

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

MATEUS VITOR DO NASCIMENTO

**PROSPECÇÃO GEOFÍSICA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NA REGIÃO DA PICADA
GRANDE, CAÇAPAVA DO SUL - RS**

**Caçapava do Sul
2024**

MATEUS VITOR DO NASCIMENTO

**PROSPECÇÃO GEOFÍSICA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NA REGIÃO DA PICADA
GRANDE, 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

Coorientador: Lenon Melo Ilha

**Caçapava do Sul
2024**

MATEUS VITOR DO NASCIMENTO

PROSPECÇÃO GEOFÍSICA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NA REGIÃO DA PICADA GRANDE, 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.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em 12 de julho de 2024.

Banca examinadora:

Professor Dr. Giuseppe Betino De Toni
Orientador
Universidade Federal do Pampa

Professor Dr. Maximilian Fries
Universidade Federal do Pampa

Professora Msc. Mariah Xavier Rocha
Universidade Federal do Pampa



Assinado eletronicamente por **MARIAH XAVIER ROCHA, PROFESSOR MAGISTERIO SUPERIOR - SUBSTITUTO**, em 17/07/2024, às 17:02, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **GIUSEPPE BETINO DE TONI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/07/2024, às 17:21, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **MAXIMILIAN FRIES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 19/07/2024, às 16:50, 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 **1492137** e o código CRC **CE47CE9D**.

RESUMO

A região sul do país é uma das que mais sofre historicamente com a escassez de água, muito em virtude da seca e estiagem que vem atingindo a região quase que anualmente. Neste contexto, este trabalho busca auxiliar a delimitar, na região da Picada Grande, Caçapava do Sul, RS, áreas com potenciais aquíferos subterrâneos. A área de estudo abrange rochas ígneas, sedimentares e metamórficas, além de ter a presença de uma grande quantidade de lineamentos estruturais. Este trabalho analisou imagens de satélite para identificação de lineamentos, seguido por levantamentos geológicos e geofísicos de campo, utilizando o método da eletrorresistividade, a partir da técnica do caminhamento elétrico com o uso do arranjo dipolo-dipolo. Foram realizados 3 levantamentos geofísicos, nos quais utilizou-se espaçamento de 5 metros entre eletrodos e 355 metros de extensão. Em cada linha foram realizados levantamentos topográficos e descrições geológico-estruturais nas regiões com afloramentos. O processamento dos dados ocorreu por meio do software Res2Dinv, onde foram adicionados os dados de altitude adquiridos em campo, para criar um modelo 2D de resistividade com topografia. A interpretação das seções geofísicas geradas, nos mostrou regiões com baixos valores de resistividade, que variam entre 10 e 50 ohm.m, assim como, locais com alta resistividade, variando entre 1000 e 1600 ohm.m, em diferentes profundidades. Estes locais, ao serem correlacionados com dados geológicos de campo e imagem de satélite, mostraram que as principais regiões em que foram detectadas a presença de estruturas geológicas apresentaram baixos valores de resistividade. A partir disso, escolheu-se dois locais próximos de estruturas geológicas na linha MV-01, e um na linha MV-02, como locais possíveis para a locação de poços. Este trabalho ressalta a importância da associação de dados geológicos e geofísicos para a prospecção de água subterrânea, e ilustra sua aplicação na identificação de áreas favoráveis a ocorrência de água subterrânea em uma comunidade que enfrenta escassez sazonal de água no interior de Caçapava do Sul.

Palavras chave: aquífero; lineamentos estruturais; eletrorresistividade; caminhamento elétrico; dipolo-dipolo;

ABSTRACT

The southern region of the country historically suffers water scarcity, largely due to droughts and annual dry spells. In this context, this study aims to provide subsidies to identify potential underground aquifers in the Picada Grande region, Caçapava do Sul, RS. The study area includes igneous, sedimentary, and metamorphic rocks, along with a significant presence of structural lineaments. The research utilized satellite imagery to identify lineaments, followed by geological and geophysical field surveys using electrical profiling technique, with the dipole-dipole array. Data processing was carried out using Res2Dinv software, integrating field-acquired altitude data to create a 2D resistivity model with topography. Interpretation of the geophysical sections revealed regions with low resistivity values ranging from 10 to 50 ohm.m, as well as areas with high resistivity ranging from 1000 to 1600 ohm.m, at varying depths. Correlating these findings with field geological data and remote sensing showed that regions where geological structures were detected typically exhibited low resistivity values. Based on this, two potential well sites near geological structures along line MV-01 and one on line MV-02 were selected for further consideration. This study underscores the importance of integrating geological and geophysical data for groundwater prospecting, illustrating its application in identifying areas favorable for groundwater occurrence in a community facing seasonal water scarcity in the interior of Caçapava do Sul.

Keywords: aquifers; structural lineaments; geophysical prospecting; electroresistivity; electrical profiling technique; dipole-dipole.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 OBJETIVOS.....	10
2.1 Objetivo Geral.....	10
2.2 Objetivos específicos.....	10
3 JUSTIFICATIVA.....	11
4 ÁREA DE ESTUDO	12
4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA	12
4.2 Geologia Regional	13
4.3 Geologia Local.....	15
4.3.1 Complexo Metamórfico Passo Feio (CMPF).....	16
4.3.2 Complexo Granítico Caçapava do Sul (CGCS)	16
4.3.3 Grupo Maricá (GM) – Formação São Rafael (FSF)	17
5 ESTADO DA ARTE	19
5.1 Tipos de Aquíferos	19
5.1.1 Aquíferos Fissurais	20
5.1.2 Aquíferos Porosos	21
5.2 Análise de Imagens de Satélite	22
5.3 Métodos Geofísicos	23
5.3.1 Método da Eletrorresistividade	24
5.3.2 Caminhamento elétrico (CE).....	27
5.3.3 Arranjo Dipolo-Dipolo.....	27
5.4 Métodos Elétricos Aplicados a Prospecção de Água Subterrânea	28
6 MATERIAIS E MÉTODOS	30
6.1 Análise de Imagens de Satélite	30
6.2 Geologia de Campo.....	30
6.3 Levantamentos Geofísicos.....	31
8 RESULTADOS.....	33
8.1 Sensoriamento Remoto	33
8.2 Linha MV-01	34
8.3 Linha MV-02	41
8.4 Linha MV-03	45
9 DISCUSSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
10 REFERÊNCIAS.....	52

1 INTRODUÇÃO

A água é essencial para a existência da vida. Segundo a Organização das Nações Unidas (2010), é obrigação dos países a garantia de acesso à água potável e segura para todos, pois esse é um direito primordial que é fundamental para a dignidade de todas as pessoas. Ao observar ao longo da história, a formação das primeiras sociedades esteve vinculada a locais com fácil acesso à água. Como exemplo tem-se a Mesopotâmia, com os rios Tigres e Eufrates, que eram utilizados principalmente para o cultivo de comida e para transporte através de navegações (Tundisi; Matsumura-Tundisi, 2020).

Ao longo da história ficou evidenciado que a água continuará a ser imprescindível para a humanidade e o seguimento da vida como conhecemos hoje. Porém, é necessário que sua utilização seja feita de maneira mais racional, empregando técnicas de manejo de maneira adequada em seus mais variados usos, minimizando os problemas externos, assim como as contaminações e também as eutrofizações, executando tudo isso de maneira sustentável (Tundisi; Matsumura-Tundisi, 2020).

Atualmente, o mau gerenciamento das águas limpas do planeta em conjunto com o aumento da demanda populacional tem levado os especialistas ao redor do mundo a se atentar com maior preocupação a questão da água, em razão do alto risco de escassez que a humanidade enfrenta atualmente (Olivo; Ishiki, 2014).

Ao longo dos anos, a seca e a estiagem vêm escancarando os problemas que o Brasil, e em específico a região Sul, sofre com a escassez de água. Segundo Grigoletto et al (2016), a seca é considerada um dos maiores perigos de desastres naturais, uma vez que afeta principalmente populações em situações precárias e em situação de vulnerabilidade socioeconômica.

Em razão desse problema afetar majoritariamente as populações de baixa renda, sendo boa parte no interior dos municípios, uma solução para essa população é a locação de poços tubulares para o acesso à água subterrânea, uma vez que apesar das dificuldades, é umas das técnicas para a aquisição de água que mais cresce. A água subterrânea se origina por meio das infiltrações que ocorrem no terreno, através de precipitações pluviométricas em forma de neblina, chuva ou neve (Feitosa, 2008).

A geofísica é uma ciência que cada vez mais se torna indispensável para a pesquisa de possíveis aquíferos. Em específico, a utilização de métodos geoeletricos consiste em uma ferramenta de extrema importância para a prospecção de água subterrânea (Gallas, 2003).

Este trabalho visa auxiliar a definir áreas potenciais, na área da comunidade da Picada Grande, em Caçapava do Sul, que tenha a possibilidade de acúmulo de água subterrânea. A região que esse estudo se propõe a analisar é formada por rochas fraturadas, que podem conter em suas estruturas a presença de água. Portanto, em virtude da litologia, possivelmente será aplicado o método do Caminhamento Elétrico (CE), o qual é recomendado para pesquisas em rochas que apresentam certos padrões de descontinuidades verticais, como zonas fraturadas em rochas cristalinas ou falhas em regiões sedimentares (Feitosa et al., 2008).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho, tem como principal objetivo auxiliar na definição e delimitação de áreas que sejam favoráveis a ocorrência de água subterrânea na região da Picada Grande, em Caçapava do Sul

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

De maneira mais específica, os objetivos deste trabalho incluem:

- Reconhecer a orientação e posição de estruturas geológicas através de imagens de satélite e trabalho de campo, para guiar o planejamento dos levantamentos geofísicos;

- Utilizar o método elétrico para medir a resposta geofísica entre os diferentes tipos de litologia;

- Identificar anomalias geofísicas que se correlacionam com estruturas geológicas;

- Estimar as localidades com o maior potencial de ocorrência de água subterrânea, por meio da correlação de dados geológicos e geofísicos.

3 JUSTIFICATIVA

Segundo o jornal digital Gaúcha Zero Hora (Moreira, 2023), mais de 75% dos municípios do Rio Grande do Sul declararam situação de emergência devido ao grande impacto que a estiagem teve no estado no início de 2023. Essa questão de falta de água devida à seca, vem se mostrando recorrente ao longo dos anos em todo o estado, causando problemas no abastecimento de água de uma significativa parte das cidades sul rio-grandenses, afetando a população das partes urbanas e, principalmente, as pessoas que vivem nas porções rurais dos municípios.

A cidade de Caçapava do Sul, vem mostrando uma recorrência quando o assunto é escassez de água. Segundo o site da Prefeitura de Caçapava do Sul (2018), a cidade sofreu com a estiagem chegando a ter decretada situação de emergência. Alguns anos após, em 2020, a seca no interior levou o Governo Federal declarar situação de calamidade no município, onde em abril do mesmo ano, já tinham sido entregues aproximadamente 650 mil litros de água nas comunidades mais afetadas. Em razão dessa reincidência de falta de água no interior do município, segundo o site da Prefeitura de Caçapava do Sul (2020), as regiões como Rincão dos Paz, Alto da Meia Légua, Picada Grande, Segredo, Rincão dos Farias, Coxilha São José, Progresso e Rincão dos Niza, tiveram que pedir por ajuda para receberem um auxílio da prefeitura devido às dificuldades provenientes da escassez de água.

Neste trabalho, a região da Picada Grande foi escolhida em razão de ser uma das comunidades que vem sofrendo quase que anualmente com a seca, e conseqüentemente a falta de água. Além disso, em uma saída de campo realizada na área em uma disciplina do curso de Geologia, foi possível constatar o incômodo da população com a escassez de água, através de reclamações ouvidas pelos alunos e professores presentes. Isso despertou a ideia de desenvolver um projeto que tivesse benefícios concretos para a região, trazendo a união dos três pilares da UNIPAMPA, sendo através do ensino a identificação do problema e aplicando técnicas de pesquisa em um projeto de extensão, devolvendo o conhecimento adquirido da área em forma de ajuda para a resolução da questão da falta de água da comunidade. Além disso, a escolha do projeto levou em conta a proximidade da área com o campus e a disponibilidade de transportar os equipamentos geofísicos, o que torna o projeto exequível.

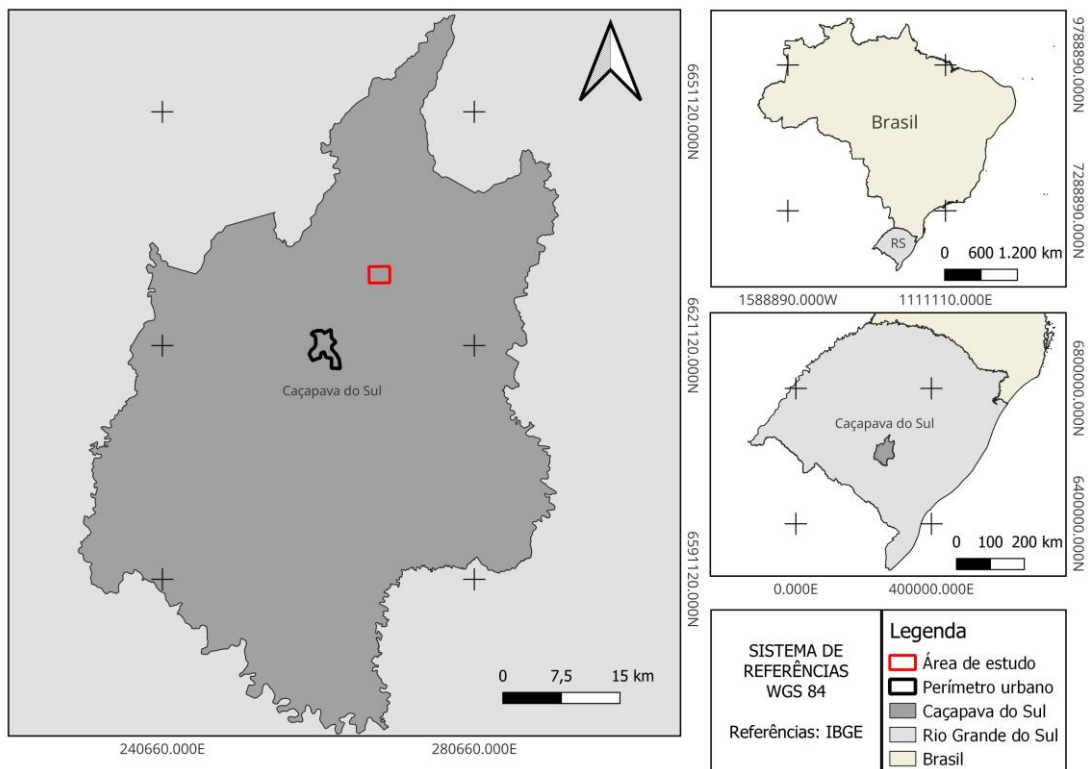
4 ÁREA DE ESTUDO

4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área de estudo fica localizada na cidade de Caçapava do Sul, mais especificamente na região centro-sul do estado do Rio Grande do Sul. O município fica aproximadamente a 260 km de Porto Alegre e pode ser acessado partindo da capital, prosseguindo pela rodovia BR-290 em direção oeste até chegar no cruzamento com a BR-392 e, após isso, seguir na direção sul até chegar na cidade.

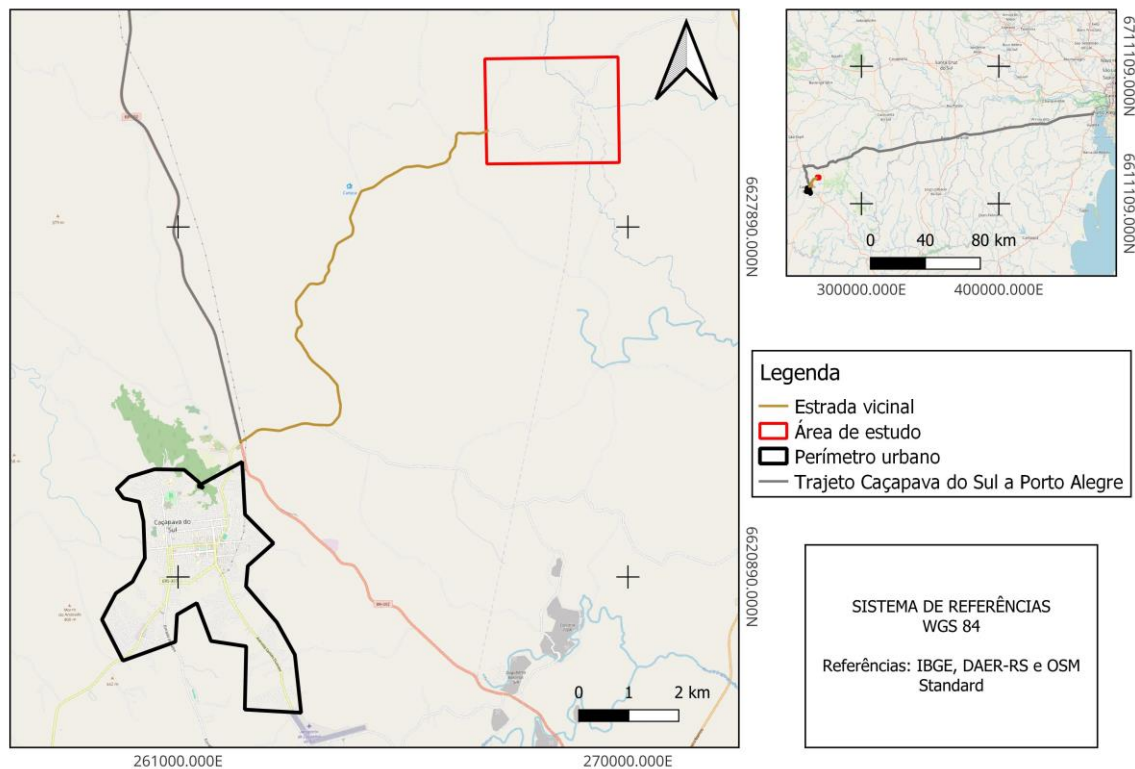
De maneira mais específica, a área que irá ser estudada está localizada a nordeste do município (Fig.1), mais precisamente na Picada Grande, uma região interiorana situada próxima a rodovia BR-153. O acesso à região pode ser realizado a partir de uma estrada vicinal que fica ao lado oposto do pórtico de entrada da cidade (Fig. 2).

Figura 1 – Mapa de localização à área de estudo.



Fonte: autor, com base de dados IBGE (2024).

Figura 2 – Mapa de acesso a comunidade da Picada Grande.



Fonte: autor, sobre imagem OSM Standard.

4.2 GEOLOGIA REGIONAL

A região de estudo está inserida no Escudo Sul-Rio-Grandense (ESGr), que segundo Almeida et al. (1976) fica localizado na porção sul da Plataforma Sul-Americana e na parte meridional da Província da Mantiqueira, também chamada de Cinturão Dom Feliciano, conforme figura 3. O ESGr abrange uma área total de aproximadamente 65.000 km², é delimitado ao norte, ao sul e oeste pela Bacia do Paraná e à leste, pela Província Costeira do Rio Grande do Sul (Chemale Jr, 2000). O desenvolvimento tectônico do ESGr é descrito por Hartmann et al. (2007), como um processo de deformação e geração de crosta continental, que possuem rochas datadas do Paleoproterozóico ao Cambriano, cujo suas origens são consequências de dois ciclos orogênicos, o Transamazônico (2,26-2,00 Ga) e o Brasileiro (900-535 Ma).

O ESGr compreende quatro unidades geotectônicas, sendo elas: o Bloco Taquarembó, o Bloco São Gabriel, Faixa de Dobramentos Tijucas e o Batólito de Pelotas. A separação entre essas unidades foi realizada com base nas características geológicas distintas que elas apresentam entre si, além das diferenças estruturais, geotectônicas e geoquímicas. As três últimas unidades

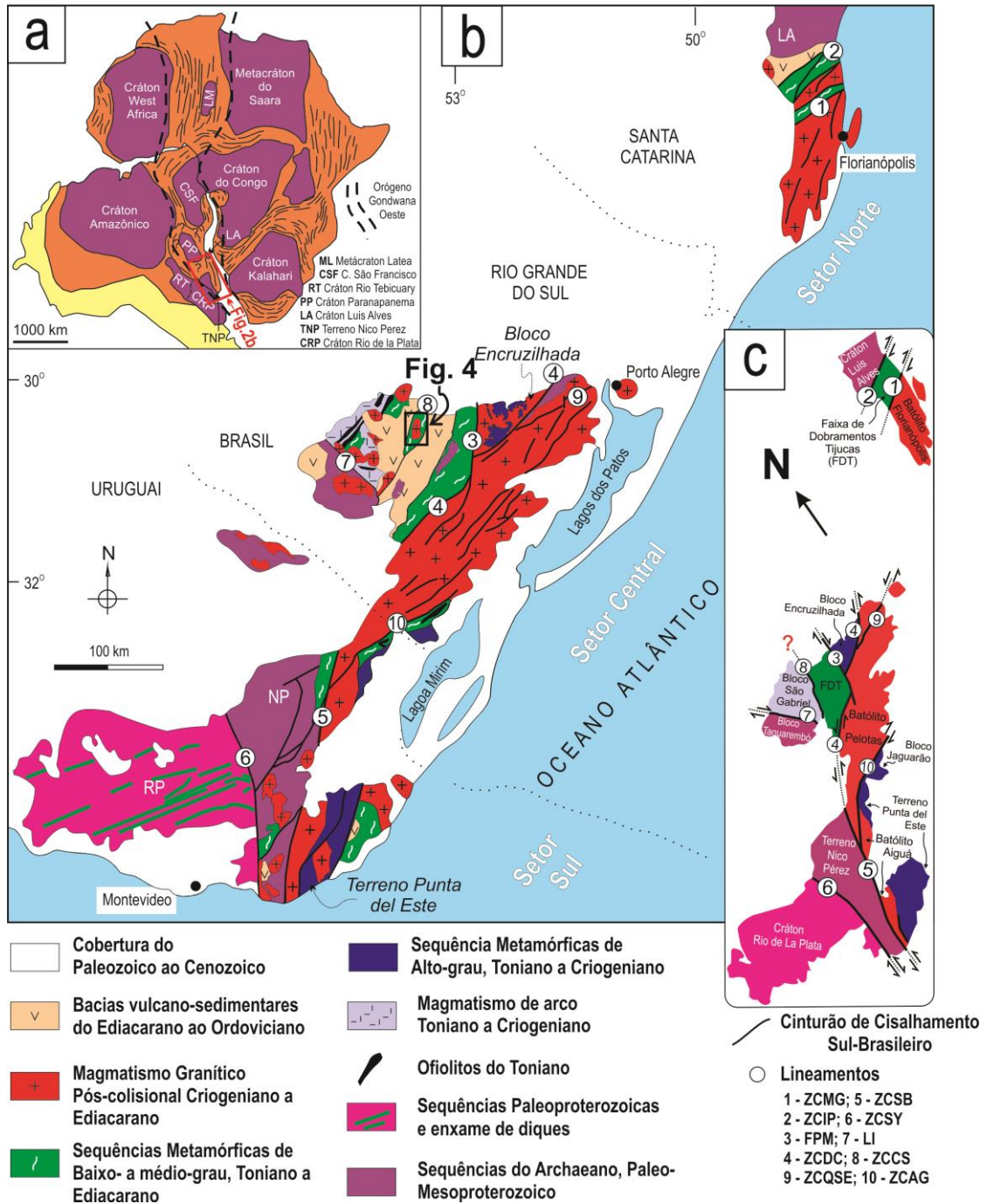
citadas constituem o Cinturão Dom Feliciano (CDF), enquanto que a primeira é vista como parte do seu embasamento (Hartmann et al., 2007). Segundo Paim et al. (2014), o Bloco São Gabriel e a Faixa de Dobramentos Tijucas são cobertos por depósitos de sequências vulcano-sedimentares pertencentes a Bacia do Camaquã. A área de estudo está localizada no limite entre o Bloco São Gabriel e a Faixa de Dobramentos Tijucas, os quais são brevemente descritos abaixo.

- Bloco São Gabriel (BSG): é composto de associações petrotectônicas de ambientes de margem passiva, ofiolitos e arcos magmáticos plutônicos e vulcano-sedimentares (Hartmann et al., 2007; Philipp et al., 2016). O BSG tem seu contato com Bloco Taquarembó delimitado ao sul pela Zona de Cisalhamento Ibaré (ZCI), e ao leste tem seu contato tectônico denominado Zona de Cisalhamento Caçapava do Sul, que separa o Bloco São Gabriel da Faixa de Dobramentos Tijucas. Ao norte e noroeste, o BSG é coberto por rochas da Bacia do Paraná. As unidades do BSG, em geral, são controladas por estruturas dúcteis com direção N20°-30°E, porém, nas regiões próximas a ZCI, as direções das estruturas mudam para E-W (Salvi, 2014).

- Faixa de Dobramentos Tijucas (FDT): localiza-se na parte central do CDF e se estende em uma faixa alongada com direção N30°-60°E que passa por Uruguai, Rio Grande do Sul até o estado de Santa Catarina. A FDT, na parte do RS, é separada em subunidades geológicas distintas, sendo elas, o Complexo Encantadas, constituída de rochas granito-gnáissicas e anfibolíticas, o Complexo Porongos, composto por rochas plutônicas e supracrustais cálcica-alcálicas, além de também rochas vulcânicas e sedimentares siliciclásticas da Bacia do Camaquã e, por último, rochas graníticas (Koester et al., 2021; Phillip et al., 2016; Hofig et al., 2018)

- Bacia do Camaquã (BC): é a denominação de um agrupamento de unidades estratigráficas sedimentares e vulcanogênicas que se depositam sobre os outros corpos do ESgr. (BORBA, 2006). De forma mais específica, a BC é delimitada à leste pelo BP, recobrando porções da FDT e, à oeste, está localizada sobre o Bloco São Gabriel e o Cráton Rio de La Plata. Segundo Paim et al. (2000), a BC representa uma sequência deposicional com quatro pulsos tectônico-vulcano-sedimentares seguidos, relacionados a distintos ambientes tectônicos. A BC tem uma tectônica relacionada com um sistema de riftes intracontinentais anorogênicos que tem direção preferencial NNE-SSW (Fragoso Cesar et al., 2003).

Figura 3 – Mapa geotectônico do ESgr no contexto do Cinturão Dom Feliciano.



Fonte: extraído de De Toni e Costa (2024).

4.3 GEOLOGIA LOCAL

A área de estudo encontra-se nas proximidades de Caçapava do Sul, dentro do Bloco São Gabriel, próximo do seu limite com a Faixa de Dobramentos Tijuca, dado pela Zona de Cisalhamento Caçapava do Sul.

4.3.1 Complexo Metamórfico Passo Feio (CMPF)

O Complexo Metamórfico Passo Feio (CMPF) refere-se a uma associação de rochas metavulcanosedimentares que fica situada aos redores do Complexo Granítico de Caçapava do Sul (CGCS). O CMPF é constituído por metapelitos, quartzitos, anfibolitos, rochas metavulcânicas, entre outras (Bitencourt, 1983). O CMPF, segundo Costa et al. (2021), está configurado em uma estrutura antiformal com duplo caimento, com um eixo quase horizontal que apresenta caimento tanto para NNE quanto para SSW. Foi constatado que o CMPF, passou por dois eventos de metamorfismo regionais diferentes, o primeiro gerando rochas de fácies anfibolito e o segundo, resultando em rochas de fácies xisto verde. Por meio de análises estruturais detalhadas, sugeriu-se que o CMPF passou por três eventos deformacionais, com o primeiro metamorfismo regional se desenvolvendo durante os dois primeiros e o segundo, no terceiro evento de deformação. (Bitencourt, 1983; Costa et al., 2021).

4.3.2 Complexo Granítico Caçapava do Sul (CGCS)

O CGCS é um corpo de 250 km² de extensão com uma estrutura alongada na direção N-S. Na porção mais oeste do Complexo Granítico Caçapava do Sul, o mergulho da foliação varia entre 40° e 90°, com tendência geral de mergulho para W, enquanto que ao leste e nas partes centrais, a foliação é definida como sub-horizontal, com tendência de mergulhos de baixo a médio ângulo para E próximo ao limite leste do complexo (Nardi e Bitencourt, 1989; Remus et al., 2000; De Toni e Costa, 2024). Através de análises petrográficas e geoquímicas, foi estabelecido por Nardi e Bitencourt (1989) que o CGCS possui três fácies principais, sendo elas: biotita granitóides (rochas ricas em biotita com coloração cinza que predominam nas partes sul, sudoeste e oeste do complexo); leucogranitóides (rochas rosadas com baixo teor de minerais máficos, com uma presença maior nas porções norte e nordeste do corpo); e granitóides transicionais (ocorrência maior na porção leste e central do complexo, com características intermediárias comparada com os outros dois tipos). Trabalho posteriores de mapeamento não confirmaram a existência dos chamados granitoides transicionais, porém, no entanto definiram uma terceira fácies de granitoides miloníticos, localizada no sudeste do CGCS (UFRGS, 1998; De Toni

e Costa, 2024). O CGCS, segundo Nardi e Bitencourt (1989), apresenta evidências de que o mesmo foi desenvolvido através de processos de fusão da crosta que ocorreram simultaneamente com o evento de deformação regional da área.

O Complexo Granítico Caçapava do Sul apresenta alta variação na composição petrográfica, que vai desde sienogranito a tonalito, como também diferenças em suas características estruturais, alternando entre fácies foliadas, bandadas ou lineadas. Segundo Remus et al. (2000), através da datação de U-Pb em uma amostra do CGCS, foi possível identificar que sua origem ocorreu no Neoproterozóico e tem uma idade de aproximadamente 562 ± 8 Ma.

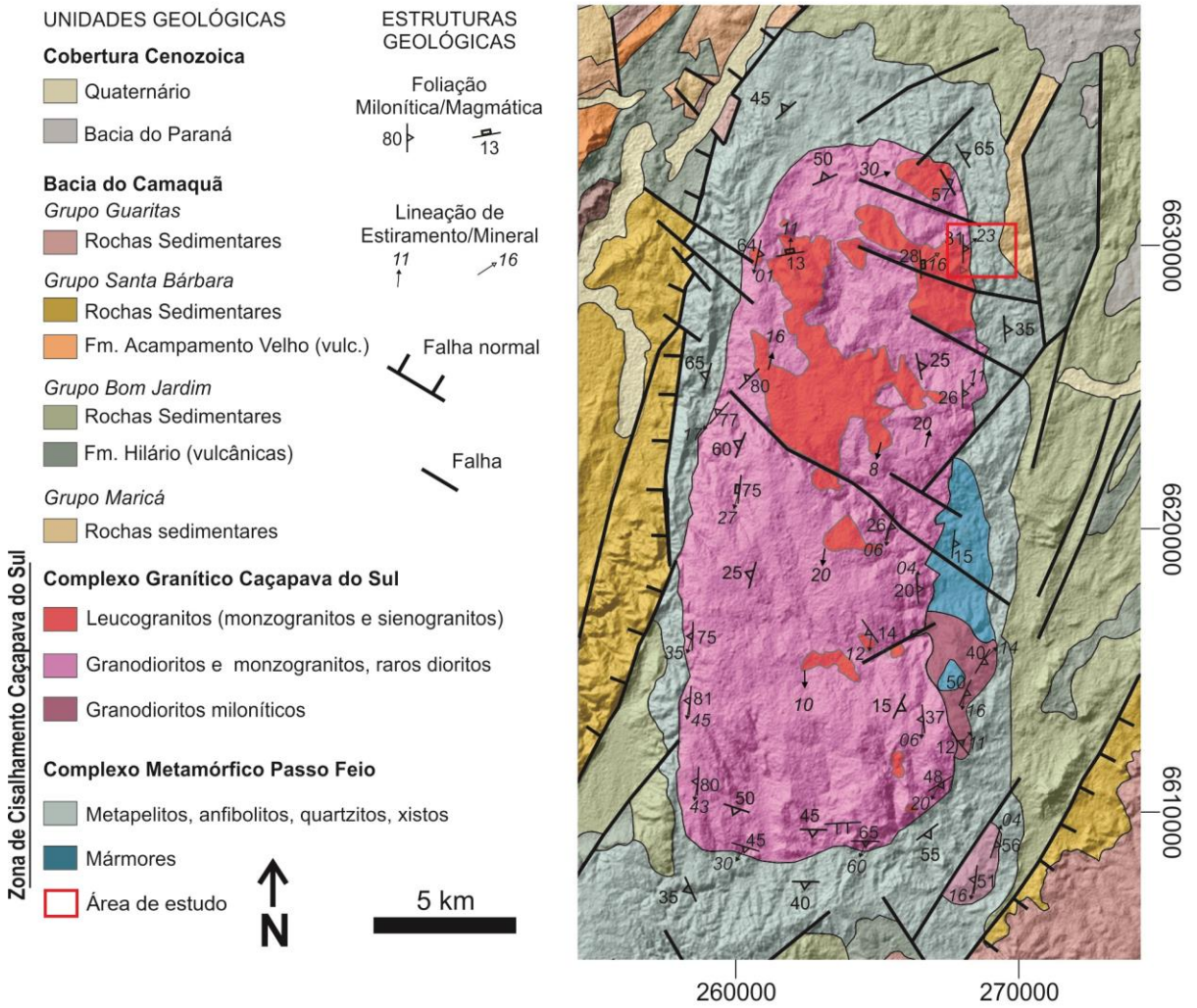
4.3.3 Grupo Maricá (GM) – Formação São Rafael (FSF)

O Grupo Maricá é dividido em três unidades que representam sistema deposicionais diferentes, sendo elas: Formação Passo da Promessa, Formação Arroio América e Formação São Rafael. O GM é constituído por arenitos arcoseanos, algumas vezes conglomeráticos e também, pelitos em pequenas quantidades (Pelosi et al., 2003).

A Formação São Rafael é a mais significativa dentre as outras unidades, sendo composta por arenitos muito finos a grossos e pelitos, dentro de um pacote de até 900m de espessura. Entre as fácies presentes na FSF, a mais frequente é composta por arenitos maciços intercalados com arenitos laminados na forma de ritmitos tabulares. Também nessa unidade, há a presença de fácies constituídas de arenitos com estratificação cruzada e marcas onduladas (simétricas e assimétricas). Em alguns locais em menores quantidades, há a ocorrência de arenitos com estratificação tangencial de pequeno e médio porte (Pelosi et al., 2003).

A FSF é formada por camadas tabulares com uma direção principal N-S e um mergulho médio de 41° para E. Em razão do intenso falhamento na região, as camadas sedimentares mostram um desvio padrão que, ainda assim, não interferem no padrão homogêneo total que as direções das camadas apresentam.

Figura 4 – Mapa geológico da região Caçapava do Sul e suas principais unidades geológicas.



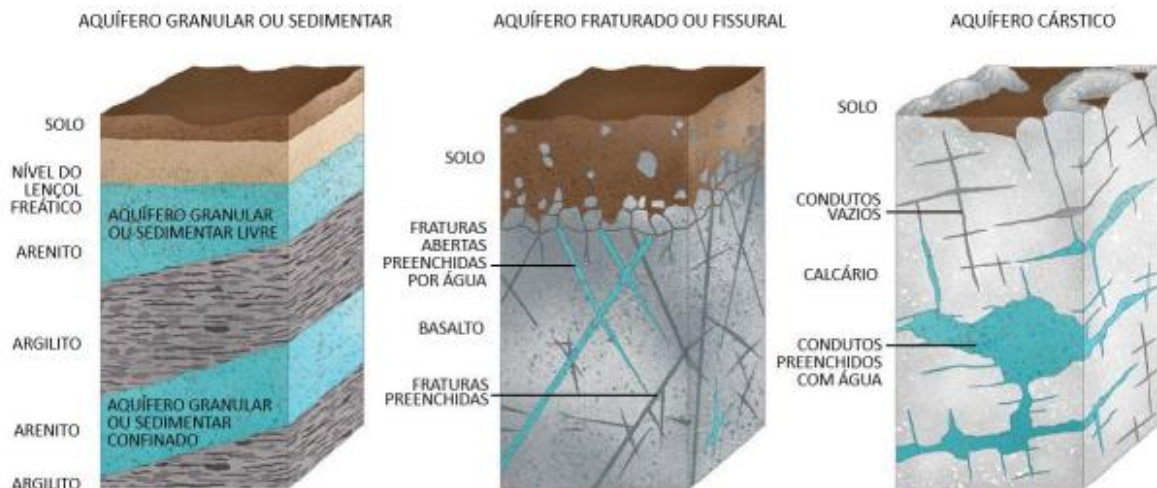
Fonte: modificado de De Toni e Costa (2024).

5 ESTADO DA ARTE

5.1 TIPOS DE AQUÍFEROS

Aquífero pode ser definido como uma unidade hidrogeológica com a capacidade de armazenar e também transmitir água subterrânea em seu interior (Feitosa et al., 2008). De acordo com Reginato et al., (2017), os aquíferos são classificados com relação ao tipo de porosidade da rocha que armazena água, sendo denominados de aquíferos sedimentar (granular), fissural (fraturado) ou cárstico, como apresentado na figura 5.

Figura 5 – Principais tipos de aquíferos



Fonte: Reginato et al. (2017)

Os aquíferos também são classificados conforme a pressão das águas nos limites de suas superfícies (parte inferior e superior) e, de acordo com a capacidade das camadas limítrofes (camada confinante superior e inferior) de transmitir água subterrânea. Dentro dessa classificação, temos os aquíferos conhecidos como confinados e os livres. Os confinados, tem como característica a pressão da água ser maior que a pressão atmosférica na parte superior de sua superfície limítrofe. Diferentemente dos aquíferos livres, que apresentam em seu limite superior uma superfície freática a qual está no nível da pressão atmosférica (Feitosa et al., 2008).

Existem duas divisões dentro dos aquíferos confinados que são conhecidas como drenantes e não drenantes. Os não drenantes são caracterizados dessa maneira em razão dos limites da sua camada superior e inferior serem impermeáveis. Enquanto que os aquíferos drenantes são aqueles que tem em suas

camadas limítrofes (superior e/ou inferior), superfícies semi-permeáveis que permitem a percolação de água subterrânea (Feitosa et al., 2008).

Os aquíferos livres apresentam também a divisão entre drenantes e não drenantes, sendo descritos como de base semi-impermeável ou base impermeável, respectivamente. Além disso, os aquíferos livres servem como área de recarga dos confinados, através de excessos de chuva que acabam penetrando os aquíferos confinados por meio de infiltração, conforme a figura 6 (Feitosa et al., 2008).

Figura 6 – Aquíferos confinados e livres



Fonte: Boscardin Borghetti et al. (2004).

5.1.1 Aquíferos Fissurais

As rochas cristalinas são geralmente as principais hospedeiras de aquíferos fissurais ou fraturados, especialmente as ígneas e metamórficas, enquanto que as sedimentares, em casos raros, podem apresentar aquíferos fissurais formados por rochas sedimentares consolidadas em zonas de fraturas. Estas rochas estão muitas vezes compactadas e apresentam na maioria das vezes ausência de espaços vazios entre os minerais que compõem esses materiais. O fluxo de água percola através de descontinuidades, como fissuras ou fraturas, isso estabelece uma porosidade do tipo secundária, bem como acontece com a permeabilidade (Singhal & Gupta 1999; Scudino 2001; Rocha 2005).

As fraturas são as principais estruturas características dos aquíferos fissurais, sendo elas às vezes retilíneas ou até planas. Estas estruturas apresentam origem

posterior à da formação da rocha-reservatório e, podem ser geradas por meio de várias maneiras, como por exemplo processos tectônicos, principalmente rúpteis. Dessa maneira, a circulação da água subterrânea em aquíferos fissurais, ocorre através de espaços vazios interconectados que equivalem a fraturas ou fissuras, e assim, temos que a permeabilidade e porosidade são secundárias nesses tipos de aquíferos (Scudino, 2001; Rocha, 2005).

As zonas de contato entre rochas podem apresentar importantes descontinuidades, que podem vir a comportar água subterrânea de forma semelhante a fraturas. Além disso, estas mesmas zonas podem concentrar deformações referentes ao tectonismo, em razão de serem descontinuidades reológicas e, com isso, é possível que esses contatos se tornem bastante permeáveis.

5.1.2 Aquíferos Porosos

Os aquíferos porosos são hospedados principalmente em rochas sedimentares, e também, podem ser encontrados em sedimentos inconsolidados. Ambos possuem aspectos que caracterizam sua porosidade como intergranular, ou seja, há espaços intersticiais nos grãos da rocha (Karmann, 2000).

A porosidade depende de diversos fatores para ser capaz de comportar água, como por exemplo o tamanho dos grãos e também o quanto eles estão compactados entre si, ou seja, o espaço disponível entre os grãos é o que determina a quantidade de água que irá percolar os poros. Com isto, podemos observar que, quanto menor o tamanho dos grãos e maior sua compactação, haverá menos espaço para ser preenchido por água e, ao contrário, quanto maiores os grãos e menor seu empacotamento (compactação), existirá mais espaço livre para o fluxo de água (Press et al., 2006). Também, podemos observar que rochas sedimentares mal selecionadas tem uma menor porosidade e permeabilidade, enquanto que em rochas bem selecionadas ocorre espaços entre grãos proporcionais ao seu tamanho de grão.

Além da porosidade, outra propriedade física importante é a permeabilidade, que é a capacidade de um material de transmitir fluido através de seus poros. Normalmente, quando a porosidade aumenta a permeabilidade também é maior, porém há casos como na argila, onde mesmo com a porosidade atingindo valores

altos a permeabilidade acaba sendo inexistente. Isto se dá em razão do pequeno tamanho dos poros onde a água fica presa por absorção (Karmann, 2000). Em razão disso, é de grande importância não só o conhecimento da porosidade como também da permeabilidade de um material, uma vez que, mesmo com poros de grandes tamanhos, se estes não estiverem de alguma maneira interconectados, não haverá percolação de água possível dentro desse material (Hagy, 2009).

5.2 ANÁLISE DE IMAGENS DE SATÉLITE

A interpretação geológica realizada através de fotos aéreas ou imagens de satélite vem sendo utilizada de forma ostensiva quando o objetivo é a identificação de lineamentos ou zonas de fraturas nas quais podem se acumular ou fluir a água subterrânea. Além disso, também possibilita a análise de áreas inacessíveis fisicamente, bem como, proporciona uma economia no tempo na análise preliminar de lineamentos por imagem de satélite, em razão da mesma apresentar a capacidade de análise de grandes áreas (Singhal & Gupta, 2010).

Com o objetivo de delimitar lineamentos regionais, a metodologia de análise de imagens de satélite é de extrema importância, pois através desse método é possível identificar padrões de estruturas e seus principais cruzamentos. Os lineamentos são considerados estruturas geológicas de origem natural, que são mapeáveis e podem ser formados por fraturas, como juntas, falhas ou zonas de cisalhamento (Boyer & Mcqueen, 1964; O'leary et al., 1976).

Por meio da utilização de imagens de satélite ou fotografias aéreas, os lineamentos podem ser identificados através de feições como: linhas com distintas tonalidades do solo, alinhadas com a vegetação, vales em formato retilíneo ou cumes alinhados (Bradbury & Muldoon, 1992). De forma mais específica, essas feições usualmente equivalem a geologia de subsuperfície e podem evidenciar grandes estruturas como falhas ou fraturas (Bradbury & Muldoon, 1992; Dae, 2005; Fernandes, et al., 2008).

Através do mapeamento geológico estrutural, pode-se entender os processos de gênese e migração de acumulações de água subterrânea (Rushton e Weller, 1985; Morin et al., 1997). Quanto maior a densidade do fraturamento das rochas cristalinas, maior será a possibilidade de o aquífero fraturado captar água subterrânea (Nascimento, 2016). Os lineamentos estruturais são geralmente

analisados em termos da sua orientação (direção), conforme a sua densidade e comprimento, além de serem interpretados como áreas de infiltração, percolação e também armazenamento de água subterrânea em rochas cristalinas (Sander, 1997). O resultado encontrado em uma análise de lineamentos pode ser apresentado das mais variadas formas, porém neste trabalho buscou-se a demonstração dessas estruturas através de mapas de lineamentos e diagrama de rosetas. Este último, é gerado após a realização do mapeamento dos lineamentos e indica o padrão em que as estruturas mapeadas apresentam, em diagramas de frequência ou comprimento. Os diagramas de frequência representam a tendência em termos da quantidade de lineamentos de acordo com sua orientação, enquanto que os diagramas de comprimento indicam a extensão cumulativa dos lineamentos de dada direção (Lopes et al., 2018). Os diagramas de roseta apresentam através de suas pétalas, as tendências direcionais que as estruturas da região seguem.

5.3 MÉTODOS GEOFÍSICOS

Os métodos geofísicos podem ser separados, de forma geral, entre os métodos que utilizam campos de energia naturais e os que usam campos de energia artificiais para suas aquisições de dados. Ou seja, os métodos com campos naturais, são os que não necessitam de alguma energia externa aplicada para que a aquisição de dados seja realizada, são os casos dos métodos da magnetometria e gravimetria por exemplo, que utilizam as informações adquiridas a partir do campo magnético terrestre e da gravidade, respectivamente, para que a investigação geofísica seja realizada. Em relação aos métodos com campos artificiais, têm-se como exemplo a sísmica, onde para que seja feito uma aquisição de dados, deve-se ser introduzido algum tipo de energia física no meio estudado, de maneira que se propaguem ondas mecânicas e, através da interpretação dessas informações, tenhamos resultados sobre o meio analisado. Neste trabalho aplicou-se o método elétrico, que pode se utilizar de campos artificiais ou naturais para a aquisição de dados, porém, o mais comum para investigações elétricas é a introdução de uma corrente elétrica no solo, ou seja, é realizado com a participação de um agente externo introduzindo uma corrente no meio analisado (Feitosa et al., 2008).

Entre os métodos geofísicos um dos que mais se destacam devido a sua versatilidade são os elétricos, pois eles podem ser utilizados nas mais variadas

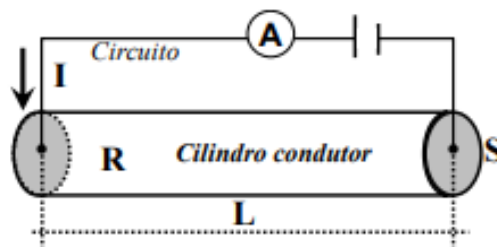
situações, desde investigações voltadas a exploração mineral e de petróleo, assim como questões relacionadas a geotecnia e meio ambiente, além de também a aplicação em estudos de prospecção de água subterrânea.

Para a aquisição e interpretação de dados geológicos de subsuperfície, os métodos elétricos utilizam-se das propriedades elétricas das rochas, como por exemplo, condutividade, resistividade, potencial espontâneo e polarização. Os principais métodos elétricos conhecidos são: os métodos da Eletrorresistividade, Polarização Induzida e o Potencial Espontâneo (Telford et al., 1990).

5.3.1 Método da Eletrorresistividade

O método da eletrorresistividade é baseado primordialmente na Lei de Ohm, que foi descoberta pelo alemão Georg Simon Ohm (1789-1854). Esta lei expressa uma relação entre resistividade (ρ) e resistência (R). Considerando um material condutor homogêneo em formato cilíndrico, com um comprimento (L) e uma área da seção (S) transversal, têm se:

Figura 7 – Relação da Lei de Ohm.



Fonte: Telford, et. al (1990).

A resistividade (ρ) é um coeficiente que varia conforme a natureza e o estado físico do corpo. Podendo ser definida a resistividade elétrica do corpo apresentado acima como:

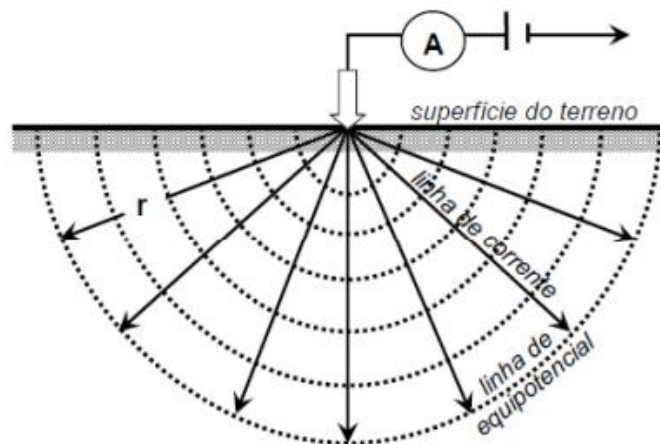
$$\rho = R \frac{S}{L} \quad (\text{ohm.m})$$

(1)

Segundo Telford *et. al.* (1990), a resistividade é a capacidade de um determinado material de resistir a passagem de uma corrente elétrica. A unidade SI utilizada para a resistividade é ohm por metro (Ωm).

Ao observarmos a equação do cilindro segundo Lowrie (2007), é possível perceber que a mesma deve ser adaptada para a realidade, pois a maneira que a corrente elétrica é transmitida no cilindro não leva em conta a Terra como um corpo tridimensional, heterogêneo e anisotrópico. Em razão disso, a corrente elétrica percorre vários caminhos em um formato radial e ao longo de linhas diretas, conforme a figura 8:

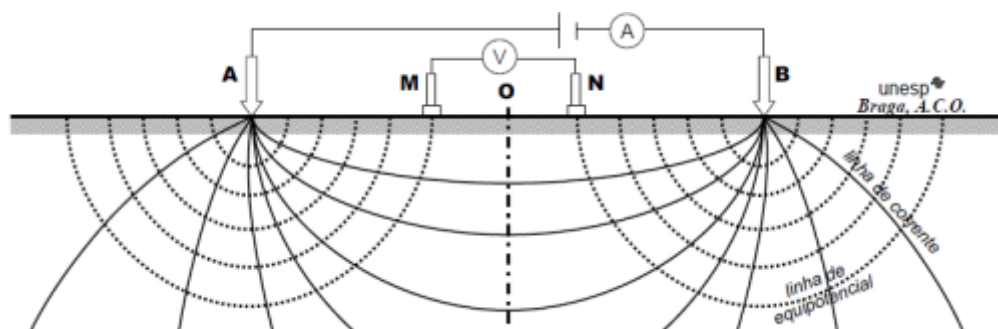
Figura 8 – Caminho que a corrente elétrica percorre em locais homogêneos.



Fonte: Kearey (2002)

A introdução da corrente elétrica no solo é realizada a partir de dois eletrodos (A e B) conectados por cabos a uma bateria e, através de outros dois eletrodos (M e N) é feita a medição da diferença de potencial entre eles, conforme a figura 9 (Kearey, 2002).

Figura 9 – Organização básica do método da eletrorresistividade.



Fonte: Kearey (2002)

Existe a possibilidade de calcular a resistividade de materiais homogêneos e isotrópicos, sabendo-se os valores da corrente (I) e da diferença do potencial (ΔV), por meio da equação 2:

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2)$$

Entretanto na prática, como dito acima, o subsolo normalmente não é homogêneo, portanto, os valores das medições de resistividade que são realizadas nos mostram a resistividade elétrica aparente (ρ_a), que também não apresenta uma continuidade e varia conforme a posição e direção dos eletrodos usados em campo (Lago, 2009). Portanto, pode-se calcular a resistividade elétrica a partir da equação 3:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (3)$$

Onde,

ρ_a = Resistividade elétrica

ΔV = Diferença de potencial elétrico medido entre M e N

I = Corrente aplicada entre A e B

K = Fator geométrico para o arranjo dos eletrodos AMNB, que é descrito como na equação 4:

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} + \frac{1}{BM} + \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}} \quad (4)$$

Sendo o AM, BM, AN e BN as distâncias entre os eletrodos.

Dentro do método da eletrorresistividade existem algumas técnicas de levantamentos de campo, como Caminhamento Elétrico e Sondagem Elétrica Vertical. Neste método, têm-se uma diversidade de possíveis arranjos de eletrodos a serem posicionados, que variam de acordo com o meio em que será realizada a investigação geofísica.

5.3.2 Caminhamento elétrico (CE)

A técnica do CE constitui-se em investigar a subsuperfície de maneira que seja obtido uma variação lateral dos valores de resistividade em profundidade determinadas. Dessa maneira, o espaçamento dos eletrodos é constante e o caminhamento desloca-se no sentido horizontal, afim de obter resultados em diferentes regiões e profundidades (Gallas, 2003).

Esta técnica é indicada principalmente para a detecção de contatos geológicos verticais ou inclinados, mineralizações, diques, fraturamento e falhamentos. Portanto, esse método busca realizar levantamentos que apresentem variações bidimensionais na resistividade, em razão de não ser apenas um ponto analisado e sim, uma variedade de pontos que formam um perfil (Bortolozo et al., 2016).

Através de aquisições por meio do caminhamento elétrico, existem possibilidades da criação de modelos 2D, em razão do CE obter a variação lateral de resistividade e, com essas informações, é possível a individualização de corpos e camadas geológicas presentes na região investigada (Kearey, 2002).

Os arranjos utilizados em aquisições geofísicas variam conforme o foco a ser estudado e, existem uma variedade dentro do método da eletrorresistividade. Neste trabalho, o arranjo que se pretende utilizar é o Dipolo-Dipolo.

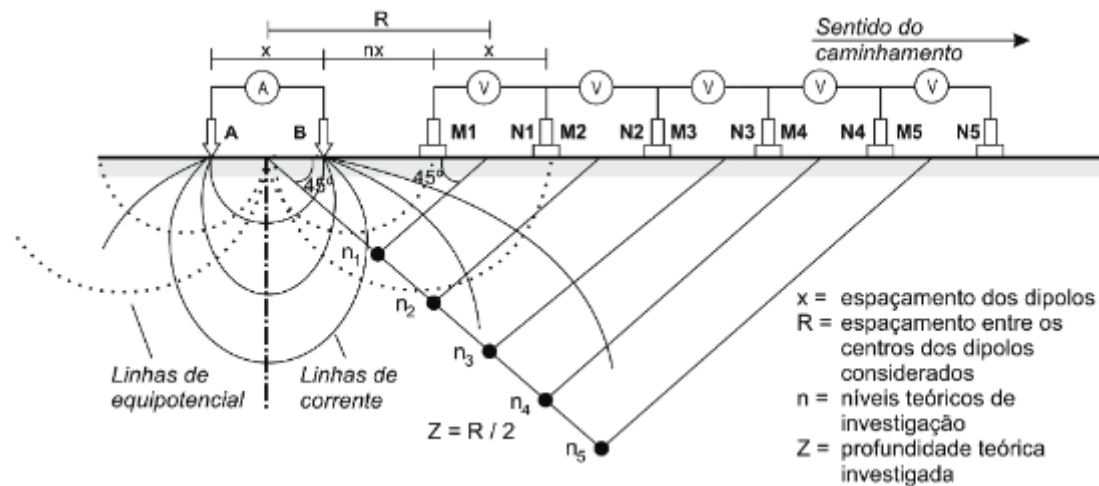
5.3.3 Arranjo Dipolo-Dipolo

Na organização do arranjo Dipolo-Dipolo em campo, utiliza-se espaçamento igual entre os eletrodos de corrente AB (transmissores) e os de potencial MN (receptores). Os eletrodos são colocados ao longo de uma linha segundo um mesmo perfil e, o espaçamento entre eles é definido por $X = AB = MN$. Para a profundidade de investigação são atribuídos valores de n , sendo $n = 1, 2, 3, 4$ e 5 . Estes valores correspondem a intersecção das linhas de aquisição que partem do centro entre AB e MN, formando um ângulo de 45° , como mostra a figura 10.

Ao longo do desenvolvimento da aquisição dipolo-dipolo, os eletrodos AB permanecem fixo enquanto os MN são modificados ao longo da linha. A cada deslocamento que ocorre no dipolo MN, infere automaticamente em um nível de profundidade de investigação maior, em razão do espaçamento entre AB e MN ser

crescente. A distância média entre os centros de AB e MN, é teoricamente a profundidade, que pode ser dada $R/2$.

Figura 10 – Organização do arranjo dipolo-dipolo.



Fonte: Kearey (2002).

5.4 MÉTODOS ELÉTRICOS APLICADOS A PROSPECÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

Neste tópico, serão abordados alguns trabalhos onde foram aplicados métodos elétricos para a prospecção de água subterrânea.

De Sá (2017), utilizou-se do método elétrico para realizar um imageamento elétrico multi-eletrodos à geometria variável, com o objetivo de delimitar lineamentos estruturais de rochas em subsuperfície que tenham a capacidade de armazenamento de água. Foram realizadas análise de quatro casos de aquíferos hospedados em rochas cristalinas, três deles no estado de Goiás e um em Sergipe. Com a análise e interpretação dos quatro casos foi concluído pelo autor que, a utilização da técnica geométrica de imageamento multi-eletrodos a geometria variável, em conjunto com parâmetros geológicos, revelou-se competente na descoberta de regiões de interesse para prospecção de águas subterrâneas.

Vieira et al. (2020), aplicou a técnica de caminhamento elétrico em um estudo de caso referente à locação e perfuração de poços em cinco localidades no estado do Rio Grande do Norte, que sofreram pela seca na região semiárida do Brasil. As investigações geofísicas aconteceram em aquíferos fissurais e tinham como objetivo

identificar lineamentos estruturais nas rochas em subsuperfície, em razão dessas regiões serem potenciais armazenadoras de água subterrânea. Com a análise dos resultados adquiridos, a aplicação do caminhamento elétrico através do arranjo dipolo-dipolo nas regiões estudadas, foi concluído que a prospecção de água subterrânea nos aquíferos da região é viável. Além disso, a associação de dados geológicos com os geofísicos mostrou-se fundamental para a interpretação geofísica das seções de resistividade, pois proporcionou uma melhor análise das possíveis ocorrências de zonas de fraturas, devido ao alto contraste nas variações laterais da resistividade, que possibilitaram o entendimento de onde está localizada a rocha sã e onde estão as principais famílias de fraturas.

Oliveira et al. (2018), realizou uma análise estrutural e geofísica em um aquífero fraturado, na cidade de Caçapava do Sul, RS, com o objetivo de determinar regiões favoráveis para a prospecção de águas subterrâneas, associando dados estruturais com geoeletricos. Na metodologia, utilizou-se de imagens de satélite para fazer uma análise estrutural preliminar e criar um diagrama de rosetas da região, para assim, inicialmente escolher as áreas mais favoráveis para a exploração de água subterrânea. As aquisições geofísicas foram realizadas a partir da aplicação da técnica de tomografia de resistividade elétrica (ERT), utilizando-se do arranjo Schlumberger. A partir da análise dos resultados, foi possível observar que, mesmo que a técnica ERT seja importante para análise de descontinuidades, neste estudo, ela apresentou um problema devido a sua limitação em analisar variações laterais, dessa maneira não sendo capaz de captar as conectividades laterais entre as fraturas e conseqüentemente limitando a aplicabilidade do estudo.

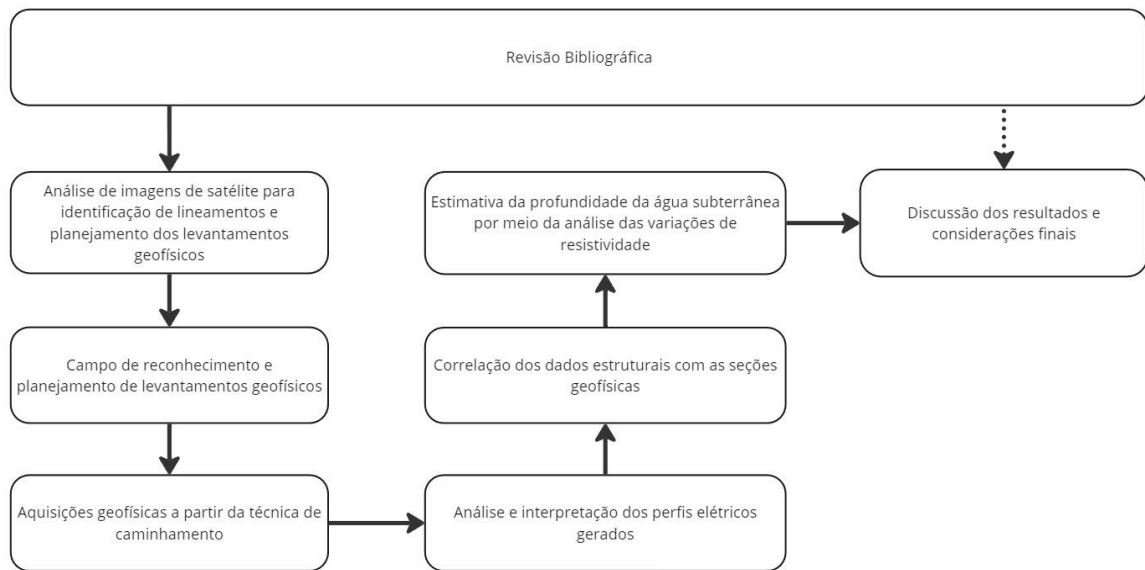
Moreira et al. (2019), realizou uma análise comparativa entre dados de tomografia elétrica, com o objetivo de reconhecer estruturas com potencial de percolar água subterrânea em um aquífero fraturado, na cidade de Caçapava do Sul, RS. A metodologia do trabalho iniciou-se com análises estruturais em rochas expostas próximas a área de estudo. As aquisições geofísicas realizaram leituras de resistividade elétrica a partir da utilização da técnica de tomografia de resistividade elétrica (ERT), através dos arranjos dipolo-dipolo, Wenner e Schlumberger. Os resultados obtidos após as investigações geofísicas apresentaram um alto contraste nos valores de resistividade, porém a resposta mais satisfatória foi alcançada com o arranjo Schlumberger, que mostrou uma sensibilidade maior e possibilitou a identificação de duas famílias de fraturas com diferentes orientações. Como

conclusão, sugeriu-se a realização de ensaios geofísicos em conjunto com estudos integrados nas regiões com uma geologia muito complexa, principalmente quando se utiliza ensaio de tomografia elétrica para pesquisas em aquíferos fraturados.

6 MATERIAIS E MÉTODOS

A realização deste trabalho seguiu o fluxograma apresentado na figura 11.

Figura 11 – Fluxograma de trabalho.



Fonte: autor

6.1 ANÁLISE DE IMAGENS DE SATÉLITE

Os procedimentos através da análise de imagens de satélite Google Earth, possuíram como intenção a identificação e delimitação de lineamentos, em uma área com aproximadamente 5 km². Essas imagens foram analisadas no software QGIS, a partir de uma escala de 1:10.000, com o intuito de produzir um mapa de lineamentos e diagramas de rosetas, tanto de frequência quanto de comprimento.

6.2 GEOLOGIA DE CAMPO

A partir da análise preliminar por meio de imagens de satélite, foi possível ir à campo realizar a investigação dos alvos previamente selecionados. Nestes locais, foram observadas e descritas as rochas pertencentes às três litologias que

abrangem a área, sendo o CGCS, CMPF e o GM. Além disso, foram realizadas análises estruturais nas regiões que haviam rochas *in situ*, coletando orientação e mergulho de foliações e fraturas.

Portanto, a geologia de campo possuiu como finalidade, a verificação da orientação dos lineamentos previamente marcados por meio das imagens de satélite, a descrição de rochas e suas estruturas *in situ*, incluindo prováveis contatos. Com base nestas observações foram determinados os melhores pontos para a realização dos levantamentos geofísicos.

6.3 LEVANTAMENTOS GEOFÍSICOS

Com a área definida por imagens de satélite e confirmada com os dados geológicos e estruturais obtidos em campo, foram executados os levantamentos de campo de Eletrorresistividade, a partir de três linhas de investigação geofísicas, utilizando a técnica do Caminhamento Elétrico, com o arranjo dipolo-dipolo. Durante os levantamentos geofísicos, ao passo que se obtinham os dados de localização dos pontos da linha, observações geológicas foram realizadas ao longo dos afloramentos encontrados.

O levantamento geofísico da primeira linha, foi realizado em um perfil na direção NW-SE, enquanto que o da segunda e terceira linha foram ambos na direção NE-SW, todos orientados intersectando as estruturais locais. Nas aquisições geofísicas utilizou-se o equipamento Syscal Pro, fabricado pela Instruments (Fig. 12), para medir a resistividade elétrica a partir de um espaçamento de 5 metros entre eletrodos e 355 metros de extensão de cada linha, conforme figura 13.

O processamento dos dados ocorreu por meio do software Res2Dinv, onde foram adicionados os dados de altitude adquiridos em campo, para criar uma pseudo-seção 2D de resistividade com topografia. Segundo Gandolfo (2007), a pseudo-seção pode ser definida como um processo matemático que determina um modelo idealizado de subsuperfície com base em um conjunto finito de dados observados, cuja resposta esteja em concordância com os valores medidos.

Figura 12 – Equipamento Syscal



Fonte: autor



Figura 13 – Cabeamento utilizado para a aquisição de dados. A) Disposição dos cabos em campo; B) Exemplo da colocação de eletrodos.

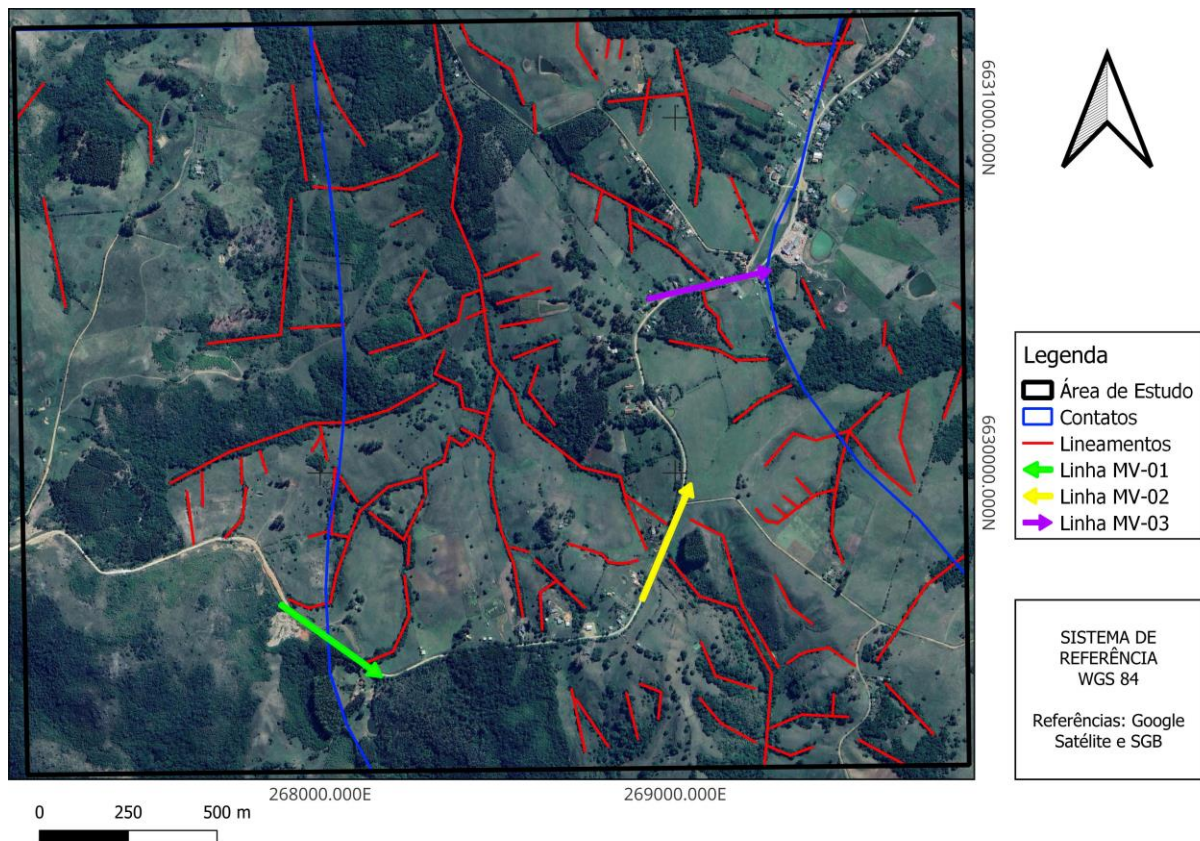
8 RESULTADOS

Os resultados foram subdivididos em distintas etapas e são apresentados linha-a-linha. O sensoriamento remoto (pré-campo), que guiou a obtenção dos demais resultados ao longo das seções, é seguido por informações de eletrorresistividade e observações geológicas e estruturais de campo, e finalmente pela posterior integração desses dados.

8.1 SENSORIAMENTO REMOTO

A partir da análise de imagens de satélite foram traçados 180 lineamentos na área de estudo, para guiar o planejamento da realização das aquisições geofísicas. Através dessa análise, foram selecionados três alvos próximos a lineamentos estruturais ou ao contato entre as rochas para o levantamento dos dados geofísicos, conforme a figura 14, que mostra o mapa de lineamentos realizado em conjunto com os locais escolhidos para realização dos levantamentos geofísicos.

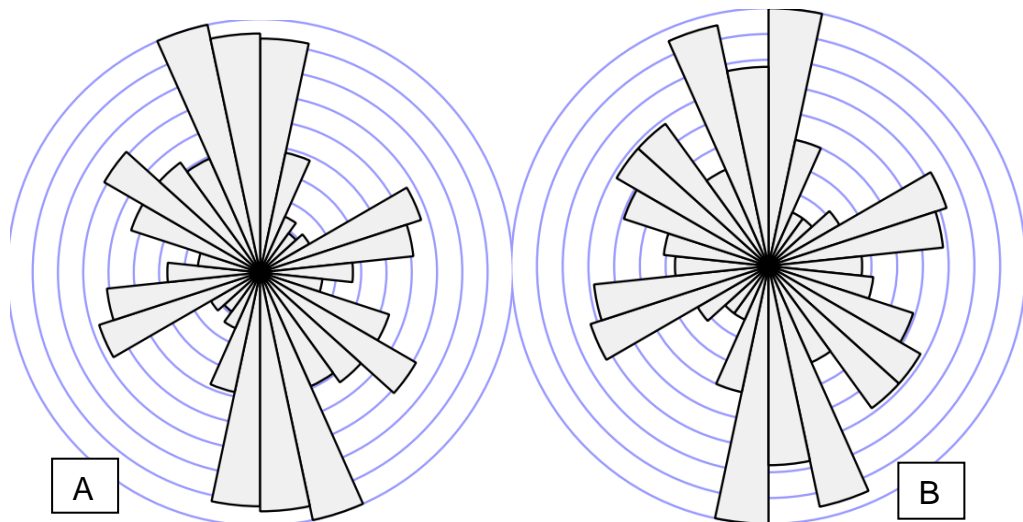
Figura 14 – Mapa de lineamentos e alvos escolhidos para as aquisições geofísicas.



Fonte: autor, imagens de satélite Google Earth; contatos geológicos modificados do site SGB (2024)

A partir do mapa de lineamentos foi gerado um diagrama de rosetas (figura 15), mostrando as direções de maior tendência com relação a comprimento e frequência. Ao analisar o diagrama juntamente com o mapa, é possível observar uma orientação preferencial dos lineamentos, sendo a de maior tamanho na direção N-S, com algumas outras direções preferenciais menos predominantes, como nas direções NW-SE e NE-SW.

Figura 15 – Diagramas de rosetas (N = 180 lineamentos). A) Comprimento e B) Frequência.

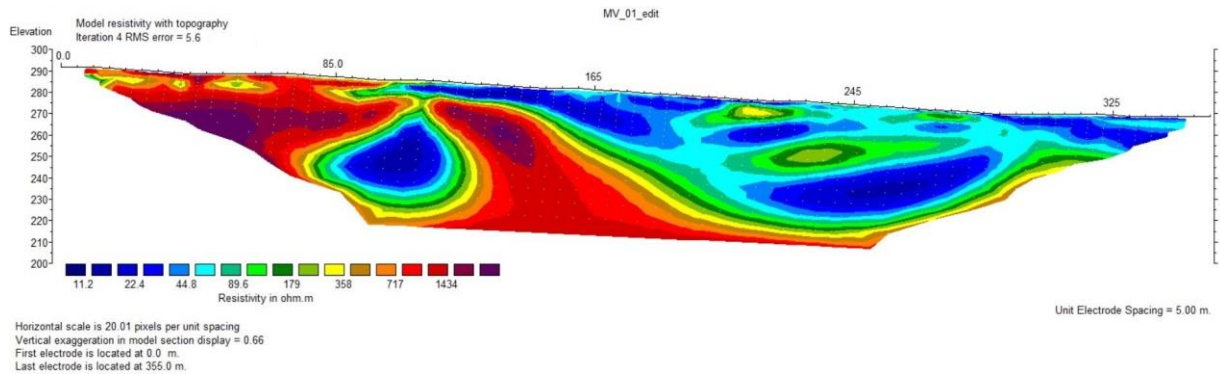


Fonte: autor

8.2 LINHA MV-01

O levantamento geofísico realizado na linha MV-01 (Fig. 16), foi orientado em um perfil na direção NW-SE. A topografia desta linha apresenta uma variação do começo ao fim da linha, com valores iniciando entre 290 m e chegando até próximos de 270 m. A profundidade alcançada foi cerca de 80 m, equivalente a uma elevação de 210 m.

Figura 16 – Seção de resistividade referente a linha MV-01



Fonte: autor

A seção geofísica de resistividade gerada, apesar de suas heterogeneidades internas, pode ser dividida de forma geral em duas regiões principais, uma de baixa e outra de alta resistividade, com valores que variam entre 10 e 50 ohm.m e também entre 1000 e 1600 ohm.m, respectivamente. Destacam-se locais com altos valores no primeiro quarto da linha, até cerca de 80 m, que chegam a uma profundidade de 30 m, equivalente a elevação de 260 m, com valores ultrapassando os 1000 ohm.m. Na sequência da linha geofísica, aparecem valores altos, próximos a 1000 ohm.m, entre as metragens de 120 a 220m de linha, com profundidades entre 10 e 65 m, equivalentes a elevações de 275 m e 220 m, respectivamente. Além disso, é possível observar nessa mesma profundidade e metragem de linha, que as superfícies limítrofes entre áreas de baixa e alta resistividade, estão inclinadas para a direção leste. Os valores de resistividade baixos, até 50 ohm.m, são observados em algumas regiões da seção, no início próximo da metragem de 110 m de linha, destaca-se um local com profundidade entre 20 e 50 m, equivalente a 265 e 235 m de elevação, que apresenta uma mancha orientada na vertical, que corta a área de maior resistividade, o que sugere uma estrutura vertical. Há também, regiões com valores de resistividade menores que 50 ohm.m, entre a metragem de 110 m e 170m, com profundidades de até 15 m, equivalente a elevações de 270 m. Na metade da linha, a partir dos 165 m, os valores de resistividade em diferentes profundidades são predominantemente baixos, apresentando valores entre 10 e 50 ohm.m, com poucos locais chegando a cerca 300 ohm.m. Estes locais, com baixa e média resistividade, estão orientados com mergulho aparente de baixo ângulo para oeste, sugerindo a existência de camadas com resistividades distintas, com

espessuras entre 10 e 20 m. Ao final da linha, próximo de 290 m de distância, há a presença de mais uma região de baixa resistividade, entre 10 e 20 ohm.m, em uma profundidade aproximada de 10 m, equivalente a uma elevação de 260 m, com um mergulho aparente para leste.

Em conjunto com a geofísica, foram aplicadas técnicas de geologia de campo, o que possibilitou a identificação e observação do contato entre duas litologias. Estas rochas foram classificadas como um sienogranito de textura equigranular média (Fig. 17), aflorante na porção mais elevada, e um clorita-plagioclásio-mica xisto (Fig.18) com textura lepidoblástica, em alguns locais também porfiroclástica, na região mais baixa. Ambos apresentam uma foliação de baixo a médio ângulo de mergulho no sentido leste ou sudeste. O contato entre essas rochas foi identificado em um afloramento em lajedo ao lado da estrada (Fig. 19 e 20), próximo ao eletrodo que estava posicionado nos 135 metros de comprimento da linha geofísica. Foi possível observar que, a partir desta metragem, há uma queda nos valores de resistividade próximos à superfície e predominantes em profundidade, saindo de valores próximos a 1000 ohm.m, para valores com aproximadamente 50 ohm.m.

Os lineamentos e fraturas, de ambas as rochas observadas em campo, mostraram uma direção preferencial NE-SW. Além disso, foram observados no granito, no comprimento de linha 25 m e 110 m, respectivamente, foliação mergulhando a 26° no sentido SE com veios de quartzo paralelos a essa foliação (Fig.21), variando entre tamanhos milimétricos a centimétricos, mergulhando a 26° no mesmo sentido. No xisto, podemos observar uma xistosidade bem marcada com mica e clorita, que se apresenta mergulhando entre 30 e 40° no sentido SE. As fraturas do xisto na metragem da linha entre 155 e 175 m, em média, mergulham a 85°, tanto com direção NW-SE, quanto NE-SW.

Figura 17 – Amostra de sienogranito intensamente intemperizada (distância de 25 m de linha).



Fonte: autor

Figura 18 – Xisto porfiroclástico com veios paralelos à foliação. Ocorrem algumas fraturas (distância de 170 m de linha).



Fonte: autor

Figura 19 – Contato do granito (à direita – NW) com o xisto (à esquerda – SE). Um veio de quartzo está posicionado ao longo do contato, próximo da massa da marreta (centro da linha geofísica).



Fonte: orientador, obtido na disciplina de Mapeamento Geológico I/2022 (6/12/2022).

Figura 20 – Contato entre o granito (à direita – NW) e o xisto (à esquerda – SE), (centro da linha geofísica).



Fonte: autor, obtida no campo do TCC (1/06/2024).

Figura 21 – Veio de quartzo variando de tamanho milimétricos a centimétricos (distância de 120 m de linha).

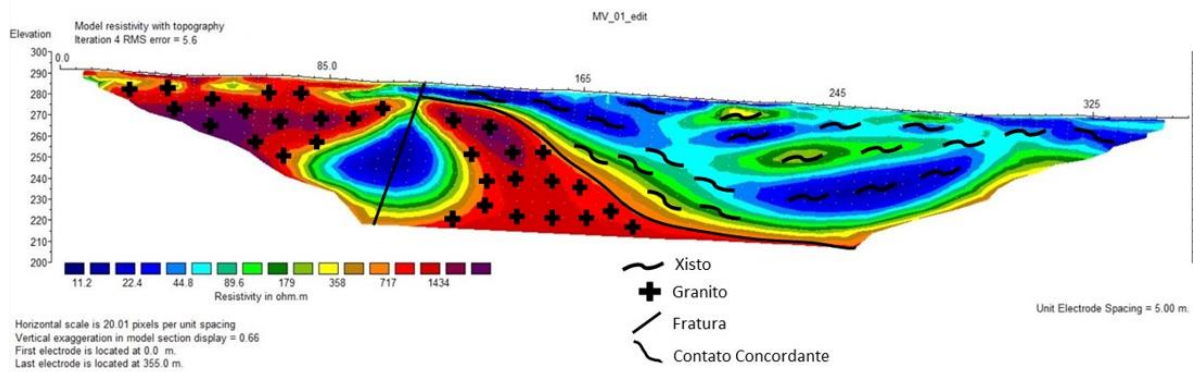


Fonte: autor

Ao observar a rocha metamórfica (Fig. 18), nota-se a xistosidade e um alto grau de fraturamento da mesma, na direção NE-SW, próximos na metragem de 165 m de linha, podendo ser correlacionada com os valores baixos de resistividade da seção geofísica. Assim como, pode se observar na distância de aproximadamente 200 m até 260 m de linha, valores de resistividade variando entre 10 e 200 ohm.m, intercalando entre camadas de baixa e média resistividade, até profundidade de cerca de 50 m, equivalente a uma elevação de 230 m. Essas intercalações estão mergulhando em baixo ângulo para direção oeste e contrastam com medidas de foliação encontradas entre as metragens de 165 e 180 m de linha, que apresentam baixo ângulo de mergulho com sentido preferencial para leste/sudeste. Não foram observados afloramentos em campo nestas posições da linha geofísica. Nas regiões com profundidades próximas a 10 m, esses valores baixos que vão até 50 ohm.m, começam a aparecer a partir do eletrodo posicionado nos 110 metros de linha e, enquanto que aproximadamente aos 140 m de distância de linha, em profundidade próxima de 10 m, equivalente a uma elevação de 275 m, é possível observar um contraste quase que abrupto nos valores de resistividade que, possivelmente, indicam o contato entre o granito e o xisto, mergulhando para leste/sudeste.

A associação de dados geológicos e geofísicos possibilitou correlacionar os valores observados na seção de resistividade com a estruturas e rochas encontradas em campo. A partir disso, criou-se uma seção geofísica integrada com a geologia, onde foram identificadas e delimitadas, no modelo geofísico 2D com topografia, as litologias observadas em campo e suas principais estruturas geológicas, conforme a figura 22. Sugere-se que a variação na orientação dos mergulhos da interface entre áreas de alta e baixa, e de alta e média resistividade, represente a variação de mergulho das foliações suavemente dobradas, ora mergulhando para leste (predominante), ora para oeste (subordinado, não aflorante).

Figura 22 – Integração de dados geológicos e geofísicos (MV-01)



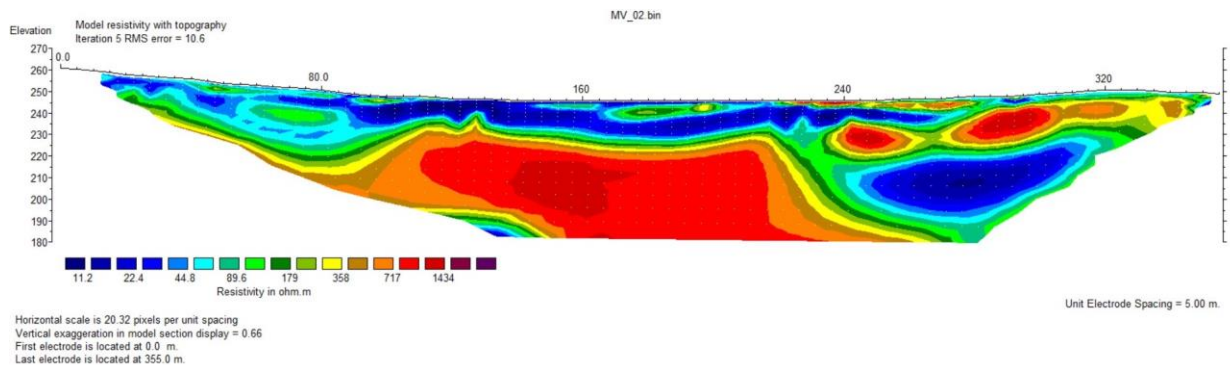
Fonte: autor

Ao correlacionar os dados geofísicos com os geológicos, podemos observar e interpretar os possíveis locais de ocorrência de água subterrânea. Estes locais são destacados pelos baixos valores de resistividade e se correlacionam com regiões próximas a lineamentos ou com um alto grau de fraturamento de rochas. Além disso, alguns dos valores baixos, principalmente nas partes mais rasas, podem indicar a saturação da camada de solo, não sendo interessante para a prospecção de água. Há também regiões com valores muito alto de resistividade que estão correlacionados primordialmente com a rocha granítica pouco fraturada, na área da primeira metade da seção geofísica. Além disso, uma anomalia de baixa resistividade em alta profundidade foi identificada nessa primeira metade da seção, em contraste com a predominância de alta resistividade. Essa anomalia sugere que uma área fraturada do granito, próxima ao contato com o xisto, possa armazenar água subterrânea.

8.3 LINHA MV-02

O levantamento geofísico realizado na linha MV-02 (Fig. 23), foi orientado em um perfil na direção NE-SW. A topografia desta linha apresenta valores de 260 m no início e fim da linha e, valores de 245 m próximo ao centro da linha. Alcançou valores de profundidade de 70 m, equivalentes à elevação próxima a 180 m metros no centro da linha. Além disso, no local de estudo, há a presença de lineamentos na direção NW-SE, que são interceptados próximos aos comprimentos de 120 m e 230 m de linha.

Figura 23 – Seção de resistividade referente a linha MV-02.



Fonte: autor

A seção geofísica gerada pode ser separada de forma simplificada, entre locais com alta e baixa resistividade, com valores baixos variando entre 10 a 50 ohm.m e altos entre 400 a 1000 ohm.m. Valores altos de resistividade, em torno de 1000 ohm.m, foram observados em profundidades aproximadas de 25 a 75 m, com elevações equivalentes de 190 a 220 m, entre 100 e 200 m de distância da linha, configurando um bloco de alta resistividade em subsuperfície. Nos locais após os 240 m de linha e, foi possível encontrar os mesmos valores de resistividade em profundidades entre 5 e 15 m, equivalentes a elevações 240 e 230 m, configurando uma espécie de camada. Os valores baixos de resistividade, até 50 ohm.m, destacam-se em profundidade aproximadas entre 5 a 10 m, equivalentes a 250 e 230 m, do início da linha até em torno de 250 m de distância. Além disso, entre os 240 e 310 m de linha, observa-se valores de até 50 ohm.m, em elevações aproximadas entre 200 e 220 m, abaixo da referida camada de alta resistividade. O

contraste nos valores de resistividade ao longo da linha, associado com dados de sensoriamento remoto e geologia de campo, podem indicar locais próximos a lineamentos e/ou regiões com alto grau de fraturamento.

Em campo, foi realizada a descrição e classificação da rocha aflorante como um clorita-plagioclásio-mica xisto (Fig.24). Ao correlacionar os dados geológicos com a geofísica, podemos deduzir que os valores baixos de resistividade, entre 10 e 100 ohm.m, em profundidades próximas de até 25 m, equivalentes a elevações 230 m, entre as distâncias de 0 a 100 m da linha, possivelmente estão associados com a foliação e fraturas da rocha identificadas em campo. As foliações em sua maioria, estão orientadas na direção NE-SW com um mergulho médio entre 30° a 40° no sentido sudeste (Fig. 25). As fraturas (Fig. 26) seguem direção preferencial NW-SE, com mergulho médio entre 70° a 90° predominantemente para sudoeste, e estão posicionadas paralelamente a direção dos lineamentos observados por sensoriamento remoto. As estruturas que foram observadas em campo, não afloram próximo ao centro da linha geofísica e, estão majoritariamente no comprimento de linha entre 20 e 100 m, com algumas estruturas vistas próximas a 250 m de linha. Além disso, é possível observar que há um aumento da frequência do espaçamento entre fraturas conforme a linha se aproxima dos lineamentos, que são marcados próximos da distância de 120 m e 230 m da linha de eletrorresistividade.

Figura 24 – Afloramento em lajedo de xisto no comprimento de linha próximo de 60 m.



Fonte: autor

Figura 25 – Foliação do xisto marcada por micas e cloritas com intercalações de bandas fina a grossas, próximo dos 80 m do perfil de eletrorresistividade.



Fonte: autor

Figura 26 – Fraturamento do xisto com aumento da frequência (cerca de 90 m de linha) próximo do lineamento concordante, que ocorre em torno dos 120 m do perfil de eletrorresistividade.

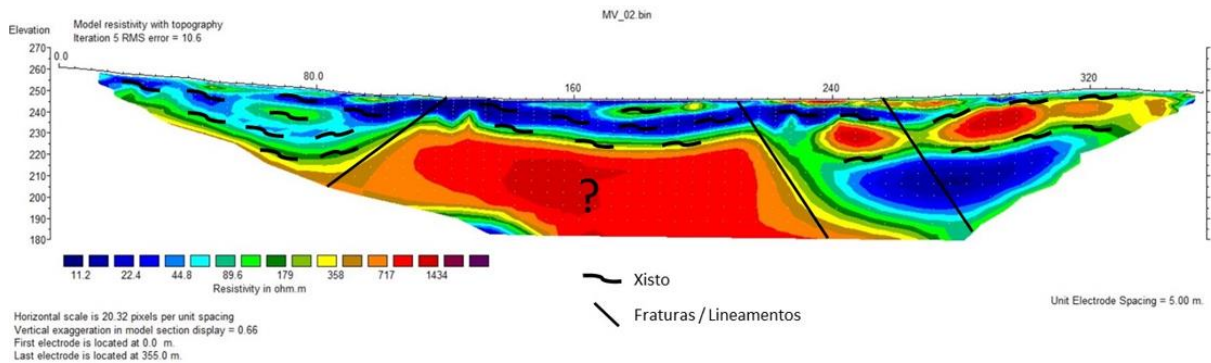


Fonte: autor

Ao observar os dados geológicos e associar com a geofísica, podemos constatar que o aumento da frequência de fraturamento da rocha, coincide com os lineamentos traçados por sensoriamento remoto e com os contrastes da seção de eletrorresistividade. A associação dos lineamentos com a seção de eletrorresistividade gerada, sugere que há uma estrutura em subsuperfície com uma geometria tipo *horst graben*, sendo delimitada em ambos os lados pelos lineamentos encontrados nas metragens próximas de 110 m e 220 m de linha. O bloco central, delimitado pelos lineamentos, e aparentemente soerguido, apresenta alta resistividade.

A associação de dados geológicos e geofísicos possibilitou correlacionar os valores observados na seção de resistividade com a estruturas e rochas encontradas em campo. A partir disso, criou-se uma seção geofísica integrada com a geologia, onde foram identificadas e delimitadas, no modelo geofísico 2D com topografia, as litologias observadas em campo e suas principais estruturas geológicas, conforme a figura 27.

Figura 27 – Integração de dados geológicos e geofísicos (MV-02).



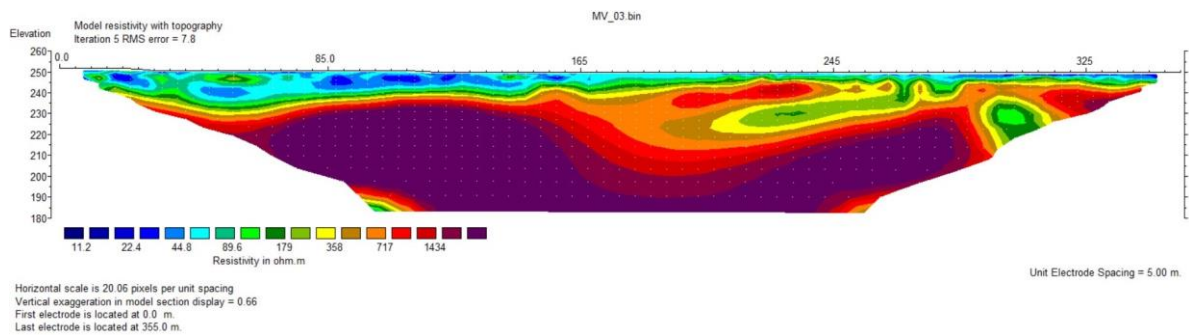
Fonte: autor

Os valores baixos de resistividade, em profundidades rasas, equivalentes a elevações próximas de 245 m, possivelmente indiquem uma saturação na camada de solo, não sendo do melhor interesse para a prospecção de água. Enquanto que, a região localizada próxima no comprimento de 270 m da linha, com valor resistividade de até 50 ohm.m, abaixo de uma possível camada de alta resistividade, em profundidade aproximada de 40 m, equivalente a uma elevação de 210 m, é um possível local com a capacidade de armazenamento de água. Regiões com altos valores de resistividade possivelmente indiquem a rocha metamórfica pouco fraturada, como uma banda de rocha metamórfica maciça na porção final do perfil, a partir de 240 m de comprimento da linha. Nesse sentido, cabe destaque para o centro da linha, onde em grande profundidade podemos observar esses valores, em uma área limitada por discontinuidades de alto ângulo, representando interfaces entre alta e baixa eletrorresistividade, que são coincidentes com os lineamentos observados nas imagens de satélite. Neste caso, o bloco de alta resistividade em subsuperfície pode também representar o granito ou o embasamento da região soerguido entre planos de falha (lineamentos).

8.4 LINHA MV-03

O levantamento geofísico realizado na linha MV-03 (Fig. 28), foi orientado em um perfil na direção NW-SE. A topografia não apresenta muita variação, apresentando valores próximos a 250 m durante toda a extensão da linha. Alcançou-se valores próximos a 70 m de profundidade, equivalente a 180 metros de elevação.

Figura 28 – Seção de resistividade referente a linha MV-03.



Fonte: autor

A seção de geofísica gerada, de forma geral, possui duas regiões principais, uma com valores de resistividade maiores, entre aproximadamente 1000 e 1600 ohm.m e outra com valores baixos, entre 10 e 50 ohm.m. Os valores altos observados, estão entre os 60 m e 290 m de distância da linha, com profundidades entre 10 e 70 m, equivalente a elevações de 240 e 190 m, ocupando a maior parte inferior da linha, em subsuperfície. Além dessas regiões, há locais com a resistividade entre 700 e 1000 ohm.m, localizados mais próximo da superfície, com uma profundidade de 5 m, equivalente a uma elevação de 245 m, na distância de cerca de 225 m de linha, configurando uma espécie de camada com alta resistividade e baixo ângulo de mergulho aparente para oeste. Locais com baixos valores de resistividade, entre 10 e 50 ohm.m, destacam-se localizados entre as distâncias de 0 a 210 m de linha, próximos da superfície até 5 m de profundidade, equivalente a elevação de 245 m. Além dessas regiões, há outros locais com uma resistividade em torno de 200 ohm.m, que estão entre os comprimentos de linha de 220 m e 300 m, com profundidade em torno de 20 m, equivalente a 230 m de elevação, como uma camada de baixa resistividade entre duas áreas de resistividade mais alta. Essa sequência de valores de resistividade baixos logo abaixo da superfície, no início da linha, associando com a geologia de campo, possivelmente indique locais com a presença de rochas fraturadas ou foliadas. Enquanto que uma estrutura de alto ângulo é representada por uma área com resistividade de aproximadamente 200 ohm.m, localizada na parte final da linha, podendo indicar o contato do xisto com o arenito do Grupo Maricá.

Em campo, foi realizada a identificação de duas litologias, classificadas como clorita-plagioclásio-mica-xisto (Fig. 29), com uma foliação de baixo a médio ângulo no sentido leste ou sudeste e, um arenito muito fino, intensamente intemperizado e

fraturado (Fig 30). Nesta linha geofísica, não havia muitos afloramentos próximos para identificação de fraturas ou foliação, somente no início da linha, entre o comprimento de 50 m e 90 m. Essas fraturas, com direção aproximada N-S, possivelmente se relacionam com os baixos valores de resistividade encontrados nos locais com profundidades próximas de 10 m, equivalente a elevação de 240 m. Além disso, há também, a possibilidade da foliação, que possui direção preferencial NE-SW e mergulho aproximado entre 40 a 50° para sudeste, influenciar nessas regiões com baixos valores de resistividade. Ao final da linha, é possível que os valores medianos de resistividade, estejam relacionados com a proximidade do contato com o arenito, além da provável influência dos lineamentos da região.

Figura 29 – Afloramento de clorita-plagioclásio-mica-xisto com xistosidade marcada com mica e clorita, próxima da distância de 100 m de linha



Fonte: autor

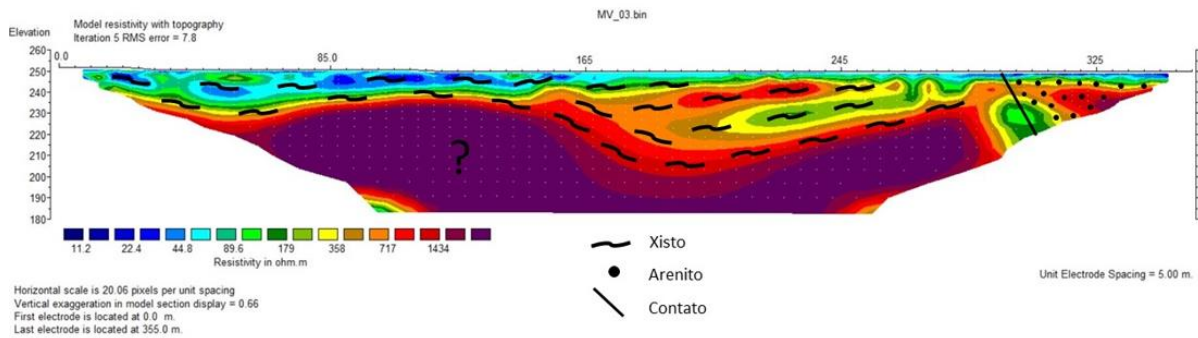
Figura 30 – Arenito intensamente fraturado e intemperizado, próximo do comprimento de 355 m de linha.



Fonte: autor

Ao integrar dados geológicos e geofísicos, podemos observar que em locais com a presença de rochas com xistosidade e fraturas, no comprimento de linha entre 10 e 100 m, é possível observar valores de resistividade entre 10 e 50 ohm.m, em uma profundidade de até 15 m, equivalente a uma elevação de 235 m. Além dessas regiões, há uma anomalia com valores de resistividade entre 90 e 200 ohm.m, que abrange uma distância da linha entre 220 a 300 m, com profundidade de 20 a 30 m, equivalente a de elevação de 230 a 220 m, que podem indicar um mergulho da xistosidade para oeste (não aflorante), assim como a proximidade do contato com o arenito ou até mesmo com o lineamento de direção NW-SE.

Figura 31 – Integração de dados geológicos e geofísicos (MV-03).



Fonte: autor

Interpreta-se que baixos valores de resistividade em regiões rasas, em torno de até 10 m de profundidade, equivalente a 240 m de elevação, podem indicar que a camada de solo está saturada, não sendo interessante para a prospecção de água subterrânea. Enquanto que, os altos valores de resistividade, indicam possivelmente a presença do xisto pouco fraturado, o granito ou ao embasamento, podendo caracterizar uma rocha maciça, ao longo da maior parte da seção geofísica (0 – 300 m de comprimento, aproximadamente), sendo o seu contato com o arenito (~300 m de comprimento) uma descontinuidade de alto ângulo de mergulho para leste, com eletrorresistividade em torno de 90 - 200 ohm.m.

9 DISCUSSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

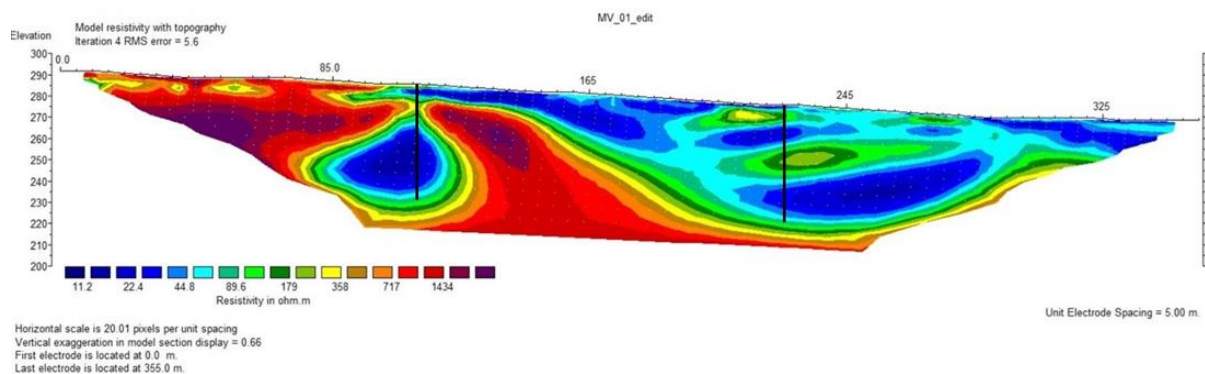
A correlação de evidências geológicas com informações geofísicas de eletrorresistividade, possibilitou neste trabalho, a escolha de locais com a maior probabilidade de ocorrência de água subterrânea. Utilizou-se de critérios como sensoriamento remoto para delimitação de lineamentos, em conjunto com associações entre dados geológicos e estruturais adquiridos em campo, integrando todos esses dados com as seções de resistividade geradas, para encontrar melhores localidades com a possibilidade de ocorrência de água subterrânea e possíveis pontos para a locação de poços.

Através das análises das seções geofísicas, observou-se que o melhor resultado, é referente a seção gerada na linha MV-01, em razão de ser o que apresenta os menores valores de resistividade nas maiores profundidades, além de ser a linha em que mais houve correlação entre as estruturas vistas em campo com os contrastes observados na seção de resistividade gerada. A linha MV-02, apesar

de não apresentar resultados muito satisfatórios, apresenta locais com valores baixos de resistividade, que se correlacionam com estruturas geológicas observadas em campo, podendo ser o indicativo de um possível local para a prospecção de água subterrânea. A linha MV-03 é a que menos apresenta possibilidade da ocorrência de água subterrânea, em razão de apresentar um predomínio de valores altos de resistividade e não apresentar muitas correlações de dados estruturais vistos em campo com as seções de resistividade geradas. Ainda assim, sua maior descontinuidade geofísica representa um contato geológico inferido, corroborado por uma diferença de litologias observada em distintos pontos próximos da descontinuidade. Em todas as linhas, há regiões com profundidades rasas, que indicam a possibilidade de saturação da camada de solo, não sendo um bom indicio de um possível local para a prospecção de água subterrânea.

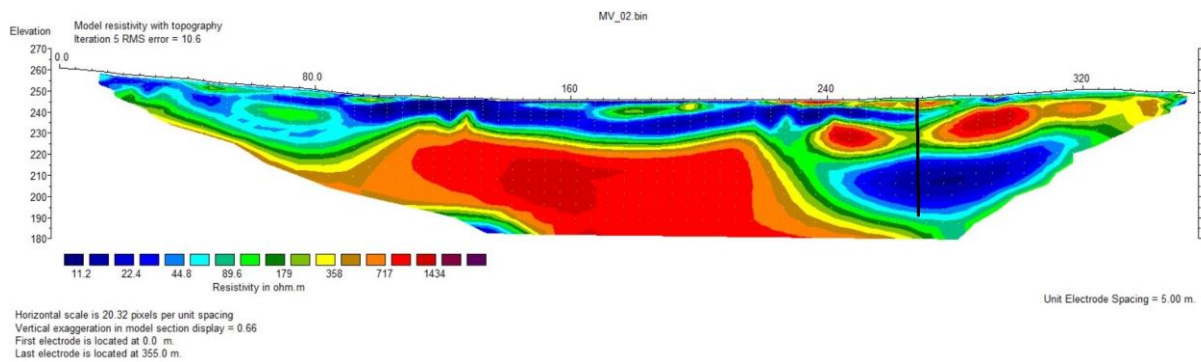
Portanto, apenas as linhas MV-01 e MV-02, possuem indícios de ocorrência de água subterrânea. Através disso, com base nos critérios citados, escolheu-se em cada uma dessas linhas, os melhores locais para possível locação de poços na região, conforme figura 32 e 33.

Figura 32 – Possíveis locais para locação de poços na linha MV-01 indicadas pelas linhas pretas.



Fonte: autor

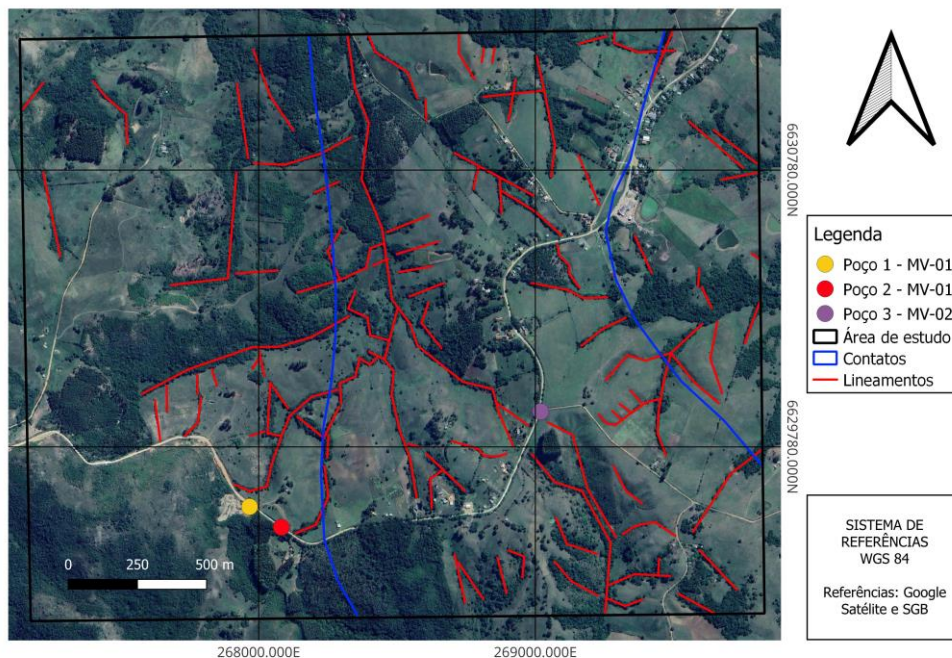
Figura 33 – Possível local para a locação de poço na linha MV-02 indicada pela linha preta.



Fonte: autor

Este trabalho recomenda, três localidades possíveis para a locação de um poço subterrâneo, conforme figura 34, espera-se que este trabalho auxilie na locação de poços na comunidade da Picada Grande e, também, sirva de subsídio para futuros trabalhos que visem encontrar locais, com probabilidade de ocorrência de água subterrânea, por meio da correlação de informações geológicas com dados geofísicos.

Figura 34 – Possíveis locais para locação de poços.



Fonte: autor

10 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; NEVES, B. B. B. **The upper precambrian of South America**. Boletim IG, v. 7, p. 45–80, 1976.
- BITENCOURT, Maria de Fatima Aparecida Saraiva. Geologia, petrologia e estrutura dos metamorfitos da região de Caçapava do Sul, RS. 1983.
- 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.
- BORGHETTI, N. R. **Aqüífero Guarani: a verdadeira integração dos países do MERCOSUL**. Curitiba – PR, 2004
- BORTOLOZO, C. A.; PORSANI, J L. **Inversão conjunta 1D e 2D de dados de Eletorresistividade e TDEM aplicados em estudos de hidrogeologia na bacia do Paraná**. 2016. Tese de Doutorado (Geofísica), IAG-USP, São Paulo.
- BOYER, R.; MCQUEEN, J. **Comparison of mapped rock fractures and airphoto linear features**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v. 30, n. 4, p. 630-635, 1964.
- BRADBURY, K. R.; MULDOON M. A. 1992. **Hydrogeology and Groundwater Monitoring of Fractured Dolomite in the Upper Door Priority Watershed, Door Country, Wisconsin**. Report final, Wisconsin, Wisconsin Geological and Natural History Survey, University of Wisconsin Madison, 83 p.
- BRAGA, A. C. de O. **Métodos da eletrorresistividade e polarização induzida aplicados nos estudos da captação e contaminação de águas subterrâneas: uma abordagem metodológica e prática**. 2006. Universidade Estadual Paulista. Programa de Pós Graduação em Geociências e Meio Ambiente do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2006.
- BRASIL, W. **Maior seca em décadas, leva Caçapava a racionamento devido falta de água**. Site da Prefeitura Municipal de Caçapava do Sul, Caçapava do Sul, 4 maio 2020. Disponível em: <https://cacapavadosul.rs.gov.br/noticia/visualizar/id/6424/?maior-seca-em-deca>.
- 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, 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

DAEE, I. G.; IPT, CPRM. **Mapa de águas subterrâneas do estado de São Paulo 1: 1.000. 000**. Mapa e Nota Explicativa, Governo do Estado de São Paulo, Conselho Nacional de Recursos Hídricos, São Paulo, 2005.

DE SÁ, H. S. **Imageamento elétrico para auxílio na locação de perfuração de poços tubulares-estudo de casos em aquíferos fraturados**. 2017. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

DE TONI, G. B.; DA COSTA, J. AL. 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.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. CPRM, 2008.

FERNANDES, A. J. **Aquíferos fraturados: uma revisão dos condicionantes geológicos e dos métodos de investigação**. Revista do Instituto Geológico (Descontinuada), v. 29, n. 1-2, p. 49-72, 2008.

FRAGOSO CESAR, A. R. S.; ALMEIDA, R. P. D.; FAMBRINI, G. L.; PELOSI, A. P. D. M. R.; JANIKIAN, L. **A Bacia Camaquã: um sistema intracontinental anorogênico de rifts do Neoproterozóico III-Eopaleozóico no Rio Grande do Sul**. Anais, 2003.

GALLAS, J. D. F. Prospecção de água subterrânea em aquíferos cristalinos com o emprego de métodos indiretos. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, 24(1/2), p. 43-51, 2003.

GANDOLFO, O.C.B., GALLAS, J.D.F. O arranjo polo-dipolo como alternativa ao dipolo-dipolo em levantamento 2D de eletrorresistividade. **Revista Brasileira de Geofísica**, 17 de Agosto de 2007.

GRIGOLETTO, J. C.; CABRAL, A. R.; BONFIM, C. V.; ROHFLS, D. B.; SILVA, E. L.; QUEIROZ, F. B. D; MARAGLHÃES. T. D. B. Gestão das ações do setor saúde em situações de seca e estiagem. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 3, p. 709-718, 2016.

HAGY, R. D. **Porosidade e permeabilidade em amostras de rochas: estudo com alunos do ensino fundamental sobre reservatório subterrâneo**. 2009. Tese de Doutorado. [sn].

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.

JANIKIAN, L. **Sequências deposicionais e evolução paleoambiental do Grupo Bom Jardim e da Formação Acampamento Velho, Supergrupo Camaquã, Rio Grande do Sul.** 2004. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

JANIKIAN, L.; DE ALMEIDA, R. P.; FRAGOSO-CESAR, A. R. S.; FAMBIRNI, G. L. **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.

JELINEK, A. R.; SOMMER, C. A. **Contribuições à Geologia do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.** 2021.

KARMANN, I. **Ciclo da água, água subterrânea e sua ação geológica.** Decifrando a terra, v. 2, p. 191-214, 2000.

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. **An introduction to geophysical exploration.** 3. ed. United Kingdom: Blackwell Publishing Company, 2002..

KRÁSNÝ J., SHARP J.M., TROEGER U. 2014. **IAH Commission on Hardrock Hydrogeology (HyRoC):** Past and present activities, future possibilities. In: Sharp JM (ed) Fractured Rock Hydrogeology, 1rd edn. CRC Press, London. p 1-12

LAGO, A. L.; ELIS, V. R. **Investigação geofísica 2D e 3D com aplicação em meio ambiente: estudo sobre uma área de disposição de resíduos de óleo lubrificante no município de Ribeirão Preto-SP.** 2009.

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.

LOWRIE, W. **Fundamentals of geophysics.** Cambridge. 2. ed. New York: Cambridge University Press, 2007.

MOREIRA, C. A.; HELENE, L. P.; FERNANDA, T. G.; HANSEN, M. A.; MALAGUTTI FILHO, W.; DOURADO, J. C. **Análise comparativa entre arranjos de tomografia elétrica no reconhecimento de estruturas de fluxo em aquífero fraturado em Caçapava do Sul (RS).** Pesquisas em Geociências, v. 46, n. 1, p. e0710-e0710, 2019.

MOREIRA, K. RS tem 78% dos municípios com situação de emergência decretada em razão da estiagem. **Gaúcha Zero Hora**, Porto Alegre, 2 maio 2023. Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2023/05/rs-tem-78-dos-municipios-com-situacao-de-emergencia-decretada-em-razao-da-estiagem-clh6jryda005s015bxyyr62yy.html>.

MORIN, R.H.; CARLETON, G.B.; POIRIER, S.1997. **Fractured-aquifer hydrogeology from geophysical logs, The Passaic Formation, New Jersey.** Ground Water, 35(2):328-338.

Município estuda decretar emergência por estiagem no Interior. Site da Prefeitura Municipal de Caçapava do Sul, Caçapava do Sul, 10 jan. 2020. Disponível em: <https://cacapavadosul.rs.gov.br/noticia/visualizar/id/6308/?municipio-estuda-decretar-emergencia-por-estiagem-no-interior.html>.

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.

NASCIMENTO, P. S. R. **Geoprocessamento aplicado à gestão de aquíferos fissurais:** uma proposta metodológica para o semiárido sergipano. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 13, Aracaju. Anais. Aracaju: ABRH, 2016, p.1-10.

O'LEARY, D. W.; FRIEDMAN, J. D.; POHN, H. A. **Lineament, linear, lineation:** some proposed new standards for old terms. Geological Society of America Bulletin, v. 87, n. 10, p. 1463-1469, 1976.

OLIVEIRA, M. V. G. **Análise estrutural e geofísica em aquífero fraturado na região de Caçapava do Sul.** Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista – UNESP- Rio Claro – SP. Sociedade Brasileira de Geofísica. 2018.

OLIVO, A. de M.; ISHIKI, H. M. **Brasil frente à escassez de água.** Revistas Unioeste, Presidente Prudente, v.11, n.3, p. 41-48, set/dez 2014. Disponível em: <https://revistas.unoeste.br/index.php/ch/article/view/1206/1279>.

ONU, 1992. **Declaração Universal dos Direitos da Água.**

PAIM, P.S.G., CHEMALE, F., LOPES, R.D.A.C. 2000. **A Bacia do Camaquã.** In: HOLZ, M., DE ROS, L.F. (eds.). A Geologia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CIGO/UFRGS. P. 231-274

PAIM, P. S. G.; CHEMALE JUNIOR, F.; WILDNER, W. **ESTÁGIOS EVOLUTIVOS DA BACIA DO CAMAQUÃ (RS).** Ciência e Natura, [S. I.], v. 36, n. 3, p. 183–193, 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/13748>.

PELOSI, A. P. de M. R.; FRAGOSO CESAR, A. R. S. **Proposta litoestratigráfica e considerações paleoambientais sobre o Grupo Maricá (Neoproterozóico III), Bacia do Camaquã, Rio Grande do Sul.** Revista Brasileira de Geociências, v. 33, n. 2, p. 137-148, 2003.

PHILIPP, R. P. **A evolução geológica e tectônica do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul.** 1998. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

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

PHILIPP, R. P.; MACHADO, R. **Ocorrência e significado dos septos do embasamento encontrados nas suítes graníticas do Batólito Pelotas, RS, Brasil.** Pesquisas em Geociências. Porto Alegre, RS. Vol. 29, n. 1 (2002), p. 43-60, 2002.

PRESS F. *et al.* **O ciclo hidrológico e a água subterrânea. Para Entender a Terra.** Porto Alegre. Bookman. 2008. P.313- 338.

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.* The link between hydrothermal epigenetic copper mineralization and the Caçapava Granite of the Brasiliano Cycle in southern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 13, n. 3, p. 191-216, 2000.

ROCHA, G. *et al.* **Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo.** Águas Subterrâneas, 2006.

RUSHTON, K. R.; WELLER, Jane. **Response to pumping of a weathered-fractured granite aquifer.** Journal of Hydrology, v. 80, n. 3-4, p. 299-309, 1985.

SALVI, M. M. **Geologia e Significado Tectônico do Complexo Batoví, Terreno Taquarembó, Cinturão Dom Feliciano, São Gabriel – RS.** 2014. Trabalho de Conclusão de curso (Bacharel em Geologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curso de Geologia, Porto Alegre, 2014.

SANDER, P. **Water-well sitting in hard-rock areas: identifying promising targets using a probabilistic approach.** Hydrogeology Journal, v.5, n. 3, p. 32-43, mar. 1997.

SCHWEIG, C. **Caracterização geolétrica da ocorrência de Cobre Colônia de Santa Bárbara, Município de Caçapava do Sul (RS).** Caçapava do Sul, 2010. 77 p. Monografia (Graduação em Geofísica) – Universidade Federal do Pampa.

SCUDINO, P. C. B. **Projeto monitoramento hídrico e avaliação dos possíveis impactos do sistema de rebaixamento dos níveis de água na mina do Córrego do Feijão.** ÁGUA Consultores Associados Ltda./CVRD, 2000.

SILVA FILHO, B. C.; MATSDORF, M. **Análise estrutural dos metamorfitos da borda oeste do granito Caçapava, Caçapava do Sul: Implicações geológicas locais e regionais.** In: Anais, III Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, Curitiba. 1987. p. 197-222.

SINGHAL, B. B. S; GUPTA, R. P. **Fractures and discontinuities.** Applied hydrogeology of fractured rocks, p. 13-35, 1999.

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

TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E. **Applied geophysics.** Cambridge university press, 1990.

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).

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, Takako. **A água.** Editora Scienza, São Carlos, 2020. Disponível em: https://sbhsf.com.br/wp-content/uploads/2020/08/novo_A_AGUA.pdf.

VIEIRA, Y. E. M. *et al.* **Geofísica em auxílio à perfuração de poços artesanais para comunidades afetadas pela seca.** Estudo de caso em terras áridas. Interciência, v. 45, n. 3, p. 164-168, 2020.

WILDNER, Wilson et al. **Geologia e recursos minerais do estado do Rio Grande do Sul.** CPRM, 2008.