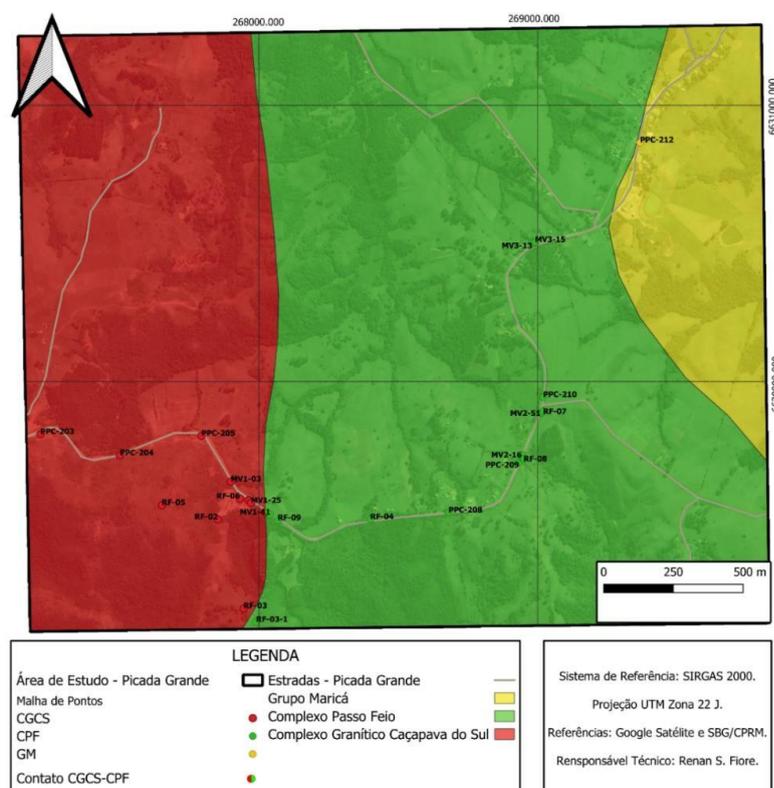
Fonte: autor.

7 GEOLOGIA E ESTRUTURA DA REGIÃO DE PICADA GRANDE

Como o presente trabalho envolveu a compilação de dados de três trabalhos anteriores, somando-os aos dados obtidos neste trabalho, as nomenclaturas para cada ponto mostrado no mapa de pontos (Fig. 20) são distintas entre si. MV se refere aos pontos coletados no projeto de Nascimento (2024), PPC se trata de pontos referentes ao Mapeamento Geológico I do curso de Geologia da UNIPAMPA, do ano de 2022/1 (Projeto Picada Grande), JC se trata dos pontos coletados no projeto de Costa (2023) e RF é a nomenclatura dos pontos do presente trabalho.

Durante a saída de campo foram identificadas três litologias diferentes, sendo elas granito foliado do Complexo Granítico de Caçapava do Sul, clorita xisto (metavulcânicas intermediárias) do Complexo Passo Feio e arenito do Grupo Maricá (Figura 20). A geologia e estrutura de Picada Grande será descrita neste capítulo da seguinte forma: as feições geológicas dos pontos mais representativos dentre os descritos na área de estudo serão apresentadas de oeste para leste, tendo sido documentadas principalmente ao longo da estrada que leva do Santuário Nossa Senhora das Graças até a porção central da Picada Grande.

Figura 20 – Mapa de pontos descritos ao longo da estrada da Picada Grande.

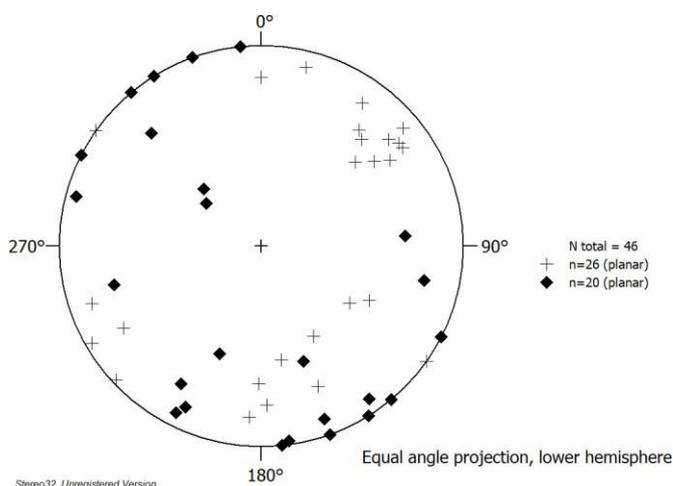


Fonte: autor.

O Complexo Granítico Caçapava do Sul (em vermelho) ocorre na porção oeste e se trata da segunda unidade litológica mais abundante na área de estudo. Tem como característica distinta das demais unidades litológicas seus maiores gradientes topográficos em relação ao CPF.

Quanto ao levantamento de medidas de planos estruturais, como foliação e fratura, serão todas representadas na notação trama. A figura 21 a seguir, se trata do estereograma de polos contendo todos os planos de fraturas medidos para deformação dúctil de toda a área de estudo. As simbologias são diferentes para os diferentes litotipos, sendo o símbolo de cruz referente as medidas do CGCS (n=26), enquanto que os losangos representam as medidas do CPF (n=20). É possível notar um predomínio de três tendências para as medidas do CPF, onde a tendência primária se trata da orientação NW-SE, secundariamente a orientação SW-NE e com menos frequência E-W. Já se tratando das medidas obtidas para o CGCS, apresenta três tendências, uma mais proeminente NE-SW, secundariamente NW-SE e a menos proeminente N-S.

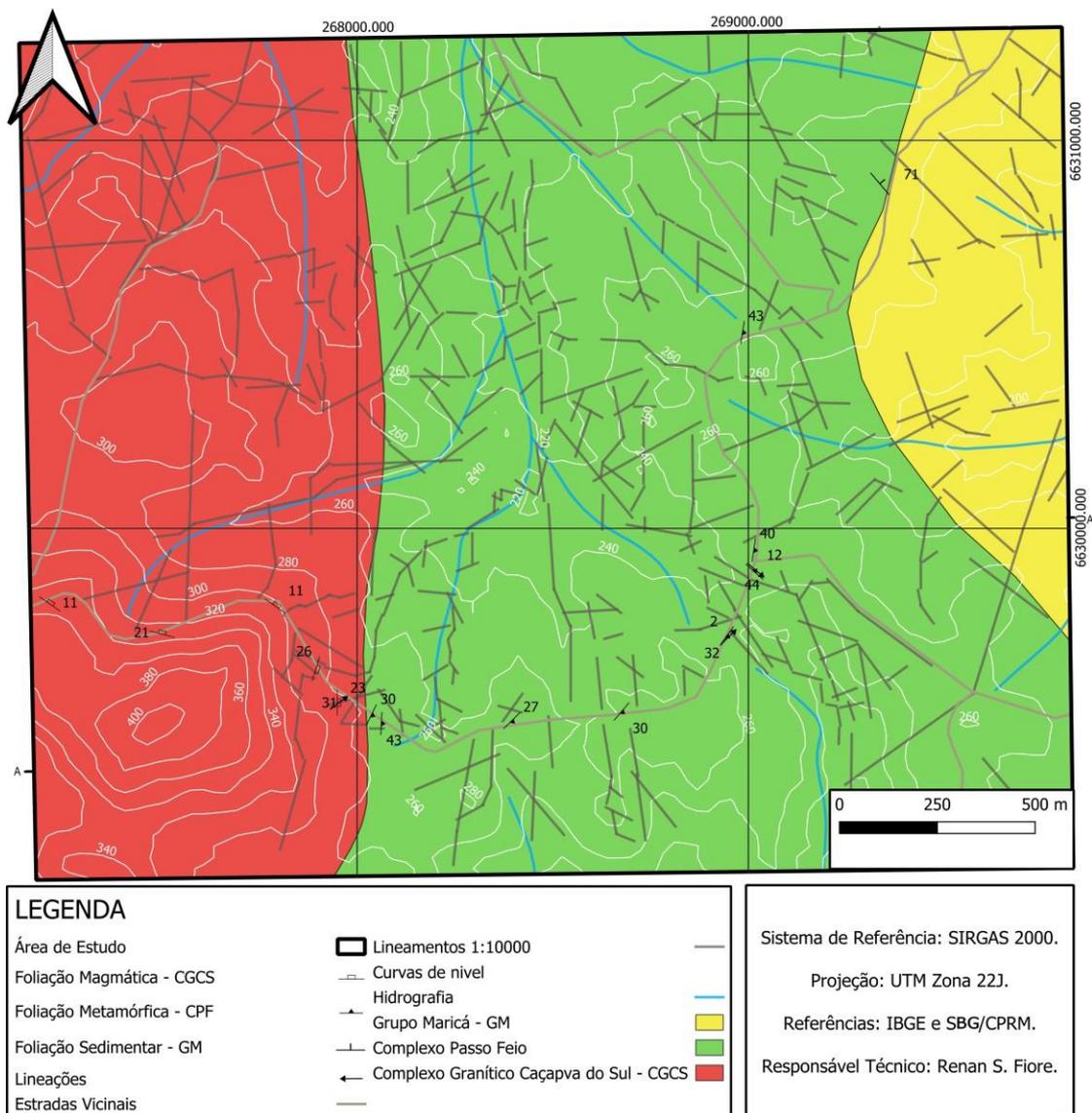
Figura 21 – Estereograma de projeção de polos contendo todas as medidas de fraturas para a região total da Picada Grande (n=46; hemisfério inferior e projeção de área iguais).



Fonte: autor.

Pensando na interpretação dos dados estruturais relativos à deformação dúctil, apresenta-se um mapa geológico-estrutural com as medidas de foliação setorizadas de acordo com cada litotipo encontrado no caminhamento, representado pela Figura 22, com a indicação dos pontos inicial e final da seção integradora (Fig.49).

Figura 22 - Mapa Lito-estrutural, levantados para a área da Picada Grande.



Fonte: autor.

O granito aflorante na área de estudo tem coloração rosácea/avermelhada com pontos pretos esparsos ao longo da amostra, apresentando-se com baixo grau de alteração e com estruturas de foliação. A rocha é holocristalina, de textura fanerítica inequigranular variando de fina à média. É composta por feldspato alcalino, quartzo, plagioclásio e biotita.

O feldspato alcalino se apresenta com coloração avermelhada, com hábito tabular apresentando tamanhos menores que 5mm. O quartzo se apresenta transparente, com brilho vítreo e hábito granular, com minerais apresentando tamanho médio de 5mm. O plagioclásio se apresenta translúcido, com brilho fosco,

hábito prismático e grau de perfeição subédrico a anédrico, com tamanho dos prismas variando entre 2 mm e 5 mm. A biotita se apresenta transparente, com brilho gorduroso e hábito lamelar/placóide, com o tamanho dos minerais não ultrapassando 5mm.

As porcentagens relativas de cada mineral são aproximadamente 70% de feldspato alcalino, 20% de quartzo, 8% de plagioclásio e 2% de biotita. Portanto, com as porcentagens relativas e o uso do diagrama QAPF, a rocha se trata de uma plutônica supersaturada denominada sienogranito.

Figura 23 – Amostra de sienogranito (JC-23-A).



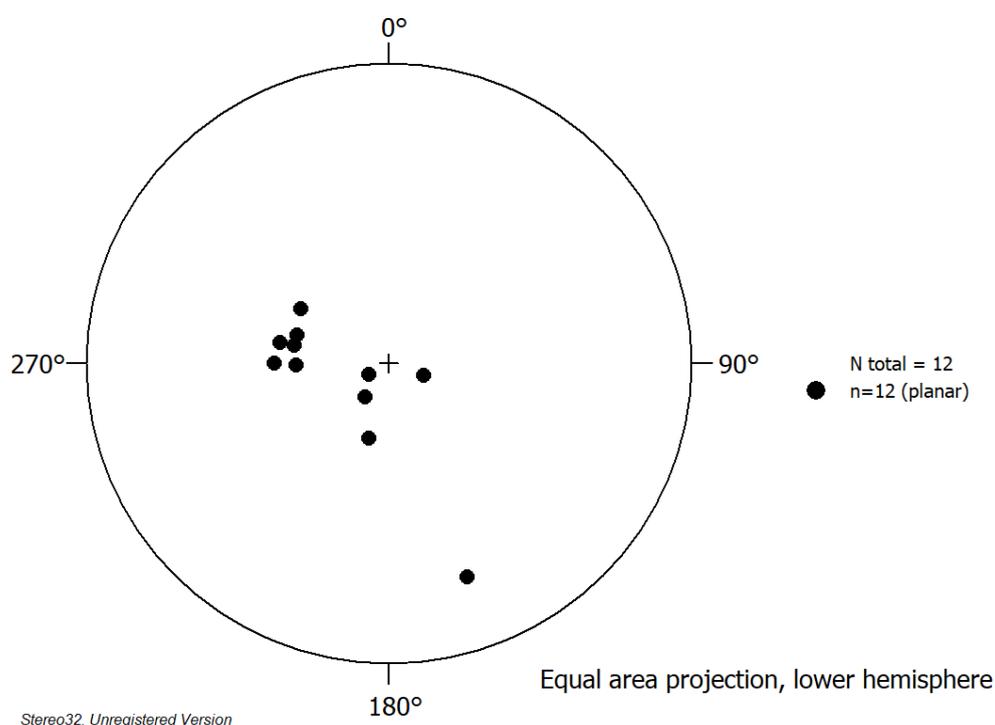
Fonte: autor.

Em escala de mapa, é possível perceber que as medidas de foliação obtidas na porção mais central do maciço apresentam sentido de mergulho para N, enquanto que se aproximando do contato entre CPF-CGCS o sentido de mergulho das foliações tende a mergulhar para E.

A Figura 24 apresenta o estereograma de polos de foliação do CGCS (hemisfério inferior, projeção de igual área e número de medidas igual a 12).

Apresenta dois agrupamentos de medidas, um variando o seu sentido de mergulho entre 90° e 130° e outro variando entre 320° e 060° . As medidas obtidas, de maneira geral, apresentam alto ângulo de mergulho, de valores menores que 30° , com exceção da medida que mergulha para NW no entanto, o primeiro agrupamento descrito mergulha sentido E-SE, apresentando maior ângulo de mergulho do que o segundo agrupamento citado que mergulha sentido NW-N-NE. Ocorre ainda uma medida de foliação que mergulha sentido W com ângulo de mergulho de 10° . Essa mudança de atitudes de foliação sugere uma rotação horária da foliação do CGCS à medida que se aproxima do contato entre CGCS e CPF, atingindo aí um paralelismo com o contato, indicativo de cinemática dextral ao longo do mesmo.

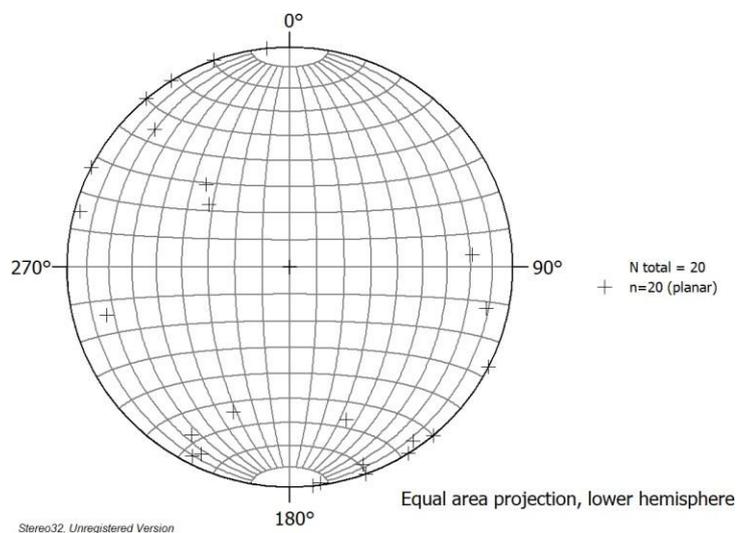
Figura 24 – Estereograma de medidas de foliação do Complexo Granítico Caçapava do Sul, na região de Picada Grande (n=12).



Fonte: autor.

A figura a seguir, ilustra os planos de fraturas levantados ao longo do caminamento estrutural para a litologia do CGCS. No total são 20 planos medidos, onde pela análise do estereograma é possível perceber três tendências de orientações, com predominância de alto ângulo de mergulho. A orientação de fratura mais proeminente é direção NE-SW, enquanto as orientações NW-SE e N-S aparecem em menor quantidade.

Figura 25 – Estereograma de projeção de polos com todas as medidas de fraturas obtidas no CGCS (n=20; hemisfério inferior e projeção de áreas iguais).



Fonte: autor.

O ponto RF- 05, em um afloramento em topo de cerro, a 380 metros de altitude (Fig.26), e é o ponto mais à oeste da porção plutônica do caminhamento. A figura 26 representa o afloramento em topo de cerro com matacões ao longo de toda a área do afloramento.

Figura 26 - Afloramento em topo de cerro, ponto RF-05.



Fonte: autor.

A figura 27 representa uma porção no alto deste cerro que é alagada pela água que verte de uma fratura que apresenta artesianismo. A referida fratura tem atitude (44/135) e apresenta o fenômeno natural de artesianismo, onde é possível notar o fluxo da água surgente de forma contínua, próximo da região central da fratura (Figura 28).

Figura 27 – Porção alagada localizada 5 metros à NE do afloramento.



Fonte: autor.

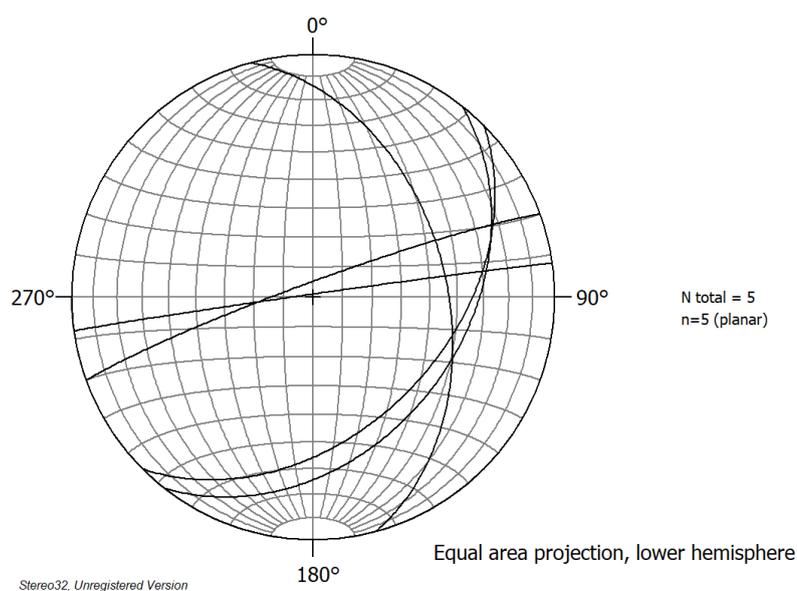
Figura 28 – Fratura com artesianismo em afloramento de topo de cerro, ponto RF-05. Nota-se ao centro a turbulência na água gerada pelo fenômeno do artesianismo.



Fonte: autor.

Quanto às medidas de fraturas do ponto RF-05, foram obtidas 5 medidas com 3 tendências diferentes, conforme mostra a figura 29. As duas medidas que apresentam sentido de mergulho para SE se caracterizam por apresentar artesianismo, enquanto as medidas que mergulham para NW e NE são as outras direções medidas.

Figura 29 – Estereograma de atitudes de fraturas do ponto RF-05, com as medidas que apresentam sentido de mergulho para SE apresentando artesianismo (n=5; hemisfério inferior e projeção de áreas iguais).



Fonte: autor.

O ponto RF-02, por sua vez, apresenta como principal característica um ponto onde se tem captação de água, em uma sanga encaixada em um lineamento de orientação 110-290. A água é levada até as cacimbas através da mangueira preta e amarela, com a captação sendo feita de modo que a mangueira é envolta com um saco branco, submerso na água com algumas rochas colocadas por cima de modo a fixar o sistema “caseiro” de filtragem de água, como mostra a figura 30. Nesta imagem se observa um sistema de distribuição de água “artesanal” que é indicativo de presença de água na região de Picada Grande, uma vez que neste trecho do caminhamento é possível encontrar algumas sangas encaixadas ou parcialmente encaixadas.

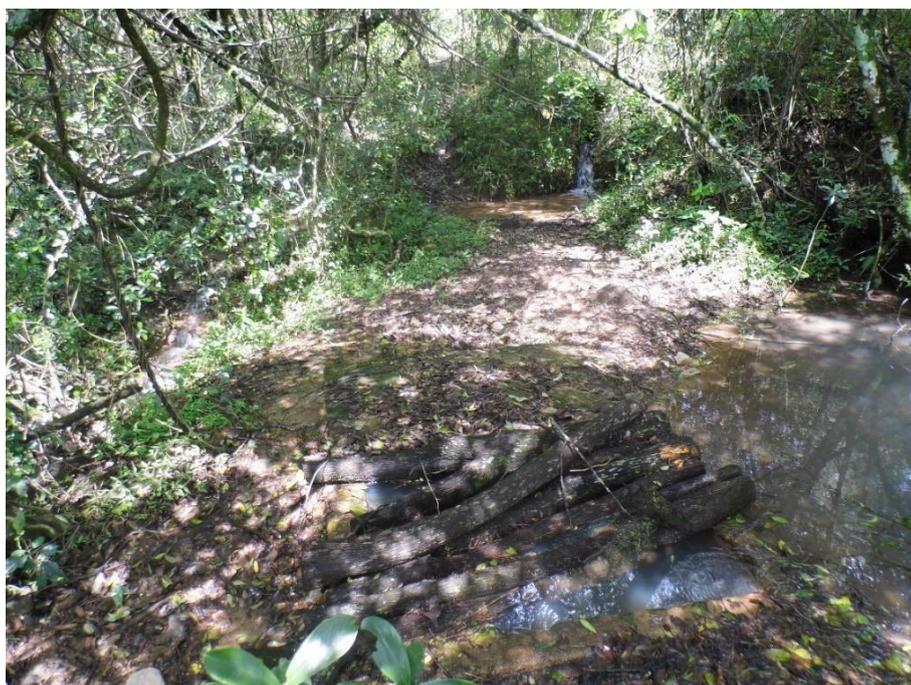
Figura 30 – Sanga encaixada onde se tem captação de água para as cacimbas da figura 31.



Fonte: autor.

O ponto RF-01-01 se tratou de um ponto anexo, há aproximadamente 250 metros a SW do ponto RF-05, e se trata de um ponto adjacente ao ponto RF-06, e por isso apenas um deles é representado no mapa da figura 21. À medida que se seguiu uma mangueira preta e amarela que subia o cerro nesta mesma direção foram encontradas duas cacimbas (Figura 31), isto é, foi localizado um ponto onde se tem a armazenagem de água para posterior distribuição para a população da região, no caminho entre os dois pontos. Encontra-se no ponto RF-01-01 uma sanga alinhada com um lineamento de orientação 065-245 marcado na etapa de pré- campo.

Figura 31 – Uma das cacimbas encontradas ao longo do caminho entre os pontos RF-01 e RF-01-01.



Fonte: autor.

O ponto RF-01 localiza-se à margem SW da estrada da Picada Grande e a sul do Santuário Nossa Senhora das Graças, região de topografia menos elevada entre a elevação de cerros vizinhos. É um ponto adjacente do RF-06 e por isso, apenas um destes é apresentado no mapa de pontos da figura 21. A priori, sua característica principal observada foi a quantidade considerável de veios de quartzo leitoso ao longo do afloramento. A figura 32 é referente ao ponto RF-01 e apresenta duas direções de veios em planta, que inicialmente foi considerado como par conjugado, mas que posteriormente foi descartado pelo fato do menor ângulo entre os veios ser aproximadamente 90°.

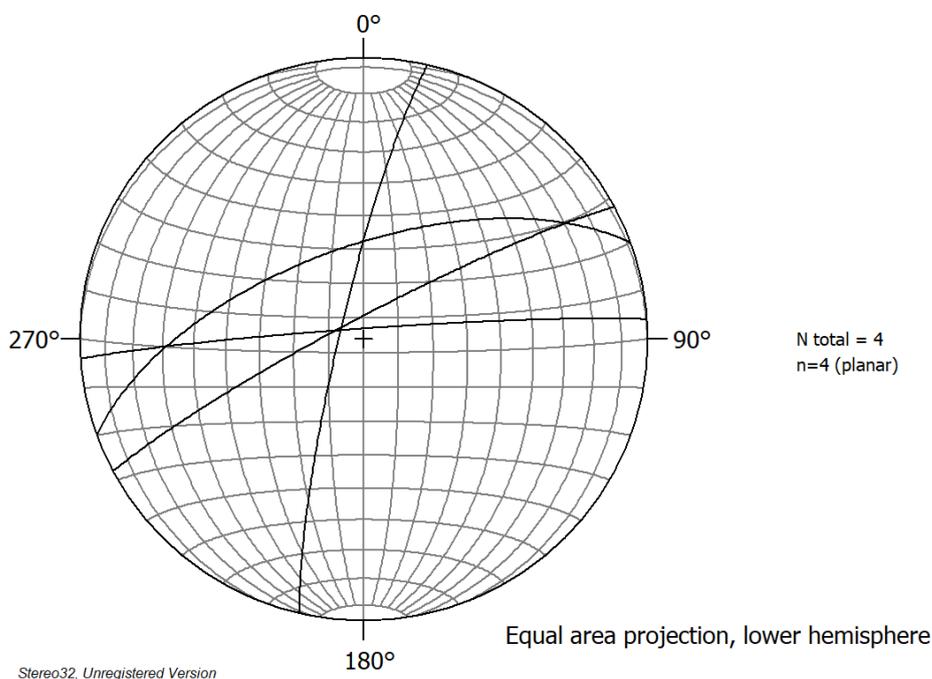
Figura 32 – Duas direções de veios cortando o granito. Vista em planta, ponto RF-01.



Fonte: autor.

Foram levantadas medidas de três direções de veios e uma fratura extensional. A figura 33 se trata do estereograma contendo as atitudes da fratura dos veios de quartzo onde as duas primeiras medidas, 87/356 e 83/283, inicialmente consideradas um par conjugado não se comprovaram com a confecção dos estereogramas, pois seu ângulo interno entre os planos de fratura, que deveria ser próximo à 60° , é próximo de 90° . A direção 84/332 passa ao meio deste par conjugado com a atitude muito semelhante à de fratura obtida (63/340), uma fratura extensional que se apresenta em ângulo com o par conjugado descartado.

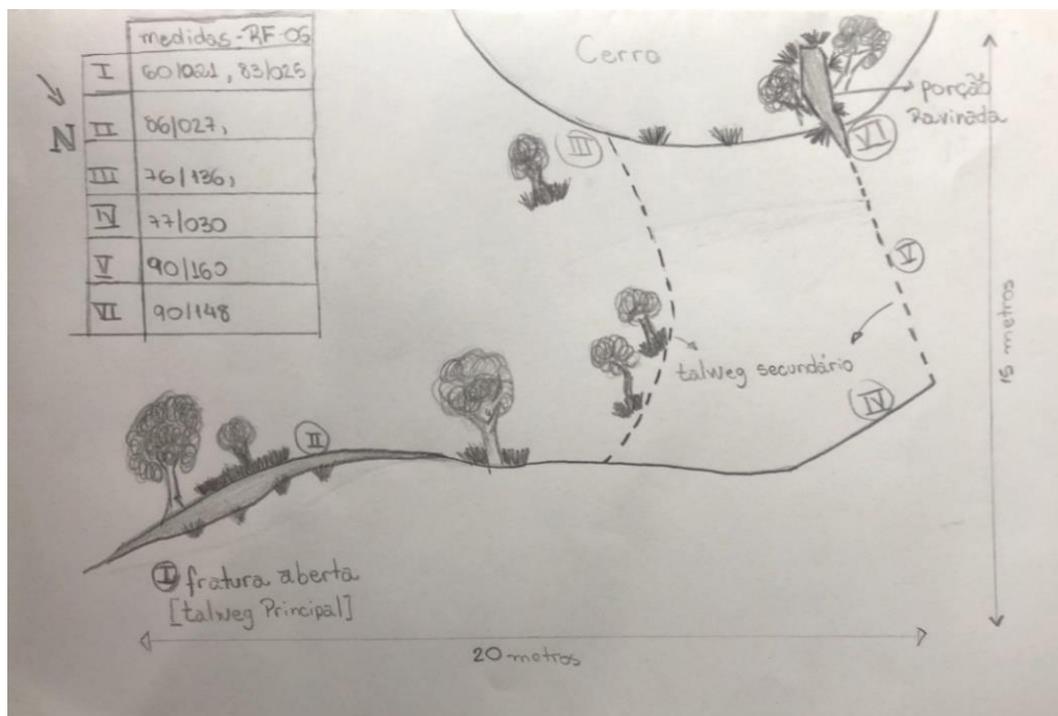
Figura 33 – Estereograma representando atitude da fratura e dos veios medidos no ponto RF-01. (n=4; hemisfério inferior e projeção de áreas iguais).



Fonte: autor.

O ponto RF-06 localiza-se muito próximo ao ponto RF-01, equivalente a MV1-25 de Nascimento (2024). O ponto RF-06, distancia-se aproximadamente 50 metros para NW do ponto RF-01 e apresenta o predomínio de fraturas, sendo que, algumas dessas fraturas são abertas em escala centimétrica, representando linhas de talweg profundas no relevo, com uma porção ravinada de escala métrica alongada na direção em que a fratura a intercepta. O afloramento apresenta um talweg primário e dois talweg secundários, como demonstra a figura 34 um croqui esquemático de campo do afloramento RF-06. Foram levantadas uma série de medidas estruturais ao longo do afloramento, com uma tabela explicitando as medidas e os locais onde foram levantadas (Fig.34). Na figura 34 os números I e II se referem à fratura aberta, de escala centimétrica e profundidade de pouco mais de dois metros, IV representa a medida levantada no talweg primário, as medidas levantadas em III e V se referem aos talwegs secundários e VI se refere a porção do talweg secundário que culmina na porção ravinada.

Figura 34 – Croqui esquemático do ponto RF-06, na região de Picada Grande.



Fonte: autor.

Figura 35 – Ponto RF-06, com presença de fratura aberta de ordem centimétrica. Ao fundo, o cerro onde localiza-se o ponto RF-05, e à meia distância, a porção ravinada.



Fonte: autor.

O ponto RF-03 e RF-03-01 são pontos mais distantes da estrada, à margem sul da estrada da Picada Grande, região onde se observa uma sequência de açudes em uma direção específica de lineamento de orientação 010-190, indicativo de presença de água subterrânea, sendo coincidente ainda com o contato entre granito (CGCS) e a rocha metamórfica (CPF). O RF-03 apresenta afloramento em lajeado (aproximadamente 5m²) circundado por matacões rolados. Ocorre presença de três direções de fraturas, sendo uma de fratura extensional, além de um veio de quartzo com aproximadamente 2 centímetros de espessura. Neste ponto o relevo se apresenta com maiores gradientes topográficos e com predomínio de afloramento em campo de matacões.

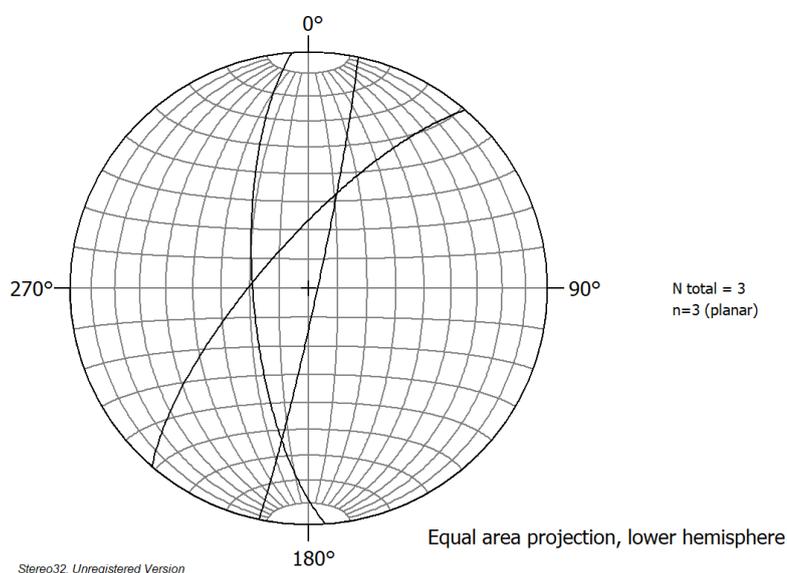
Figura 36 – Afloramento de leucogranito do ponto RF-03.



Fonte: autor.

Com relação às medidas de fraturas levantadas em campo, foram 3 medidas, sendo duas delas inicialmente considerada par conjugado (87/105 e 71/266), mas por conta do menor ângulo entre as fraturas ser de aproximadamente 15°, esta hipótese foi descartada. A outra estrutura medida se trata de um veio, de atitude 74/311. A figura 37 representa o estereograma do ponto RF-03.

Figura 37 – Estereograma do ponto RF-03 (n=3; hemisfério inferior e projeção de áreas iguais).



Fonte: autor.

O ponto RF-03-01, por sua vez, se localiza a leste do ponto descrito no parágrafo anterior, cruzando de oeste para leste o lineamento de orientação 010-190 onde se tem um açude encaixado. Neste ponto aflora rocha metavulcânica xistosa contudo, em menor gradiente topográfico em campo de blocos rolados.

Tendo essa comparação em mente, é possível inferir que, entre os pontos citados, existe o contato entre as litologias do CGCS e CPF. A figura 38 explicita o contraste de relevo e tipos de afloramentos, onde a oeste (direita da imagem) inicia o cerro do ponto RF-05 onde o relevo se apresenta com maiores ondulações e afloramentos do tipo campo de matacões graníticos. O açude está alinhado com o lineamento que representa o contato entre litologias, com relevo “em cela”, onde a E o relevo se apresenta mais suave e sem afloramentos em campo de matacões, mas sim blocos menores rolados de rocha metavulcânica xistosa.

Figura 38 – Lineamento onde se tem um açude. Provável contato entre CPF (cerro ao fundo, vista para sudeste) e CGCS (em primeiro plano).



Fonte: autor.

Figura 39 – Afloramento do ponto RF-03-01, apresentando rocha metavulcânica xistosa em campo de blocos rolados.



Fonte: autor.

Nascimento (2024) registrou o contato entre CGCS e CPF no ponto MV1-28, ilustrado nas figuras 40 e 41. A figura 40 apresenta um veio de quartzo posicionado ao longo do contato, enquanto na figura 41 o contraste visual fica mais nítido, com a tons de verde claro se destacando do rosa avermelhado característico do granito.

Figura 40 – Contato do granito (à direita – NW) com o xisto (à esquerda – SE). Veio de quartzo posicionado ao longo do contato, próximo da massa da marreta (observado no Mapeamento Geológico I – UNIPAMPA 2022).



Fonte: Nascimento (2024).

Figura 41 – Contato entre granito (À direita – NW) e o xisto (à esquerda - SE), no centro da linha geofísica MV1 (Nascimento, 2024).



Fonte: Nascimento (2024).

Já se tratando do Complexo Passo Feio (em verde – Figuras 21 e 22), localiza-se na porção central da área de estudo e é a unidade litológica mais abundante em toda a área de interesse. Diferencia-se do CGCS por conta do relevo, com menores gradientes topográficos no CPF.

A rocha encontrada ao longo do caminhamento se apresenta com coloração cinza azulado em sua face fresca, enquanto nas faces alteradas a coloração se apresenta marrom com pontos mais escuros, onde a alteração se encontra bem marcada, com grau de alteração moderado a alto. Injeções pegmatíticas de espessura milimétrica (coloração branca) ocorrem ocasionalmente, principalmente na proximidade do contato com o granito. A rocha metamórfica apresenta clorita (azul escuro ou verde amarelado, a depender da alteração), muscovita (cinza, metálica) e plagioclásio (branco ou translúcido), marcando os planos de foliação/xistosidade da rocha. A porcentagem dos minerais com relação à amostra

descrita é aproximadamente 15-25% de mica, se apresentando cinza, de hábito foliar/lamelar e com grãos quase invisíveis à olho nu, 60% de clorita, apresentando-se em tons escuros na face exposta (face cinza azulada) e tons esverdeados na face alterada, com hábito foliar, de tamanho centimétrico e predominantemente nos planos de xistosidade da rocha, fechando o restante da porcentagem relativa apresenta 10-20% de plagioclásio de coloração branca, hábito granular/dendrítico (injeções pegmatíticas de espessura milimétrica e extensão centimétrica) e tamanho de grânulos próximo à 1mm, encontrado predominantemente nos planos de xistosidade da rocha, sendo assim, classificada como plagioclásio-mica-clorita xisto.

Figura 42 – Amostra MV1-36 mica-clorita-plagioclásio xisto.

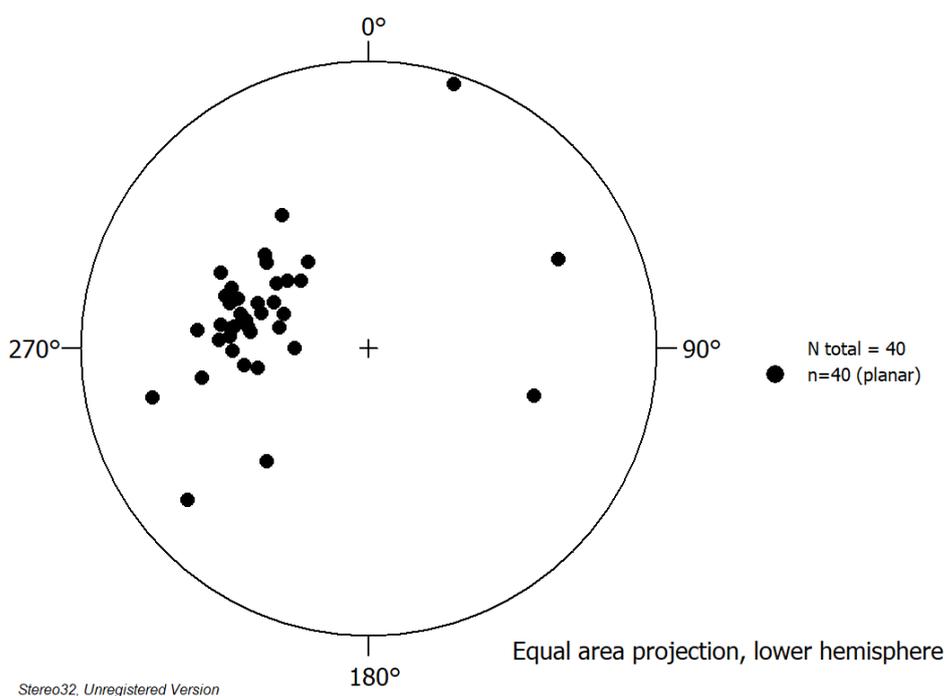


Fonte: autor.

As figuras 43 e 44 a seguir representam os estereogramas de hemisfério inferior e projeção de áreas iguais referente às medidas de foliação da rocha metavulcânica, onde a Figura 43 é o estereograma plotado com os polos de xistosidade e a figura 44 é o estereograma de polos contornado.

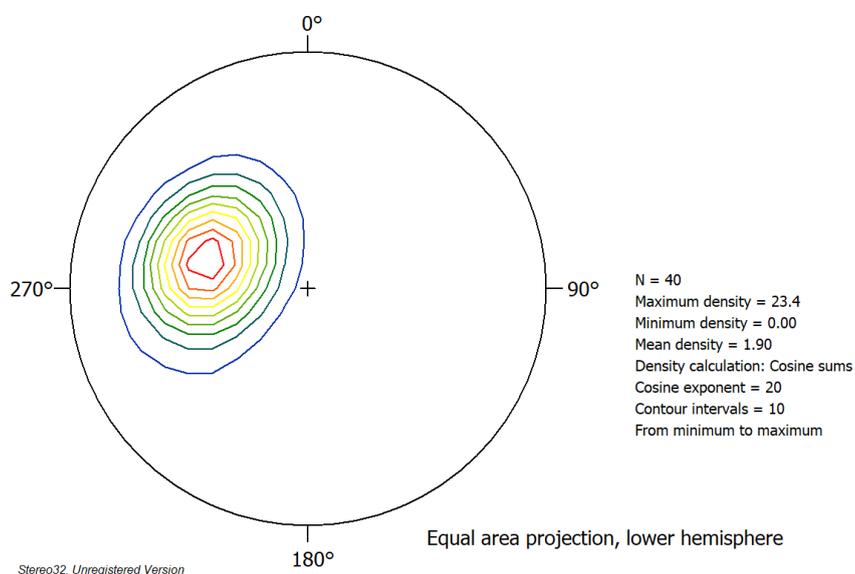
Em escala de campo foi possível perceber um predomínio no sentido de mergulho das medidas para E-SE, variando o sentido de mergulho entre 90° e 180° . No entanto, por se tratar de uma rocha xistosa, pouco competente, a foliação apresenta-se por vezes dobrada e com diferentes atitudes ao longo de um mesmo afloramento. Isso justifica as medidas que apresentam sentidos de mergulho diferentes nos estereogramas, uma vez que medidas fora do agrupamento principal representam as heterogeneidades ou até mesmo dobras da região.

Figura 43 – Estereograma de polos da xistosidade do Complexo Passo Feio na região da Picada Grande (n=40; hemisfério inferior e projeção de áreas iguais).



Fonte: autor.

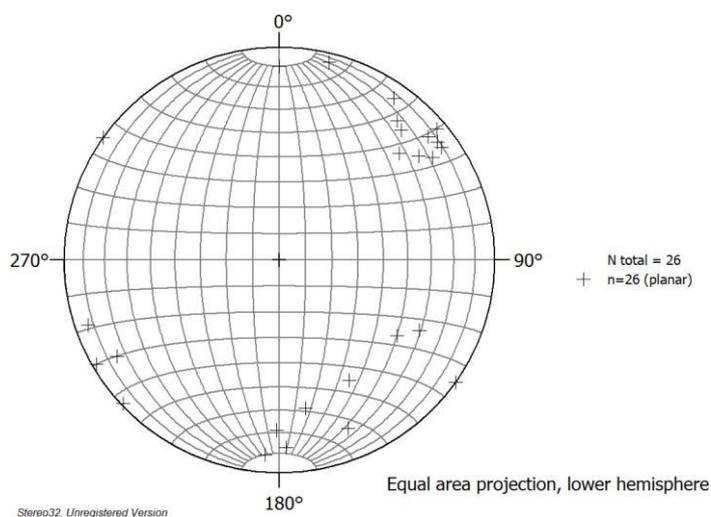
Figura 44 – Estereograma de polos contornado de foliação do Complexo Passo Feio na região da Picada Grande (n=40; hemisfério inferior e projeção de áreas iguais).



Fonte: autor.

A figura 45 a seguir representa o estereograma contendo as 26 medidas de planos de fraturas levantados ao longo do domínio litológico do Complexo Passo Feio. Apresenta um nítido predomínio das fraturas NW-SE, e subordinadamente NE- SW à E-W. As fraturas observadas em geral têm predomínio de alto ângulo de mergulho.

Figura 45 – Estereograma de polos para as medidas de fratura levantadas ao longo do domínio litológico da metavulcânica (CPF) (n=26; hemisfério inferior e projeção de áreas iguais).



Fonte: autor.

O ponto RF-09 localiza-se próximo ao contato entre CGCS e CPF, ao longo da segunda metade da linha geofísica MV1, onde em um afloramento em valeta de estrada ravinada foi possível o levantamento de uma medida de xistosidade e 3 direções de fraturas, sendo duas delas pares conjugados. A chamada fratura principal, com mergulho pra SW, é a provável responsável pelo mergulho para oeste das estruturas do último terço da linha MV1, que Nascimento (2024) pensava se tratar de camadas ao longo da xistosidade, com diferentes valores de resistividade elétrica.

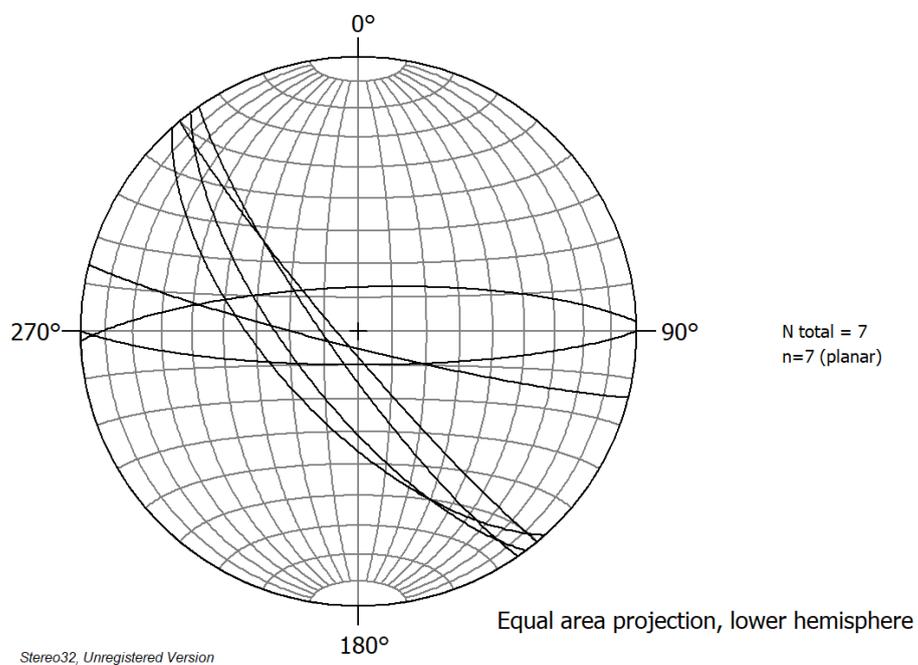
Figura 46 – Afloramento em beira de estrada do ponto RF-09, apresentando 3 direções de fraturas. Nota-se as fraturas mergulhando em baixo ângulo para a direita.



Fonte: autor.

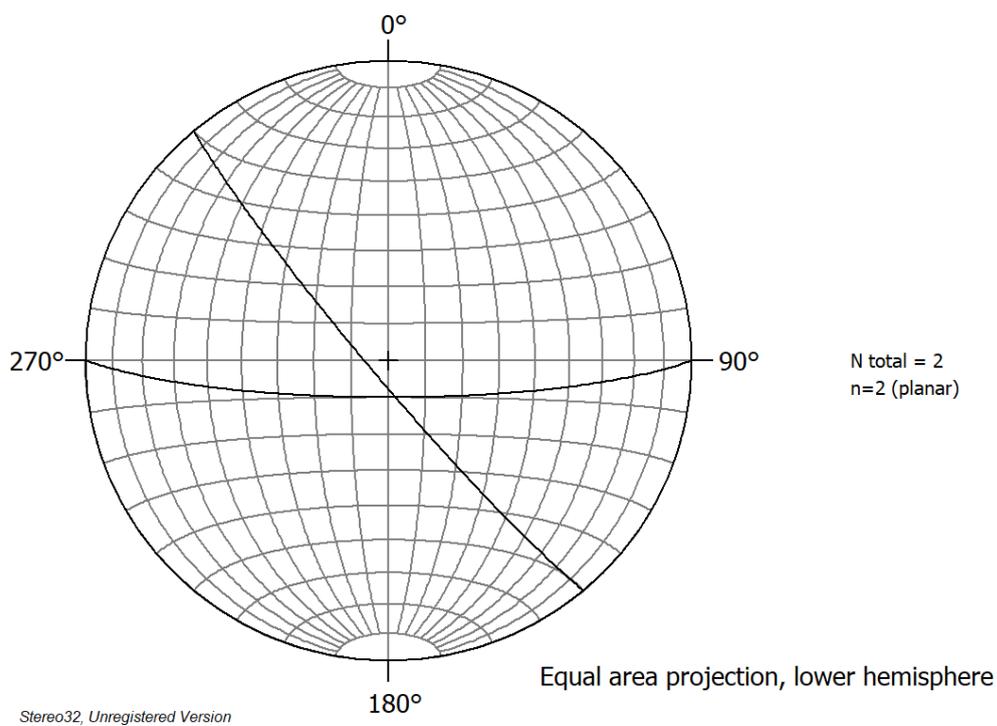
No ponto RF-09 foram levantadas 7 medidas de fratura, dentre as quais 4 formam 2 pares conjugados distintos (Figura 47). As medidas 85/230 e 80/180 compõem o primeiro par conjugado (Figura 48), enquanto que as medidas 64/228 e 77/358 compõem o segundo par conjugado do ponto RF-09, ilustrado pela figura 49.

Figura 47 – Estereograma com todas as sete medidas de fraturas levantadas para o ponto RF-09 (n=7; hemisfério inferior e projeção de áreas iguais).



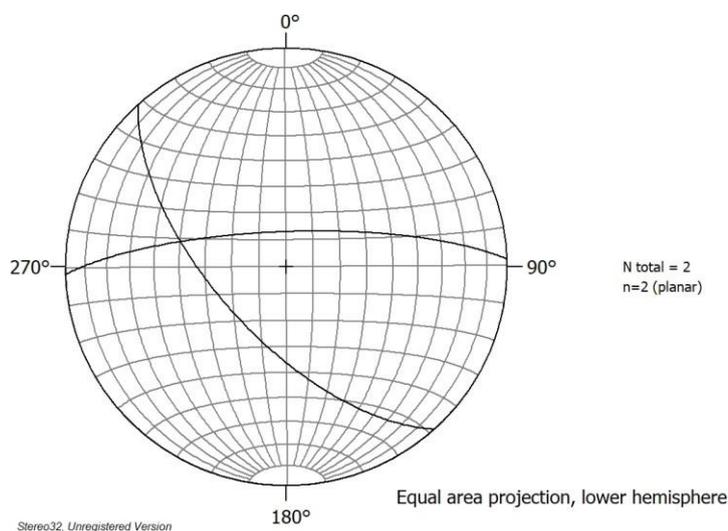
Fonte: autor.

Figura 48 – Estereograma com as medidas do primeiro par conjugado medido do ponto RF-09. (n=2; hemisfério inferior e projeção de áreas iguais).



Fonte: autor.

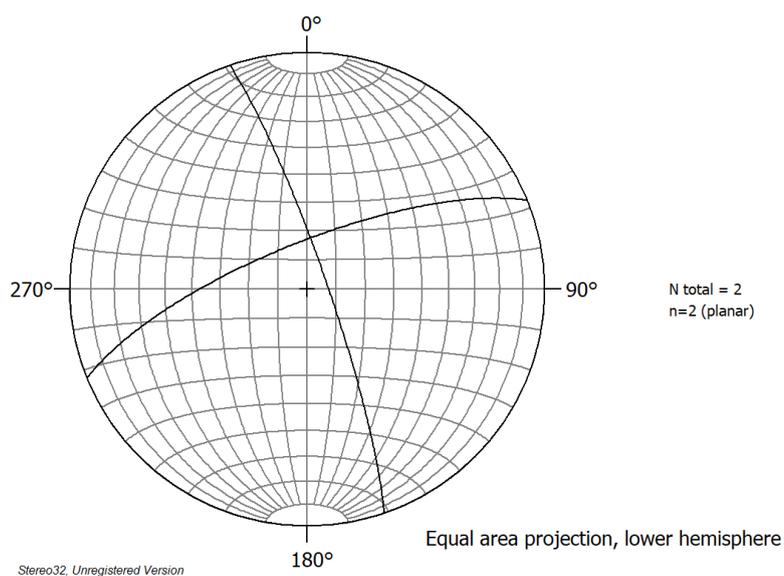
Figura 49 – Estereograma com as medidas do segundo par conjugado medido do ponto RF-09 (n=2; hemisfério inferior e projeção de áreas iguais).



Fonte: autor.

O ponto RF-04 é localizado no hiato de informações estruturais entre as linhas geofísicas de Nascimento (2024). Foram levantadas medidas de xistosidade e duas direções de fraturas que não se confirmaram como par conjugado por conta de não satisfazer a condição angular de existência para pares conjugados de fraturas (ângulos entre fraturas teoricamente de aproximadamente 60° , enquanto o ângulo medido foi de aproximadamente 90°), como ilustra a figura 50.

Figura 50 – Estereograma com as duas atitudes rúpteis do ponto RF-04 (n=2; hemisfério inferior e projeção de áreas iguais).



Fonte: autor.

O ponto RF-08 é equivalente ao ponto MV2-16 de Nascimento (2024), referente a região no início da linha geofísica em que o autor descreve a primeira estrutura limítrofe do Horst-Graben, interpretado com o método de caminhamento elétrico. Apresenta como característica principal a variação gradual de espaçamento entre as fraturas observadas no afloramento tipo valeta de estrada. Ora suas fraturas se apresentam espaçadas em escala centimétrica, ora esse espaçamento diminui para escala milimétrica, com duas direções principais de fraturas observadas (Figura 51).

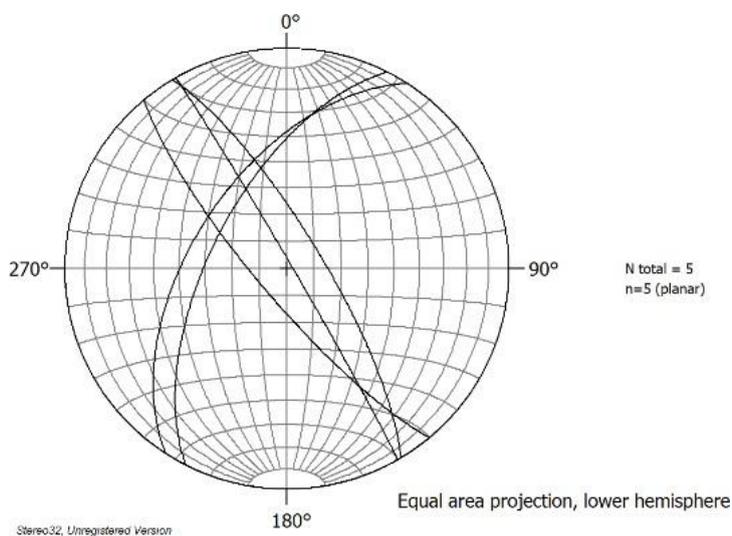
Figura 51 – Afloramento RF-08 em beira de estrada, apresentando variação de espaçamento e densidade de fraturas ao longo do corpo de rocha. A lapiseira aponta a direção do conjugado de fratura que faz par com a fratura principal, que é paralela ao lineamento observado na área e tem variação no espaçamento da direita (espaçamento cm) para a esquerda (espaçamento mm).



Fonte: Autor.

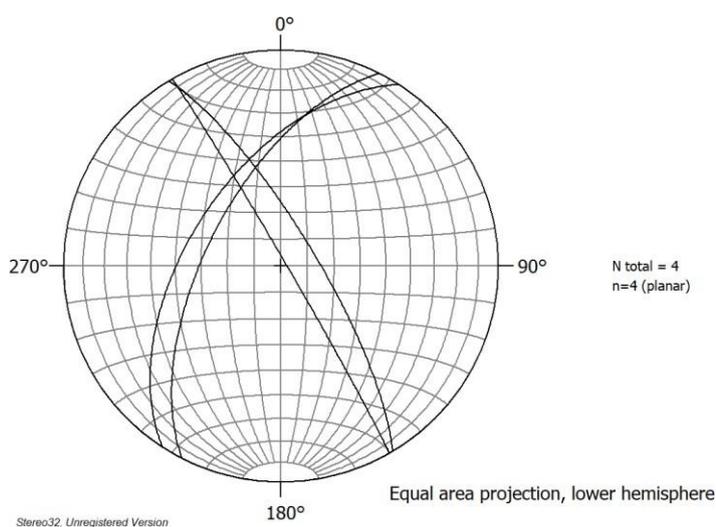
Em relação às medidas de fraturas do ponto, foram levantadas 5 medidas para o ponto RF-08, apresentando 3 sentidos de mergulho diferentes, conforme ilustrado pela figura 52 a seguir. Foi possível notar a presença de par conjugado de fraturas com as medidas 77/059, 55/303 e 88/060, 62/297, ilustrado pela figura 51.

Figura 52 – Estereograma com as cinco medidas de fraturas obtidas para o ponto RF-08 (n=5; hemisfério inferior e projeção de áreas iguais).



Fonte: autor.

Figura 53 – Estereograma contendo apenas as medidas para os pares conjugados medidos no ponto RF-08 (n=4; hemisfério inferior e projeção de áreas iguais).

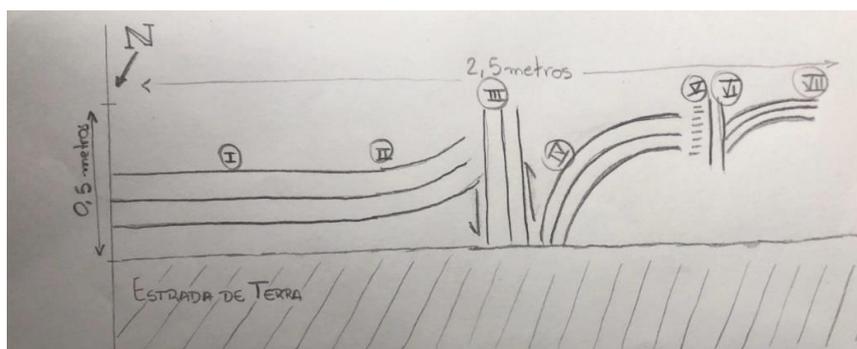


Fonte: autor.

O ponto RF-07 é equivalente ao ponto MV2-54 de Nascimento (2024), na porção final da linha em que o autor descreve como parte de um Horst-Graben. O ponto descrito representa bem a deformação dúctil desta unidade litológica, como mostra a figura 52 um croqui esquemático do afloramento em lajeado na beira da estrada. Suas medidas ao longo do mesmo afloramento apresentam-se rotacionando em III e VI, com os componentes de movimento relativo entre os

pontos II, III e IV sugestivo de cisalhamento sinistral aparente. Já em V a rotação não é tão nítida, talvez devido ao afloramento diminuto e descontínuo. Não foram observados indicativos importante de fraturamento nessa porção da área de estudo.

Figura 54 – Croqui do Ponto RF-07, representando o afloramento e como a foliação da rocha metavulcânica rotaciona.



Fonte: autor.

Na porção leste da área de estudo afloram rochas sedimentares do Grupo Hilário, Formação São Rafael. A amostra utilizada para análise e descrição do arenito representativo dessa unidade é referente ao final da linha MV3, de Nascimento (2024), coletado em frente à igreja da porção central da região de Picada Grande. A rocha se apresenta marrom com tonalidades levemente amareladas em sua face fresca, enquanto a face exposta (intemperizada) se apresenta marrom escuro, quase preto.

O quartzo se apresenta transparente, em agregados granulares esparsos pela amostra, com grãos menores que um milímetro. O feldspato potássico se apresenta marrom amarelado (bege), com forma granular arredondada com o tamanho dos grãos variando entre 1 e 3 milímetros. A granulometria deste arenito varia de fina à muito fina, com grau de alteração alto. Se trata de um arenito fino a muito fino, composto por quartzo e K-feldspato, sendo suas respectivas porcentagens relativas na amostra analisada 10% e 90%, podendo assim a rocha ser denominada como arenito feldspático ou arcóseo. Sendo assim, a rocha é um arenito feldspático fino e bem selecionado, com grãos bem arredondados e com baixa esfericidade. A figura 55 a seguir representa a amostra descrita no presente parágrafo.

Figura 55 – Amostra de arenito feldspático referente ao final da MV3.



Fonte: autor.

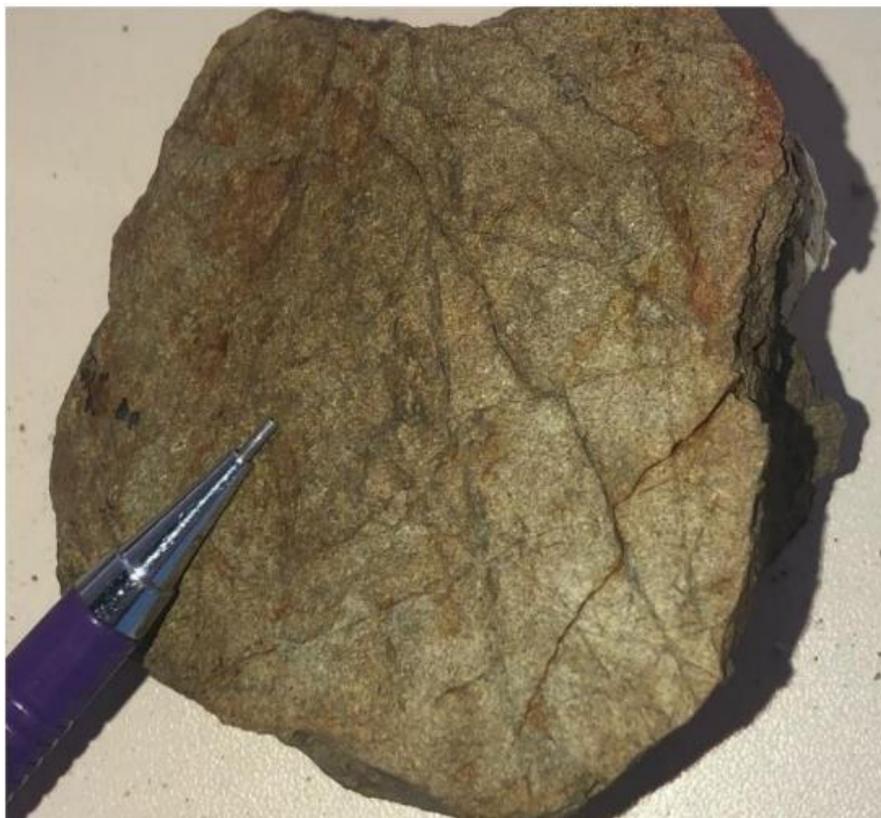
UNIPAMPA (2022) descreve no ponto PPC-212 um afloramento do tipo lajeado em leito de estrada que apresenta uma rocha com alto grau de alteração (Figura 56), além de se mostrar fraturada. A amostra apresenta coloração marrom claro com partes em cinza. Sua granulometria é fina, com pequenos grãos de quartzo visíveis na amostra, com textura sacaroidal, brilho sedoso (provavelmente por conta de presença de mica), e os grãos variam de fino a muito fino. A rocha (Fig. 57) é classificada como arenito fino, tendo uma medida de plano estrutural, um provável acamamento sedimentar medido em campo, de atitude 71/050 (Figura 58).

Figura 56 – Afloramento do tipo lajeado em leito de estrada, local de coleta do arenito do final da linha geofísica MV3 de Nascimento (2024).



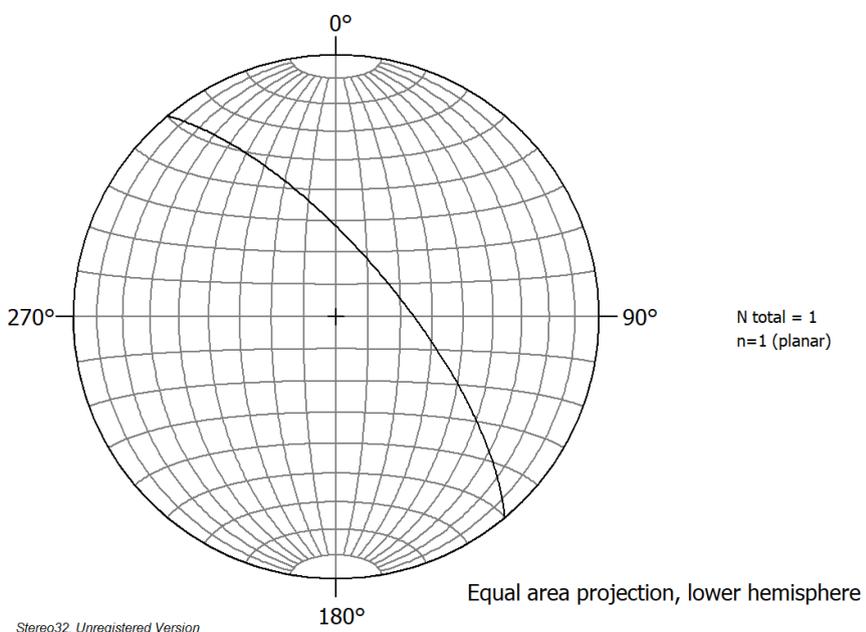
Fonte: autor.

Figura 57 – Amostra de arenito do PPC-212.



Fonte: UNIPAMPA (2022).

Figura 58 – Estereograma com a medida de acamamento do ponto PPC-212 (n=1; hemisfério inferior e projeção de áreas iguais).



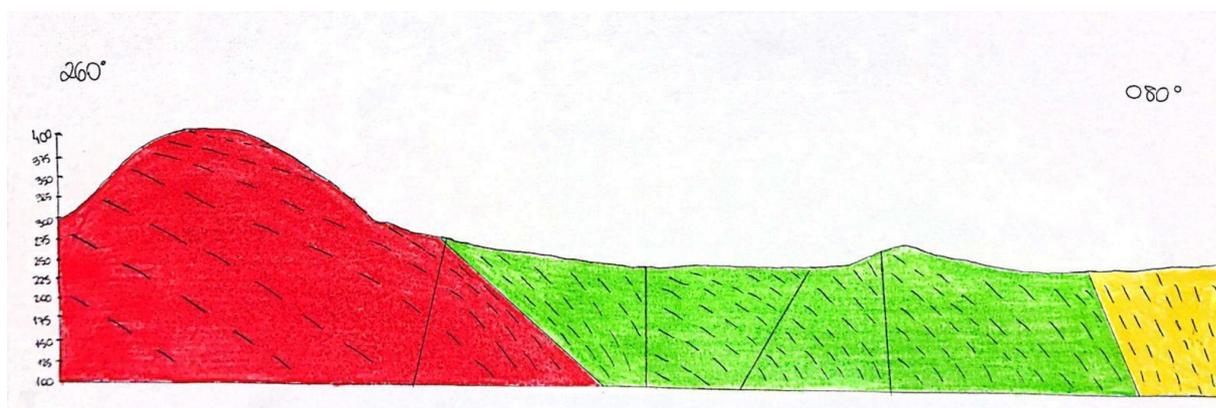
Fonte: UNIPAMPA (2022).

8. DISCUSSÃO

A correlação dos dados do mapeamento geológico estrutural, com as informações obtidas por trabalhos previamente realizados, possibilitou a avaliação dos pontos com a maior probabilidade de ocorrência de água subterrânea, propostos por Nascimento (2024), utilizando critérios estruturais com base em lineamentos morfo-estruturais e nas medidas levantadas referentes à deformação rúptil, enquanto na deformação dúctil será analisado as principais tendências de atitudes.

A figura 59 trata-se da seção estrutural integradora da área da Picada Grande (vide localização da seção no mapa geológico-estrutural da Fig. 22). Pela análise da figura é possível notar que as foliações do granito e da rocha metavulcânica (ou plagioclásio-mica-clorita xisto) estão predominantemente concordantes entre si, variando apenas seu ângulo de mergulho. Estas foliações apresentam valores mais baixos a oeste, na porção interna do granito, chegando a médio ângulo próximo do contato, e valores chegando a alto ângulo em regiões mais distantes do contato litológico. Essa concordância indica que as duas litologias foram submetidas ao mesmo evento deformacional dúctil. Por outro lado, o contato do arenito sobre o xisto apresenta uma não-conformidade, com uma única medida de acamamento de alto ângulo para nordeste, não sendo observadas evidências em campo ou imagem de satélite que indicasse contato tectônico entre estas unidades. Ainda, os principais lineamentos identificados em imagem de satélite e linhas geofísicas (Nascimento, 2024) são representados na seção geológica-estrutural, (Fig. 59).

Figura 59 – Seção geológico-estrutural da região da Picada Grande, partindo de W (à esquerda) em direção a E (à direita).



Fonte: autor.

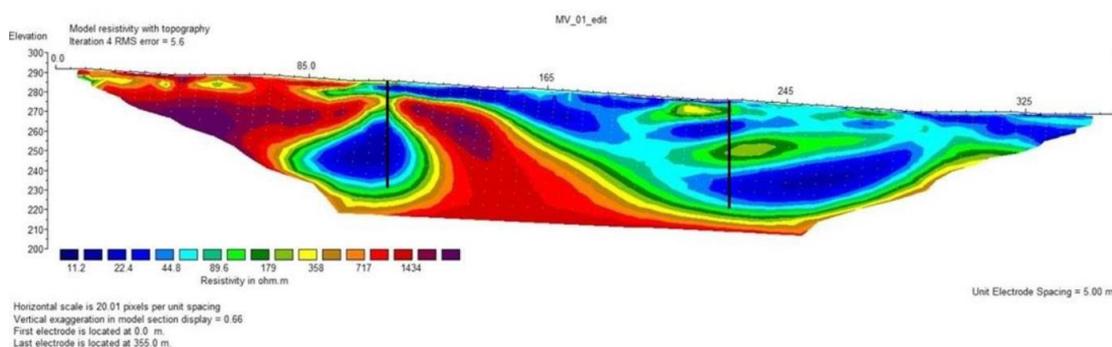
O que controla o fluxo d'água em um aquífero fraturado é a porosidade secundária, isto é, a interconexão entre os planos de fratura dispostos ao longo do aquífero. Sendo assim, o controle do fluxo de água subterrânea na região de Picada Grande é realizado pelos planos de fraturas. Dentre os planos de fraturas, as fraturas de direção NE-SW apresentam-se como mais promissoras para a prospecção de água subterrânea. Isso é sugerido com base em duas evidências, a primeira no ponto RF-05, com a existência de um plano de fratura de direção NE-SW apresentando artesianismo, sendo um indício da existência de um aquífero fissural em potencial na região, e ainda, a segunda evidência correlacionando a anomalia geofísica principal da linha MV1 de Nascimento (2024) com um importante lineamento NE-SW que transecta o contato entre o sienogranito foliado e a rocha metavulcânica exatamente nessa região.

O autor citado elenca três pontos de interesse, sendo dois primeiros pontos na linha geofísica MV1 e o último ponto na linha MV2. O primeiro ponto de interesse se localiza no primeiro terço da primeira linha geofísica, próximo ao contato litológico entre o Complexo Granítico Caçapava do Sul e o Complexo Passo Feio, assim como do ponto RF-06. Neste ponto, notou-se uma fratura aberta de escala centimétrica e profundidade aproximada de 2 metros, com indícios de presença de água em profundidade (dada a abundante vegetação), além de relevo de talweg bem marcado ao longo da região em torno do ponto proposto. A anomalia geofísica observada em Nascimento (2024) é em forma de gota e encontra-se nas imediações do contato (MV1-28), sugerindo abundância de água em profundidade, e sendo correlacionada em planta com lineamento de direção NE-SW, direção essa que se apresenta como a mais promissora para a exploração de água subterrânea. O conjunto de fatores como, existência de fraturas abertas, plano de fratura NE-SW apresentando artesianismo em afloramento próximo, e cruzamento entre os lineamentos correlatos e o contato entre CGCS e CPF faz do primeiro ponto proposto por aquele autor um ponto promissor para a realização de uma eventual perfuração de poço tubular profundo na região de Picada Grande.

O segundo ponto promissor encontra-se no início do último terço da linha MV1, local próximo ao ponto RF-09, na parte onde é possível observar anomalias negativas que se intercalam com "camadas" de valores médios de eletrorresistividade e mergulho aparente para W. Essa alternância de valores foi inicialmente considerada como uma possível intercalação de camadas de diferentes

valores de resistividade elétrica, no entanto, em campo foi possível concluir que essa anomalia tem mergulho contrário à foliação e é controlada pela direção de fraturas com sentido de mergulho para SW, presentes na porção E da linha geofísica MV1. Nota-se que o segundo ponto de interesse da linha geofísica MV1 (de Nascimento, 2024) não apresenta cruzamento de estruturas, como descrito no ponto anterior, mas apresenta maior densidade de fraturas. A anomalia que se apresenta na região final da linha tem sua relevância, devido a sua magnitude na figura 60, atingindo aproximadamente 80 metros de profundidade. Sendo assim, são descritas as características favoráveis para esse ponto ser considerado um ponto com potencial hídrico para prospecção de água subterrânea.

Figura 60 – Possíveis locais para a locação de poços na linha MV1 indicadas pelas linhas pretas.

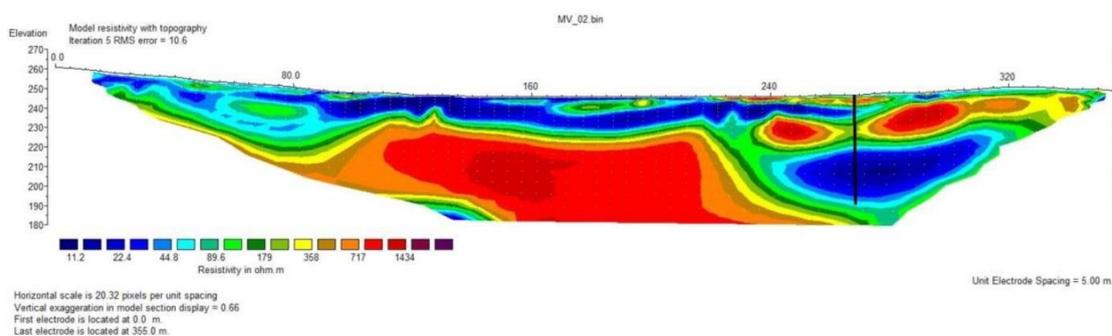


Fonte: Nascimento (2024).

O terceiro ponto localiza-se na linha MV2 de Nascimento (2024), próximo aos pontos RF-08 e RF-07, na porção central da área de afloramento da metavulcânica intermediária. Este ponto se refere à parte final da referida linha geofísica, em uma porção onde se tem as anomalias de resistividade elétrica em profundidade, indicativo da presença de água subterrânea, por volta dos 300 metros de caminhamento na linha MV2. Tal ponto insere-se no contexto de uma estrutura Graben-Horst-Graben (anomalia em vermelho ao centro da figura da linha MV2 que indica o soerguimento do embasamento), com duas estruturas limítrofes nas bordas deste alto estrutural, uma mergulhando para E enquanto a outra para W. Este ponto se apresenta uma porção reduzida onde a anomalia negativa é favorável a presença de água ocorre em maior profundidade. Entre o começo da linha (0 metros) até aproximadamente 240 metros, as anomalias ocorrem em sua maioria em subsuperfície, o que pode indicar a saturação de água no solo, enquanto que a partir dos 240 metros, as anomalias aparecem em profundidade (aproximadamente 70

metros de profundidade) até mais ou menos a metragem 320 metros, em uma região onde se denota maior densidade de fraturas de direção NW, direção de fraturas menos abertas. A anomalia favorável à existência de água subterrânea se encontra abaixo de uma porção da rocha com valores altos para eletrorresistividade, o que indicar porções da metavulcânica mais competentes/menos fraturadas em uma provável camada selante.

Figura 61 – Possível local para a locação de poço na linha MV2 indicada pela linha preta.



Fonte: Nascimento (2024).

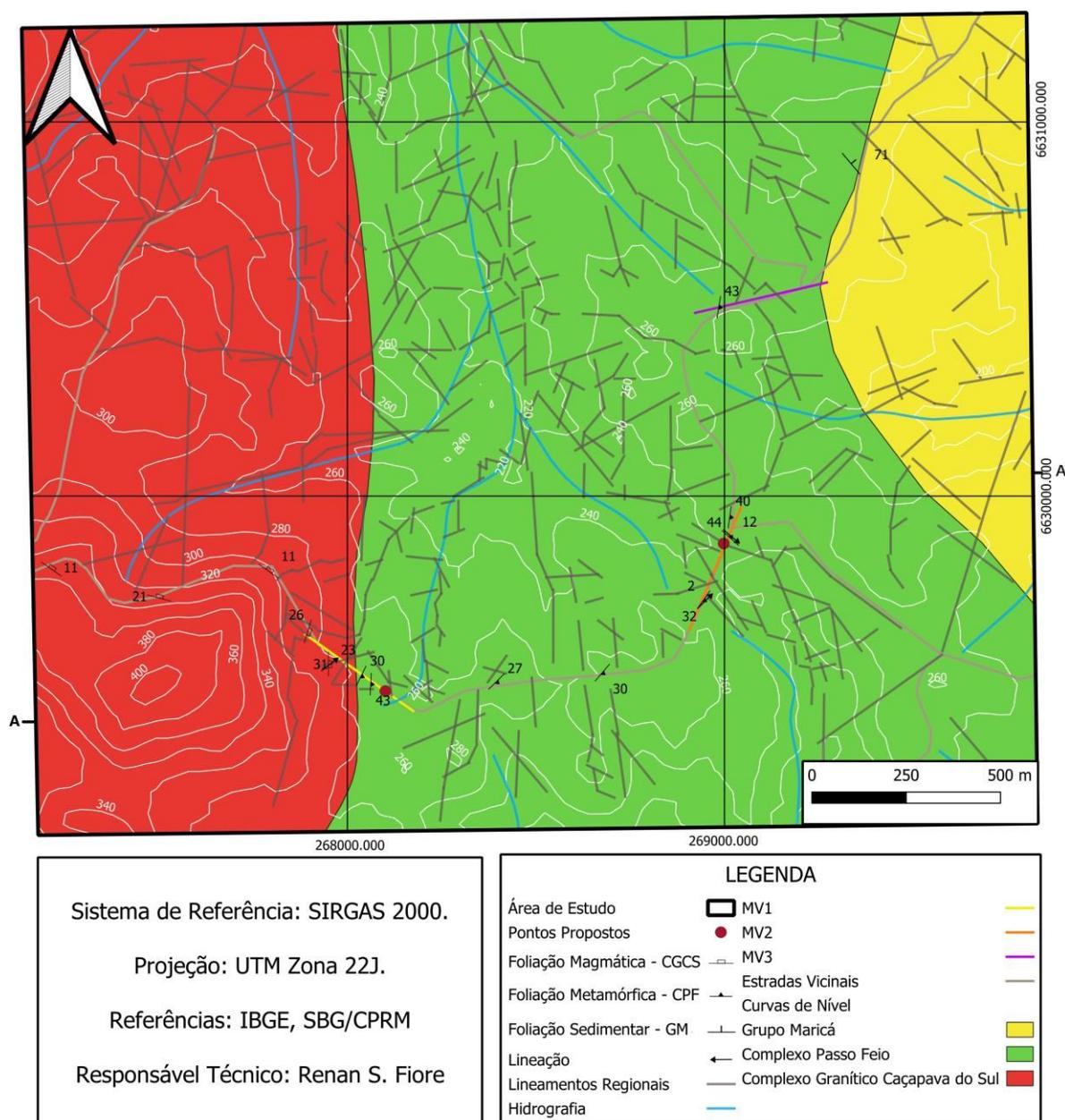
A figura 62 a seguir, representa um mapa da região da Picada Grande com a indicação de dois pontos propostos para uma possível perfuração, levando em conta parâmetros como presença de cruzamento de lineamentos, logística de captação e distribuição d'água e informações obtidas com moradores da região a cerca da qualidade da água. De acordo com os relatos, a água subterrânea se apresenta salobra nas proximidades do contato do CPF com o GM. Os pontos se localizam no final da linha MV1 e nas proximidades da estrutura Graben-Horst da linha MV2 de Nascimento (2024).

O primeiro ponto proposto se localiza no final da linha geofísica MV1, foi possível observar que o causador do mergulho invertido (para W) nas anomalias do final da MV1 são fraturas SW, à qual pode se apresentar interessante para a prospecção de água subterrânea por conta da região apresentar cruzamento de lineamentos próximos, além do fato deste ponto se encontrar no CPF, um litotipo que se apresenta mais fraturado em relação aos leucogranito do CGCS, apresentando tanto tendências de fraturamento NE-SW e NW-SE.

O segundo ponto proposto, foi elencado por critérios como por exemplo, se tratar de uma região com mais de uma drenagem confinada em lineamentos, aliado

ao fato de apresentar maior concentração de lineamentos em relação as outras porções analisadas, além do fato desta porção apresentar maior densidade de fraturas (ponto RF-08). O que torna como um ponto com potencial hídrico, uma vez que, quanto mais estruturas forem interceptadas ao longo da perfuração do poço tubular profundo, maiores as chances de se ter um poço tubular profundo relevante e produtivo para a comunidade de Picada Grande.

Figura 62 – Mapa lito-estrutural, com as linhas geofísicas de Nascimento (2024) ilustradas juntamente com os lineamentos regionais, rede hidrográfica e os dois pontos propostos nas proximidades da linha MV1 e MV2.



Fonte: autor.

Por fim, o contato entre as litologias na região de estudo, de direção N-S, configura uma estrutura sugestiva da presença de água subterrânea, uma vez que há uma sequência de pelo menos dois açudes e uma sanga observados ao longo deste importante lineamento (entre o ponto RF-03-1 e a estrada onde foi realizado o perfil MV1). O lineamento com água apresenta-se subparalelo ao contato litológico N-S e pode indicar que o contato entre as litologias no início da MV1 contribua como área de recarga do aquífero fraturado da Picada Grande, com a fratura aberta descrita no ponto RF-06 corroborando para esta sugestão. Além disso, a presença de duas anomalias negativas de eletrorresistividade, uma no granito e outra na rocha metavulcânica, adjacentes a essa interface (contato) entre rochas com eletrorresistividades contrastantes (vide linha MV1 de Nascimento, 2024), também sugere que este contato atue como área de recarga para o aquífero, sendo, portanto, uma área de especial importância para a sua preservação hidrogeológica e ambiental.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F.F.M. 1977. O Cráton São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 7: 349-364.
- BITENCOURT, M. F. Metamorfitos da região de Caçapava do Sul, RS: geologia e relações com o corpo granítico. *Simpósio Sul-brasileiro de Geologia*, v. 1, p. 37-48, 1983.
- BITENCOURT, M.F. & NARDI, L.V.S. 2000. Tectonic setting and sources of magmatism related to the Southern Brazilian Shear Belt. *Revista Brasileira de Geociências*, 30: 186-189.
- BORBA, A. W. de. Evolução geológica da "Bacia do Camaquã" (Neoproterozóico e Paleozóico inferior do Escudo Sul-Riograndense, RS, Brasil): uma visão com base na integração de ferramentas de estratigrafia, petrografia e geologia isotópica. Tese de Doutorado. Porto Alegre: Instituto de Geociências, UFRGS. 109 f., 2006.
- BORBA, A.W., MARASCHIN, A.J., LIMA NORONHA Lima, F., CASAGRANDE, J. & MIZUSAKI, A.M.P. 2007. Provenance of the sedimentar rocks of the Bom Jardim Group (Neoproterozoic, Southern Brazil): evidence from petrography, geochemistry and neodymium isotopes. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, 14(1): 25-42.
- CHEMALE JR., F. Evolução Geológica do Escudo Sul-rio-grandense. In: Holz, M. & De Ros, L.F. (Ed.). *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, CIGO/UFRGS. p.13-52, 2000.
- COSTA, A.F.U. 1997. Teste e Modelagem Geofísica da Estruturação das Associações Litotectônicas Pré-Cambrianas no Escudo Sul-riograndense. Tese de Doutorado, IG-UFRGS, Porto Alegre, 291 p.
- COSTA, E. O. da. Evolução metamórfico-deformacional da porção sudeste do Complexo Metamórfico Passo Feio e interpretação do lineamento de Caçapava, RS. 2021. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós Graduação em Geociências, Porto Alegre, 2021
- DAVIS, G. H.; REYNOLDS, S. J. *Structural geology of rocks and regions*. John Wiley & Sons, 2a ed. 1996.
- DE TONI, G. B.; DA COSTA, J. A. L. Kinematic analysis of the Caçapava do Sul Granitic Complex, southern Brazil: Ediacaran syntectonic magmatism and strain

partitioning during inclined ductile extrusion along a transpressional shear zone, Dom Feliciano Belt. *Journal of South American Earth Sciences*, p. 104996, 2024.

E-book Reflexões e Práticas Extensionistas, disponível em:
<https://sites.unipampa.edu.br/proext/files/2019/07/ebook-reflexoes-e-praticas-extensionistas-na-unipampa-2018.pdf>

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. Hidrogeologia: conceitos e aplicações. Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, 1997.

FEITOSA, F.A.C. et al. 2008. Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. 3a ed. rev. e ampl. p. 121-141. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID,2008. 812p

FERNANDES, L.A.D. et al. 1995. Evolução Tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-rio-grandense: Parte I - uma contribuição a partir do registro geológico. *Revista Brasileira de Geociências*, 25(4): 351-374.

FOSSSEN, H. Geologia Estrutural. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 575 p.

FRAGOSO-CESAR, A. R. S.; ALMEIDA, R. P.; FAMBRINI, G. L.; PELOSI, A. P. M. R.; JANIKIAN, L. A Bacia Camaquã: um sistema intracontinental anorogênico de rifts do Neoproterozóico III-Eopaleozóico no Rio Grande do Sul. In: Encontro Estrat. Rio Grande do Sul – Escudos e Bacias, 1, Porto Alegre: SBG, Anais... p.139-144. 2003

FRAGOSO-CESAR, A.R.S. et al. The Camaquã extensional basin: Neoproterozoic to early Cambrian sequences in southernmost Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*. 30(3):442-445, 2000.

FUNKE, JOSILAINE (2022) – Análise de critérios para locção de poços tubulares profundos em Caçapava do Sul-RS.

GONÇALES, V.G.; GIAMPÁ, C.E.Q. Águas subterrâneas e poços tubulares profundos.1. ed. São Paulo: Signus Editora, 2006.

HARARI, Y. N. Sapiens: uma breve história da humanidade. São Paulo. Editora Companhia das Letras, 2015.

HARTMANN, L.A., 1998. Deepest Exposed Crust of Brazil-Geochemistry of Paleoproterozoic Depleted Santa Maria Chico Granulites. *Gond. Res.*, 1:331-341.

HARTMANN, L.A., CHEMALE Jr., F. & PHILIPP, R.P. Evolução Geotectônica do Rio

Grande do Sul no Pré Cambriano. In: Iannuzzi, R. & Frantz, J.C. (eds.). 50 Anos de Geologia. Instituto de Geociências. Contribuições. Porto Alegre, Comunicação e Identidade, 2007.

HOERLLE, G.S., REMUS, M.V.D., DANI, N., Metamafic dyke and sill swarms in the Dom Feliciano Belt: Insights for post-collisional strike-slip tectonics and fluid-assisted metamorphism. *Southern Brazil Journal of South American Earth Sciences*. 2022.

JANIKIAN, L. et al. Redefinição do Grupo Bom Jardim (Neoproterozoico III) em sua área-tipo: litoestratigrafia, evolução paleoambiental e contexto tectônico. *Revista Brasileira de Geociências*. 33(4): 349-362, 2003.

LEINZ, Viktor; BARBOSA, A. F.; TEIXEIRA, E. A. Mapa geológico, Caçapava- Lavras: Rio Grande do Sul. *Min. Metalurgia*, v. 5, n. 30, p. 252-258, 1941.

LIMA, E. F. & NARDI, L.V.S. 1998. The Lavras do Sul Shoshonitic Association: implications for the origin and evolution of Neoproterozoic shoshonitic magmatism in southernmost Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 11(1): 67-77.

LIMA, E.F., SOMMER, C.A. & NARDI, L.V.S. 2007a. O vulcanismo Neoproterozóico-Ordoviciano no Escudo Sul-rio-grandense: os ciclos vulcânicos da Bacia do Camaquã. In: Iannuzzi.

LIZ, J.D., LIMA, E.F., NARDI, L.V.S., HARTMANN, L.A., GONÇALVES, C.R.H. 2004. Aspectos petrográficos e composicionais do sistema multi-intrusivo da Associação Shoshonítica de Lavras do Sul (RS) e seu potencial para mineralização de ouro e sulfetos. *Revista Brasileira de Geociências*, 34(4): 539-552.

LOPES, C. G. *et al.* **Provenance of the Passo Feio Complex, Dom Feliciano Belt:** implications for the age of supracrustal rocks of the São Gabriel Arc, southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 58, p. 9-17, 2015

LOPES, R. W.; MEXIAS, A. S.; PHILIPP, R. P.; BONGIOLO, E. M.; RENAC, C.; BICCA, M. M.; FONTANA, E. AuCuAg mineralization controlled by brittle structures in Lavras do Sul Mining District and Seival Mine deposits, Camaquã Basin, southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 88, p. 197-215, 2018.

MCCLAY, K. The mapping of geological structures. John Wiley & Sons, 1987.

MORIN, R. H.; CARLETON, G. B.; POIRIER, S. Fractured-aquifer hydrogeology from geophysical log, the Passaic Formation, New Jersey. **Ground Water**, v, 5, n.2, p. 327-338, mar/abr. 1997.

NARDI, L.V.S., BITTENCOURT, M.F. Geologia, Petrologia e Geoquímica do Complexo Granítico de Caçapava do Sul, RS. *Revista Brasileira de Geociências*, v19, n 2, p. 153-169. 1989.

NARDI, L.V.S. & LIMA, E.F. 1985. A Associação Shoshonítica de Lavras do Sul, RS. *Revista Brasileira de Geociências*, 15(2):139-146.

NARDI, L.V.S. & LIMA, E.F. 1988. Hidrotermalismo no Complexo Granítico Lavras e vulcânicas associadas, RS. *Revista Brasileira de Geociências*, 18(3): 369-375

NASCIMENTO, M.V. 2024. Prospecção geofísica de água subterrânea na região da Picada Grande, Caçapava do Sul-RS.

OYHANTÇABAL, P., SIEGISMUND, S., WEMMER, K., 2010. The Río de la Plata Craton: a review of units, boundaries, ages and isotopic signature. *Int. J. Earth Sci.* 100, 201e220.

ONU, 1992. Declaração Universal dos Direitos da Água.

PAIM, P. S. G.; CHEMALE JR, F.; WILDNER, W. Estágios evolutivos da Bacia do Camaquã (RS). In: *Ciência e Natura*, v. 36, n. 3, p. 183-193, 2014.

PAIM, P. S. G.; LOPES, R. C.; CHEMALE Jr., F. A Bacia do Camaquã. Porto Alegre: *Geologia do Rio Grande do Sul*, p. 231-274, 2000.

PEACOCK, D.C.P. et al. Glossary of fault and other fracture networks. *Journal of Structural Geology*, v. 92, p.12-29, 2016.

PEDRO A. R. REGINATO (2003) - Integração de Dados Geológicos para Prospecção de Aquíferos Fraturados em Trecho da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas (RS).
Disponível em:
<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/117392/000402125.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

PEREIRA, 2023. – Disponível em: <https://agoranors.com/2023/04/abastecimento-agua-cacapava-do-sul/>

PHILIPP, R.P.; MACHADO, R.; CHEMALE Jr.,F. 2007. A Geração dos granitóides Neoproterozóicos do Batólito Pelotas: evidências dos isótopos de Sr e Nd e implicações para o crescimento continental da porção sul do Brasil. In: Ianuzzi, R.; Frantz, J.C.; (Org.). 50 anos de Geologia. Instituto de Geociências. Contribuições. 1 ed. Porto Alegre: Editora Comunicação e Identidade, CIGO. IG-UFRGS, v. 1, p. 59-77.

PICADA, R.S. 1971. Ensaio sobre a tectônica do Escudo Sul-riograndense. *Anais, Congresso Brasileiro de Geologia, Anais, SBG, 25, São Paulo, 1: 167-191*

PICADA, R. S. Os sistemas de falhas da parte central do escudo Sul Riograndense: evolução dos conhecimentos e proposição de problemas: *Anais XXII Cong. Bras. Geologia*, p. 247-253, 1968.

PORTARIA nº2914 de 12 de dezembro de 2011 – Ministério da Saúde do Brasil _ disponível em
https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html

Projeto Pedagógico do Curso de Geologia de Caçapava do Sul – disponível em: <https://repositorio.unipampa.edu.br/jspui/handle/riu/107>

REGINATO, P.A.R.; MICHALSKI, E.Z.; PAIM, R.A. Água subterrânea, p.209-218. In: SCHÄFER, A.; LANZER, R.; SCUR, L. (Org.). Atlas socioambiental do município de Osório. Caxias do Sul: EDUCS, 2017, 237p.

REMUS, M. V. D. et al. 1999. Gold in the Neoproterozoic juvenile Bossoroca Volcanic Arc of southernmost Brazil: isotopic constraints on timing and sources. *Journal of South American Earth Sciences*, 12(4), 349-366.

RIBEIRO, M. 1980. Geossuturas do escudo do Rio Grande do Sul. In: Congresso Brasileiro de Geologia. p. 2709-2178.

RIBEIRO, M.; BOCCHI, P. R.; FIGUEIREDO, F. P. M. 1966. Geologia da quadrícula de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul – Brasil. *Boletim do D.N.P.M.*, 127.

RIBEIRO, M. & FZNTINEL, L.M. 1978. Associações petrotectônicas do Escudo Sul-Riograndense: I Tabulação e distribuição das associações petrotectônicas do Escudo do Rio Grande do Sul. *Inheringia Serviço Geológico*, 5: 19-54.

RUSHTON, K. R.; WELLER, J. Response to pumping of a weathered-fractured granite aquifer. **Journal of Hidrology**, v. 80, p. 299-309, out. 1985.

SAALMANN, K., HARTMANN, L.A., REMUS, M.V.D., KOESTER, E., CONCEIÇÃO, R.V. 2005. Sm-Nd isotope geochemistry of metamorphic volcano-sedimentary successions in the São Gabriel belt, southernmost Brazil: Evidence for the existence of juvenile Neoproterozoic oceanic crust to the east of the La Plata Craton. *Precambrian Research*, 136:159-175

SAALMANN, K., REMUS, M.V.D., HARTMANN, L.A., 2006. Tectonic evolution of the Neoproterozoic juvenile São Gabriel belt, southern Brazil — constraints on Brasiliano orogenic evolution of the La Plata cratonic margin. *Journal of South American Earth Sciences* 21, 204– 227

SAKLANI, P. S. (2008). *Glossary of Structural Geology and Tectonics*, 1st ed. Satish Serial Publishing House.

SOUZA, T. L. de. Gênese dos serpentinitos e esteatitos do Complexo Passo Feio (RS-Brasil): evidências mineralógicas, geoquímicas e isotópicas. 2020.

TESSARI, R. I.; PICADA, R. S. Geologia da quadrícula de Encruzilhada do Sul. Divisão de Fomento da Produção Mineral, 1966.

TONIOLO, J.A., Gil, C.A.A., SANDER, A., 2007. Projeto BANEÓ–Metalogenia das Bacias Neoproterozóico–Eopaleozóicas do Sul do Brasil – Bacia do Camaquã. CPRM – Serviço Geológico do Brasil (CD Rom).

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

VAN DER PLUIJM, B. A. & MARSHAK, S. Earth Structure: an introduction to structural geology and tectonics. 2a ed. New York: W. W. Norton & Company, 2004.