

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

LAYANDRA OLIVEIRA PESSANHA

**INTEGRAÇÃO DE DADOS GEOLÓGICOS E GEOFÍSICOS EM ÁREA DE
CONSTRUÇÃO DE BARRAGEM NO SUL DO RIO GRANDE DO SUL**

Caçapava do Sul

2023

LAYANDRA OLIVEIRA PESSANHA

**INTEGRAÇÃO DE DADOS GEOLÓGICOS E GEOFÍSICOS EM ÁREA DE
CONSTRUÇÃO DE BARRAGEM NO SUL DO RIO GRANDE DO SUL**

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

Orientador: Dr. José Waldomiro Jiménez
Rojas

Coorientador: Me. Lenon Melo Ilha

Caçapava do Sul

2023

LAYANDRA OLIVEIRA PESSANHA

**INTEGRAÇÃO DE DADOS GEOFÍSICOS, GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO NA ÁREA DE
CONSTRUÇÃO DE UMA BARRAGEM NO SUL DO RIO GRANDE DO SUL**

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 27 de janeiro de 2023.

Banca examinadora:

Prof. Dr. José W. Jiménez Rojas

Orientador

Universidade Federal do Pampa

Prof. Me. Cleber Floriano

PUCRS

Prof. Dr. Marcus Vinicius Aparecido Gomes de Limaa

Universidade Federal do Pampa



Assinado eletronicamente por **MARCUS VINICIUS APARECIDO GOMES DE LIMA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 31/01/2023, às 16:26, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **JOSE WALDOMIRO JIMENEZ ROJAS, Diretor(a) Campus Caçapava do Sul**, em 31/01/2023, às 18:46, 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 **1039031** e o código CRC **F8FAE991**.

Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul

AGRADECIMENTOS

Difícil o momento de expressar em palavras o sentimento de gratidão que tenho por todas as pessoas que fizeram parte da minha pequena trajetória durante esses anos vividos em Caçapava do Sul e nomeá-los seria uma tarefa impossível nesta breve página.

Primeiramente agradeço a minha família por me incentivar e possibilitar uma boa educação, por me apoiar nos momentos mais difíceis e por me ensinarem de forma singela o sentimento de amor mais puro que conheço até o momento. Deixo aqui a minha imensurável alegria e agradecimento.

Aos professores que lecionaram com amor, mesmo com os grandes desafios da educação brasileira, transpassando conhecimentos diversos para uma construção de profissionais qualificados, mas sem esquecer das evoluções e aprendizados pessoais. Obrigada pelas reflexões profundas sobre a existência humana, me fazendo enxergar sempre em pontos de referências distintos, permitindo uma visualização expansiva distante do próprio campo de visão limitado. As instituições acadêmicas, em especial a Universidade Federal do Pampa – Campus Caçapava, onde passei a maior parte do tempo e que me ensinou que a faculdade é aprender à aprender. Ao presidente Luís Inácio Lula da Silva que democratizou o acesso ao ensino público de qualidade. Agradeço imensamente por toda a oportunidade o aprendizado.

Um agradecimento em especial ao meu orientador, coorientador e toda a equipe de campo responsável pela execução desse trabalho, além do Exército Brasileiro, da empresa Souza Floriano Diferenciada e a empresa SS Sondagens por permitirem que o trabalho fosse executado e disponibilizando dados de pesquisas existentes. Obrigada pela confiança que depositaram em mim, pelos conselhos e apoio.

Aos amigos que tive o prazer de construir nessa trajetória, descrever a importância que vocês tiveram durante esses anos será impossível. Foram muitos aprendizados, incentivos, apoios, amores, e tenho certeza que lembrarei de tudo e todos com muito amor, carinho, respeito e principalmente um sentimento imenso de gratidão. Vocês fazem grande parte da minha construção como pessoa. Aos amigos que estão lendo e que fazem parte deste contexto, minha eterna gratidão.

E por fim, mas não menos importante, agradeço a todas as mulheres que me inspiram e me ensinam a superar os desafios que há da mulher na ciência.

RESUMO

A área de estudo está localizada no município de Bagé, no estado do Rio Grande do Sul, próximo ao Rio Camaquã e é alvo de severas secas ocasionando diversos problemas sociais. Bagé é abastecida por três barragens principais, as quais não são suficientes para o abastecimento da população do município. A construção da Barragem Arvorezinha é a alternativa para a resolução definitiva do desabastecimento da população da cidade. Entretanto, para um bom aproveitamento da barragem e evitar possíveis problemas associados, o conhecimento geológico, geotécnico e estrutural do local são fundamentais. O monitoramento de uma barragem podem ser realizadas através de metodologias de análise direta e indireta de investigação, a fim de qualificar e avaliar suas reais condições. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo caracterizar o meio de subsuperfície do corpo da Barragem Arvorezinha, assim como o reconhecimento e análise estrutural do maciço, a partir da aplicação do método geofísico de Eletrorresistividade. Os dados de sondagem SPT foram realizados e disponibilizados por uma empresa privada no intuito de agregar a interpretação dos métodos geofísicos possibilitando avaliações mais fundamentadas com base em critérios científicos passíveis de correlação, para uma interpretação mais acurada dos resultados.

Palavras-Chave: barragem, geotecnia, integração, método geofísico, SPT, eletrorresistividade.

ABSTRACT

The study area is located in the municipality of Bagé, in the state of Rio Grande do Sul, near the Camaquã River, and is subject to severe droughts that cause many social problems. Bagé is supplied by three main dams, which are not sufficient to supply the municipality's population. The construction of the Arvorezinha Dam is the alternative for the definitive resolution of the lack of supply for the city's population. However, for a good use of the dam and to avoid possible associated problems, the geological, geotechnical and structural knowledge of the site are fundamental. The monitoring of a dam can be carried out through direct and indirect investigation methodologies in order to qualify and evaluate its real conditions. In this context, this work aims to characterize the subsurface environment of the Arvorezinha dam body, as well as the recognition and structural analysis of the massif, from the application of the geophysical method of Resistivity Electrodes. The data of simple reconnaissance drilling (SPT) were performed and made available by a private company in order to aggregate the interpretation of geophysical methods enabling more informed assessments based on scientific criteria that can be correlated, for a more accurate interpretation of the results.

Keywords: dam, geotechnical, integration, geophysical method, SPT, electroresistivity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Mapa de localização da área de estudo.....	13
Figura 2- Províncias tectônicas do Brasil, conforme Almeida et al. (1977); foram enfatizadas as províncias de interesse para a região.....	14
Figura 3 - Contexto tectono-geológico regional com indicação da localização das folhas Bagé (B), Aceguá (A), Passo São Diogo (P) e Curral de Pedras (C).	16
Figura 4 - Mapa geológico local.	17
Figura 5- Barragens de terra usuais: a) Barragem de terra homogênea; b) Barragem de terra zoada com o núcleo de material com menos coeficiente de permeabilidade relativo.	21
Figura 6 - Formas de condução de corrente elétrica nas rochas: a) eletrolítica (ou iônica) e b) eletrônica.	23
Figura 7- Distribuição das linhas equipotenciais e corrente elétrica em modelo de subsuperfície homogêneo e isotrópico, visto em perfil (A) e em planta (B).	24
Figura 8 - Esquema arranjo Dipolo-Dipolo.	27
Figura 9 – Esquema geral e equipamentos utilizados durante o ensaio à percussão SPT... ..	29
Figura 10 - Localização das linhas de imageamento.....	31
Figura 11 - Fluxograma das etapas do projeto.....	32
Figura 12 - Pseudoseções de resistividade aparente real e calculada e modelo de resistividade local do perfil longitudinal.	33
Figura 13 - Pseudoseções de resistividade aparente real e calculada e modelo de resistividade local do perfil transversal.....	34
Figura 14 - Seção geoeletrica de eletrorresistividade e seção interpretada com base nas informações do modelo e sondagens SPT.....	36
Figura 15 - Seção geoeletrica de eletrorresistividade e seção interpretada com base nas informações do modelo e sondagens SPT.....	37
Figura 16 - Modelo ideal do projeto da barragem Arvorezinha.....	38

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS	10
2.1 Objetivo geral	10
2.2 Objetivos específicos	10
3 JUSTIFICATIVA	11
4 ÁREA DE ESTUDO	12
4.1 Localização e acesso	12
4.2 Geologia regional	13
4.3 Geologia local	17
4.4 Aspectos fisiográficos	18
4.4.1 Clima	18
4.4.2. Geomorfologia	18
4.4.3 Solos	19
5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
5.1 Teoria dos métodos e técnicas	20
5.1.2 Barragens	20
5.1.3 Barragem de Terra	20
5.1.4 Barragem homogênea	20
5.1.5 Barragem zoneada	21
5.1.6 Método elétrico	21
5.1.6.1 Condução de corrente elétrica e resistividade dos materiais	22
5.1.6.2 Técnica de campo e arranjo	26
5.1.6.3 Fatores que influenciam os resultados da eletrorresistividade	28
5.1.7 Investigação geotécnica	28
5.2 Trabalho anterior aplicado	29
6 MATERIAIS E MÉTODOS	30
6.1 Etapa Pré-Campo	30
6.2 Etapa de Campo	30
6.2.3 Aquisição de dados	30
6.3 Etapa Pós-Campo	31
6.3.4 Processamento de dados	32
6.4 Delineamento metodológico	32
7 RESULTADOS	33
7.1 Ensaios geofísicos	33

7.2 Ensaio de SPT	34
7.3 Discussão dos resultados	36
8 Considerações finais	40
9 REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

As barragens de terra são utilizadas, desde os tempos mais remotos, para aprisionar e desviar água. Até meados do século XX, a literatura relata problemas e falhas estruturais nas barragens de terra por serem desenvolvidas por métodos empíricos e técnicas rudimentares. Apesar do avanço das técnicas modernas, é importante frisar que ainda são relatadas falhas estruturais devido a empreendimentos que não possuem ônus e acesso às metodologias e tecnologias. A segurança de uma barragem está diretamente ligada às fases de projeto, construção, instrumentação/inspeção, operação e manutenção.

A Barragem Arvorezinha, em construção, tem como proposta principal garantir e fornecer o abastecimento de água para o município de Bagé, localizado no Rio Grande do Sul, que vem sofrendo de severas secas nas últimas décadas. A barragem em questão possui uma capacidade de armazenamento prevista de 18 milhões de m³.

Os estudos de avaliação das reais condições estruturais e geotécnicas dos maciços de barragens é de extrema importância para a geotecnia e para a sociedade, uma vez que pode diminuir as problemáticas de segurança em toda a vida útil da barragem, direcionando para um bom gerenciamento e monitoramento dessas estruturas. Metodologias de análise direta e indireta de investigação podem ser aplicadas para o monitoramento da barragem, a fim de qualificar e avaliar suas condições. Os métodos indiretos englobam o uso de métodos geofísicos que apresentam investigações rápidas não destrutivas e de baixo custo. Enquanto métodos diretos fundamentam-se no reconhecimento das condições geológico-geotécnico com base nas amostragens, interpolação geométrica e obtenção de parâmetros. As sondagens e outros ensaios geotécnicos in situ são responsáveis por fornecer informações que podem ser correlacionados com a interpretação geofísica.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo caracterizar o meio de subsuperfície do corpo da Barragem Arvorezinha, conforme solicitado pela empresa Souza Floriano Engenharia Diferenciada, assim como o reconhecimento e análise estrutural do maciço, a partir da aplicação do método geofísico de Eletrorresistividade. Os dados de sondagem (SPT) realizados pela empresa SS sondagens foram disponibilidades, afim de agregar a interpretação dos métodos geofísicos possibilitando avaliações mais fundamentadas com base em critérios científicos passíveis de correlação para uma acuracidade dos resultados.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo principal o reconhecimento e caracterização do meio em subsuperfície de um corpo da Barragem Arvorezinha, no município de Bagé (RS), a partir da aplicação do método geofísico de Eletrorresistividade por meio da técnica de Tomografia Elétrica (ETR).

2.2 Objetivos específicos

Este estudo tem como objetivo contribuir para a caracterização do modelo da barragem Arvorezinha oferecendo:

- I. Aquisições geofísicas por meio do método da eletrorresistividade no corpo da barragem;
- II. Processamento dos dados obtidos, dispostos em mapas e perfis geofísicos.
- III. Caracterização e interpretação geológica e geoestrutural de subsuperfície, através dos perfis gerados.
- IV. Integração e comparação dos dados gerados através da eletrorresistividade com os de furo de sondagem disponibilizados para o estudo.

3 JUSTIFICATIVA

A obra da barragem Arvorezinha iniciou em 2011, sendo embargada pela Justiça em 2013 para investigação de supostas irregularidades. As obras foram retomadas em 2022 pelo comando do Exército Brasileiro, tendo como desafio a avaliação das condições das estruturas realizadas pela empresa anterior responsável. O valor total da obra é estimado em aproximadamente R\$ 107 milhões de reais, sendo prevista para ser concluída até 2026.

Visto que para diminuir as problemáticas de segurança em toda a vida útil da barragem e direcionar para um bom gerenciamento e monitoramento dessas estruturas é de extrema importância os estudos de avaliação das reais condições estruturais e geotécnicas dos maciços de barragens, diminuindo assim as problemáticas de engenharia e sociais.

Os métodos elétricos possuem diversas aplicações, investigações hidrogeológicas, estudos geotécnicos, estudos ambientais, e contínua descoberta para novos fins e aplicações. Porém como são métodos indiretos, assim como qualquer outra técnica geofísica, são comumente utilizadas outras metodologias para que os erros de interpretação sejam reduzidos.

O fato de a UNIPAMPA possuir o resistímetro modelo Syscal Pro, fabricado pela Iris Instruments, além dos softwares adequados para o processamento e a integração dos dados, possibilitou a execução deste trabalho.

Os dados de furo de sondagem, realizado pela empresa SS Sondagens, foram disponibilizados pela empresa Souza Floriano Engenharia Diferenciada, viabilizando uma comparação e combinação dos dados.

Neste contexto, o presente trabalho tem como propósito a utilização do método geofísico da eletrorresistividade, e a integração com dados de furos de sondagem, a fim de detalhar o conhecimento e a integridade do meio de subsuperfície de um corpo da Barragem Arvorezinha.

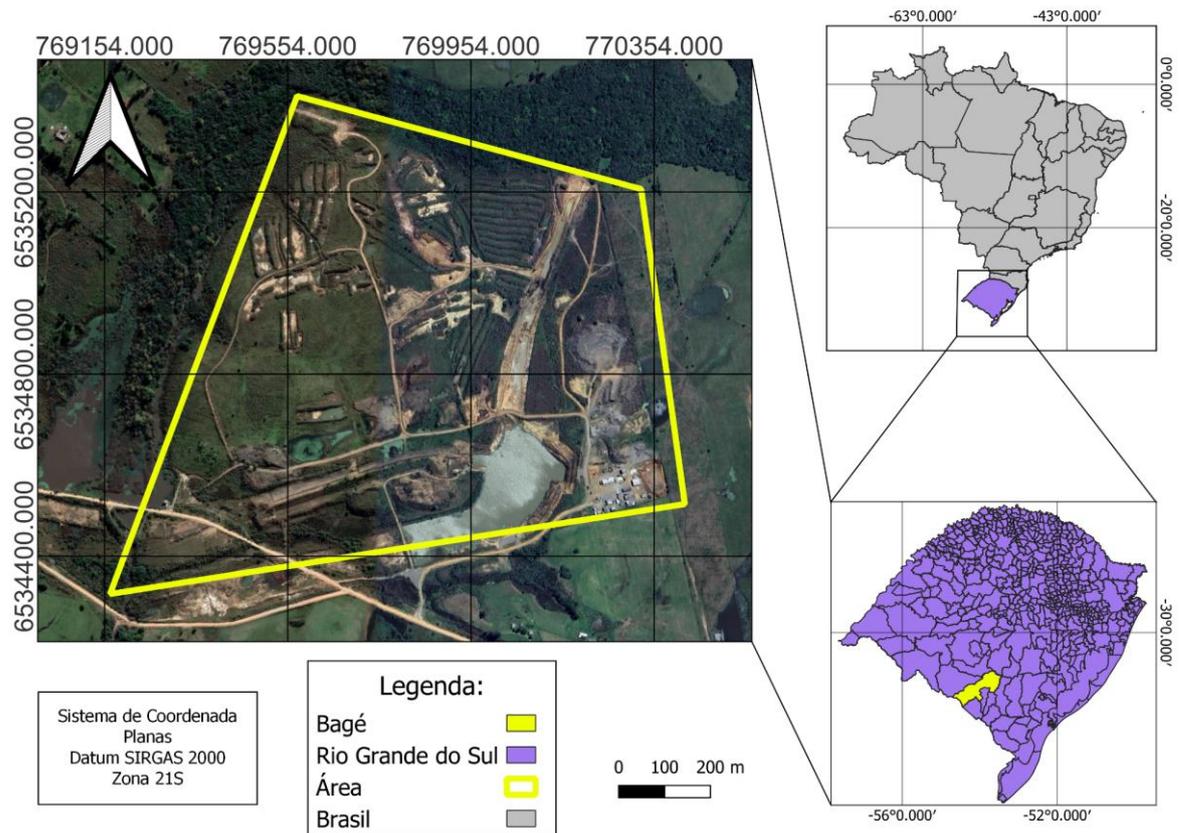
4 ÁREA DE ESTUDO

Neste tópico são apresentadas as características da área de estudo como a localização e acesso, contexto geológico, e aspectos fisiográficos.

4.1 Localização e acesso

A área de estudo (Figura 1) está inserida no município de Bagé, no estado do Rio Grande do Sul, possuindo uma densidade populacional de 29,6 hab/km², de acordo com a estimativa do IBGE de 2020. Bagé limita-se a norte com os municípios de Lavras do Sul e Caçapava do Sul; a oeste com o município de Dom Pedrito e a Leste com o município Pinheiro Machado. O acesso ao local de estudo, partindo de Caçapava do Sul, inicia-se seguindo pela RS-153 sentido sul, por 111 km até o entroncamento para acesso a RS-293 avançando pela mesma por 16,7 km em direção a Dom Pedrito, continuando sentido sul na RS-473 e seguindo por mais 2,6 km até acessar a Estrada Cochilha do Fogo à sudoeste mantendo-se pela mesma por 3,2 km até uma curva acentuada a noroeste percorrendo por mais 1,7 km até o destino a Barragem Arvorezinha.

Figura 1- Mapa de localização da área de estudo.



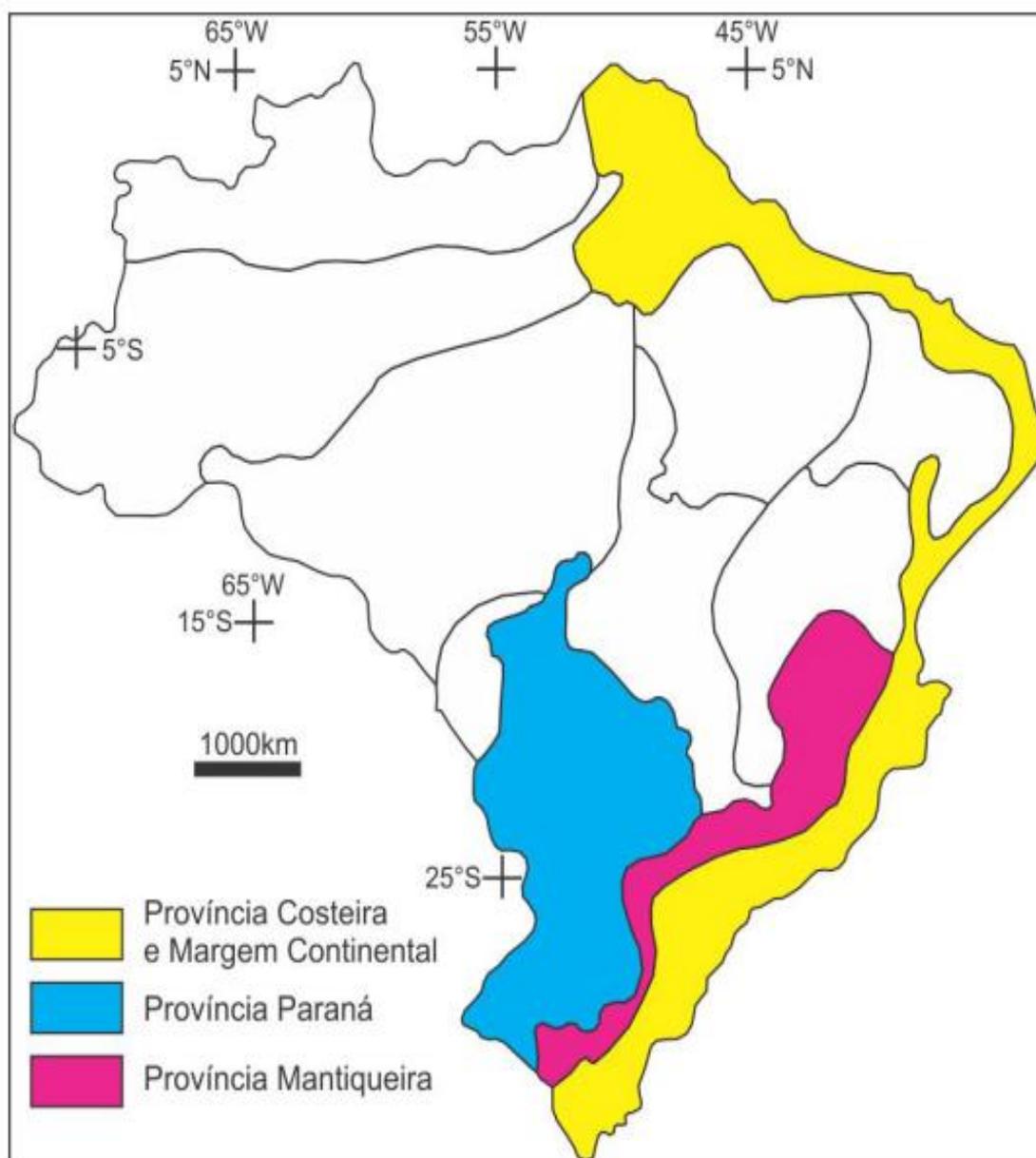
Fonte - Autora.

4.2 Geologia regional

Bagé está inserida no segmento meridional na Província Mantiqueira de Almeida et al. (1977), na porção centro-sul do Estado do Rio Grande do Sul, constituindo o Escudo Sul-Rio-Grandense de Carvalho (1932).

A Província Mantiqueira (Figura 2) se estabeleceu a leste dos crátons São Francisco e Rio de La Plata/Paraná ao final do Neoproterozóico e início do Paleozóico, estendendo-se de Montevideu (Uruguai) ao sul da Bahia, registrando uma complexa evolução do Neoproterozóico na América do Sul (900-520 Ma), preservando consigo remanescentes de unidade paleoproterozóicas e mesoproterozóicas. A colagem neoproterozóica é subdividida em Terreno São Gabriel, Batólito Pelotas, Terreno Tijuca, Terreno Taquarembó e Bacia do Camaquã (CHEMALE JÚNIOR, 2000) e Terreno Jaguarão (MACHADO et al., 1995).

Figura 2- Províncias tectônicas do Brasil, conforme Almeida et al. (1977); foram enfatizadas as províncias de interesse para a região.



Fonte - Camozzato et. al. (2018).

A Folha Bagé está inserida por quase sua totalidade no Terreno Taquarembó, com o Terreno São Gabriel representando menos de 0,1% da área e cerca de metade da área é ocupada pelas rochas sedimentares da Bacia do Paraná e do Cenozóico (CAMOZZATO et al. 2018). É limitado a norte pelo Sistema de Falhas Ibaré - Tigra, de Camozzato et.al., (2015) e a leste pelo Sistema de Falhas Irapuá - Passo dos

Enforcados, de Camozzato et al., (2015) a oeste e a sul é recoberto pelas rochas da Bacia do Paraná.

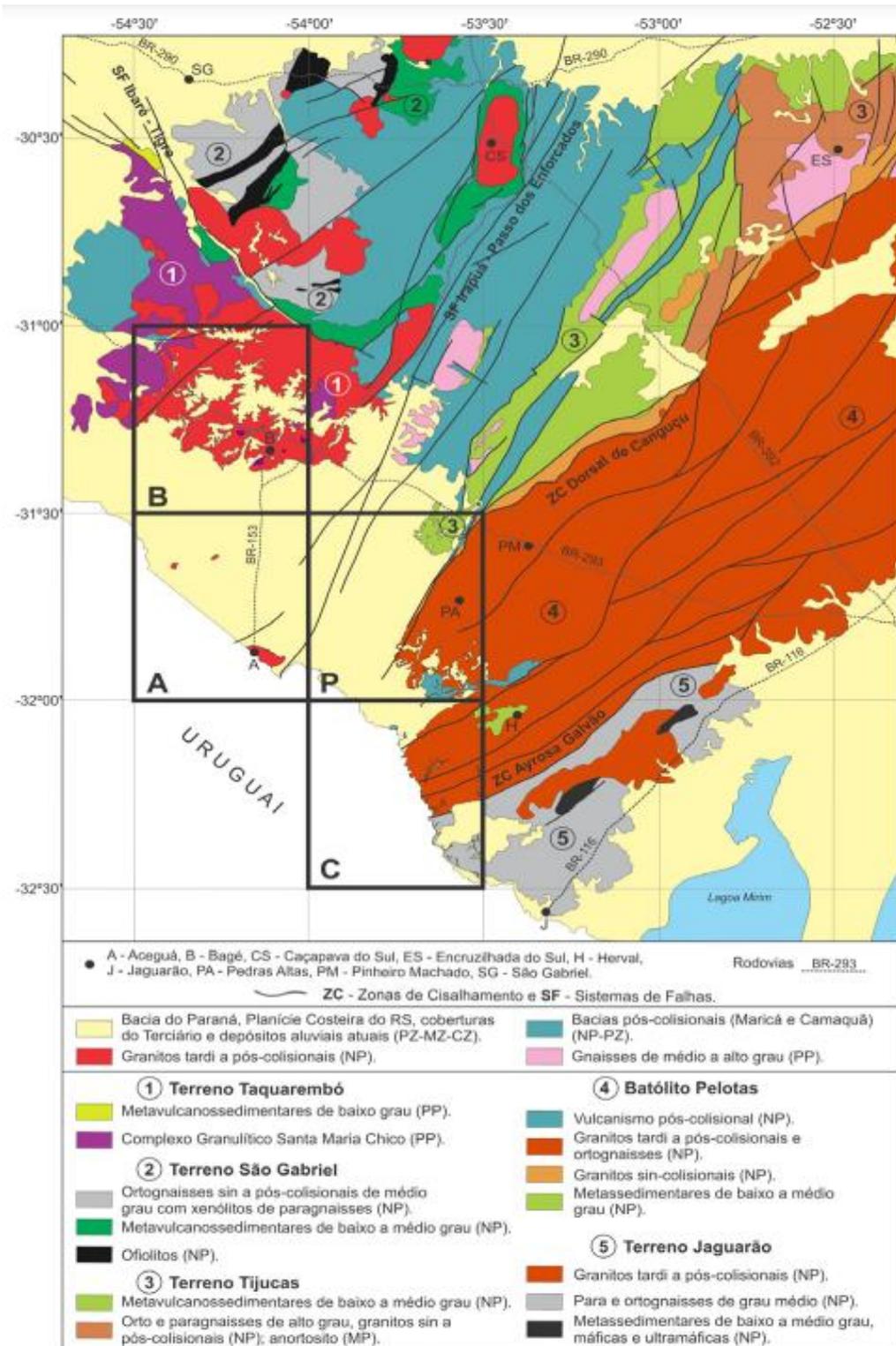
O Terreno Taquarembó (Figura 3), localizado a sudoeste do Escudo Sul-Rio-Grandense, tem como seu principal subdomínio o Complexo Granulítico Santa Maria Chico, com predomínio de granulitos félsicos e máficos, além de metarenitos, metaultramáficas e metassedimentares (NARDI E HARTMAN, 1979). As suítes Santo Afonso, Aceguá, Cerro Preto e Vouthier, e os granitos Saibro e Dom Pedrito, ocupam áreas significativas do Terreno Taquarembó.

O Terreno São Gabriel é recoberto a norte e oeste pela Bacia do Paraná. As unidades do Terreno São Gabriel são constituídas por associações durante o Neoproterozóico caracterizadas por sequências metavulcano-plutono-sedimentares de composição cálcio-alcálica baixo a médio-K, intercaladas com complexos máficos (BABINSKI et al. (1997), LEITE et al.(1998), PHILIPP et al. (2008) e HARTMANN et al. (2011)).

A Bacia do Camaquã, presente nos terrenos referidos é formada por diferentes unidades sedimentares e vulcano-sedimentares, com plutonismo associado (PAIM et al., 2000; ALMEIDA et al., 2008, 2012), aflorando a noroeste de Bagé. Paim et al (2000) propuseram uma subdivisão em cinco alogrupos, sendo eles: Maricá, Bom jardim, Cerro do Bugio, Santa Bárbara e Guaritas.

Segundo Milani (1997), a parte basal da Bacia do Paraná corresponde ao Grupo Itararé constituída por depósitos sedimentares de origem glácio-marinha, e ao Grupo Guatá, de rochas de ambiente deltaico, marinho e litorâneo correspondente a Formação Rio Bonito; e marinhos da Formação Palermo. Na parte superior registra-se às rochas marinhas e transicionais do Grupo Passo Dois. O fim da sedimentação da Bacia do Paraná se restringe apenas ao estado do Rio Grande do Sul e ao norte da República Oriental do Uruguai e é exposta em rochas sedimentares caracterizadas por arenitos e pelitos avermelhados do Grupo Rosário do Sul.

Figura 3 - Contexto tectono-geológico regional com indicação da localização das folhas Bagé (B), Aceguá (A), Passo São Diogo (P) e Curral de Pedras (C).

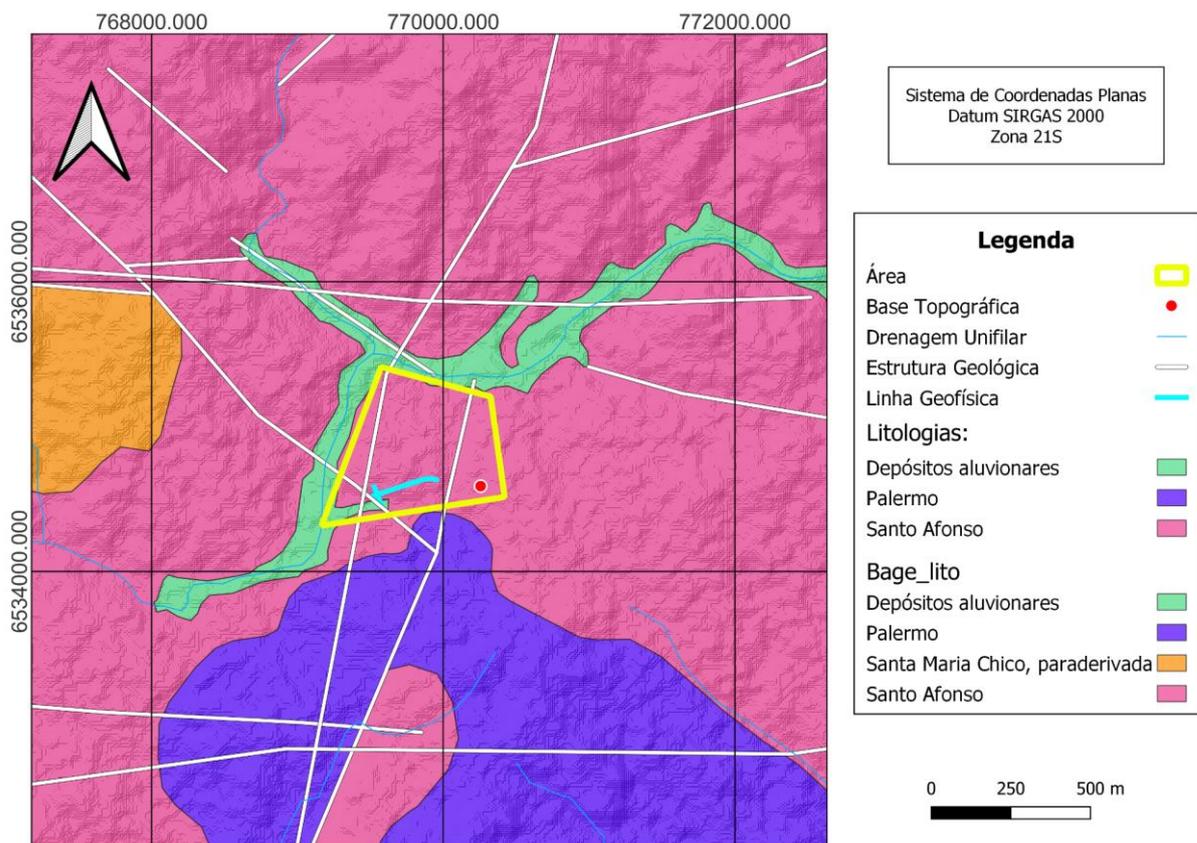


Fonte- Camozzato et. al. (2018).

4.3 Geologia local

Descrito por Hartmann et al. 2007; Camozzato et al. 2012, as rochas da região de Bagé de maneira geral encontram-se, caracterizado por gnaisses do Complexo Granulítico Santa Maria Chico a oeste, pelos granitos da Suíte Santo Afonso na porção central e pelos gnaisses do Complexos Vigia (da região de Hulha Negra) a leste. A área de estudo engloba a região indicada na Figura 4, e está inserida na Suíte Santo Afonso e em depósitos aluviais.

Figura 4 - Mapa geológico local.



Fonte - autora.

Descrita por Hartmann e Nardi (1982) a Suíte Santo Afonso é composta em sua predominância por granitóides de composição monzogranítica de granulação média a grossa ou porfíricos, com menor influência sienogranítica e dioríticos. Os termos sienogranitos aparecem de modo muito subordinado na forma de corpos tabulares, dispostos em diversas orientações e com espessuras em geral, entre 5 e 30 centímetros, podendo atingir até 1 a 2 metros, enquanto os termos dioríticos

constituem pequenos enclaves microdioríticos no interior dos monzogranitos. A estrutura dos granitos é comumente maciça, porém diversas exposições denotam uma foliação de forma definida pela orientação dos megacristais de K-feldspato e de agregados de biotita, Xenólitos de rochas gnáissicas variadas com dimensões quilométricas também são englobadas na suíte.

Os depósitos aluvionais são constituídos por areia fina a grossa e cascalheiras (depósitos de canal); silte a lama (depósitos de planície de inundação).

4.4 Aspectos fisiográficos

4.4.1 Clima

A área de estudo se enquadra no clima temperado subtropical úmido com verão quente ($>22^{\circ}\text{C}$), segundo Moreno (1961), e Kuinchtner e Buriol (2001). A umidade relativa média registra valores de 73% no verão e 83% no inverno, e as médias normais anuais de chuva são superiores a 1.350mm e inferior a 1.650 mm com o predomínio das chuvas nos meses de maio, junho e agosto. A deficiência hídrica ocorre no período de novembro a março.

4.4.2. Geomorfologia

A porção norte de Bagé abrange as regiões geomorfológicas do Planalto Sul-Rio-Grandense enquanto a porção sul compreende nas regiões de Depressão Central Gaúcha, representadas pelas seguintes unidades geomorfológicas, de acordo com os critérios de Justus et al. (1986): setor oeste dos Planaltos Residuais Canguçu-Caçapava do Sul; Planalto Rebaixado Marginal; Depressão Rio Ibiracuí - Rio Negro; e Planície Aluvio-Coluivionar.

A Unidade dos Planaltos Residuais Canguçu- Caçapava do Sul abrange as superfícies mais elevadas da região, com elevação em torno de 400 m , e caracteriza-se por um relevo em forma de colinas. Ocorrem também áreas de topo plano, remanescentes de uma antiga superfície de aplainamento, e compreende o norte de Bagé.

O Planalto Rebaixamento Marginal é uma superfície com altitude variada entre 100 e 200 m e isola os relevos da unidade anterior. A unidade Depressão Rio Ibicuí -

Rio Negro é caracterizada por um relevo em coxilha suave originada pelos processos erosivos em rochas sedimentares Gondwânicas.

As várzeas são amplas áreas de inundação representadas por relevo plano, proveniente de um aporte de sedimentação recente e são aproveitadas para uma agricultura intensiva.

4.4.3 Solos

De acordo com Medaglia (1973), os solos da Campanha, são em sua maioria, solos rasos com espessura variando entre 40 e 50 cm, raramente atingindo 80 cm; as ocorrências de solo mais profundo compreende nas áreas baixas, com espessura de um metro ou mais. Em campos limpos, em sua maioria, os subsolos impermeáveis encontram-se próximos à superfície.

Na porção norte de Bagé predominam solos podzólicos vermelho-amarelos e vermelho-escuros, distróficos e eutróficos; enquanto a porção sul é caracterizada por palonossolos eutróficos, característicos das áreas baixas do modelamento fluvial.

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 Teoria dos métodos e técnicas

5.1.2 Barragens

Barragens são estruturas construídas para conter e armazenar grandes volumes de água, assim como outros materiais líquidos e sólidos. A escolha do tipo de barragem e a dimensão da estrutura a ser construída varia de acordo com a finalidade da construção, o material de empréstimo disponível, as características geológicas e topográficas, assim como a influência do clima local. A seguir são apresentadas os tipos de barragens mais usuais (CAMARERO, 2016).

5.1.3 Barragem de Terra

As barragens de terra são utilizadas, desde os tempos mais remotos, para aprisionar e desviar água. Até meados do século XX, a literatura relata problemas e falhas estruturais nas barragens de terra por serem desenvolvidas por métodos empíricos e técnicas rudimentares (ARHTUR, 1973). Com o avanço da ciência do solo aumentaram consideravelmente a segurança e vida destas estruturas. Apesar do avanço das técnicas modernas, é importante frisar que ainda são relatadas falhas estruturais devido a empreendimentos que não possuem ônus e acesso às metodologias e tecnologias.

As barragens de terra são estruturas compactas que dependem da sua massa para resistir ao deslizamento e tombamento. Tais estruturas são construídas a partir do deslocamento e acúmulo de um material de empréstimo e sucessiva compactação. Por um fato de custo e logística, os materiais de empréstimo são usualmente provenientes do próprio sítio do reservatório ou das proximidades do empreendimento (CAMARERO, 2016).

As barragens de terra podem ser homogêneas ou zoneadas, sendo estas definições descritas a seguir.

5.1.4 Barragem homogênea

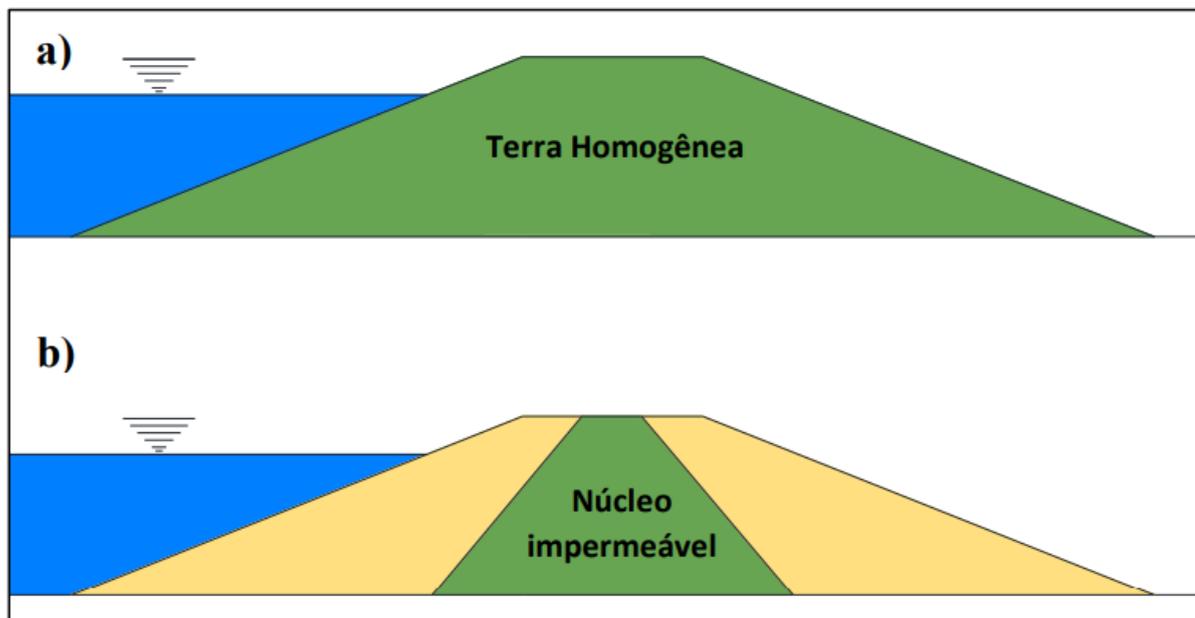
A barragem homogênea é composta basicamente por um único material, excluindo-se a proteção os taludes. O material necessita ser suficientemente impermeável permitindo níveis aceitáveis de percolação. Os taludes a montante e a

jusante, por regra, possuem inclinações diferentes para contemplar o princípio da estabilidade (CAMARERO, 2016).

5.1.5 Barragem zoneada

Esse tipo de barragem é construído com um núcleo central impermeável, coberto por zonas de materiais significativamente mais permeáveis tendo como objetivo suportar e proteger o núcleo (CAMARERO, 2016).

Figura 5- Barragens de terra usuais: a) Barragem de terra homogênea; b) Barragem de terra zoada com o núcleo de material com menos coeficiente de permeabilidade relativo.



Fonte: Camarero, 2016.

5.1.6 Método elétrico

Os métodos elétricos são utilizados na investigação dos parâmetros físicos como a resistividade elétrica, cargabilidade e potencial natural. Alguns desses parâmetros são obtidos através de métodos passivos, e equipamentos bastante simples, que utilizam campos elétricos que ocorrem naturalmente nos materiais geológicos, já outros, requerem métodos ativos, cuja obtenção do parâmetro físico só é possível através da geração de campos potenciais elétricos na subsuperfície do terreno (SHERIFF, 1989; DENTITH & MUDGE, 2014).

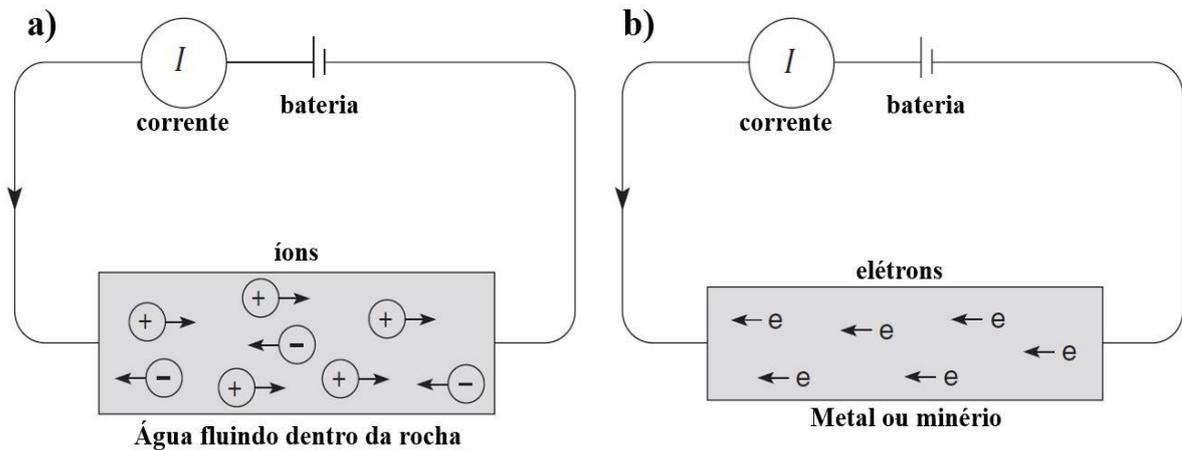
Dessa forma, é possível obter informações quantitativas das propriedades condutoras da subsuperfícies de uma área, possibilitando a determinação aproximada da distribuição vertical e horizontal da sua resistividade elétrica (FIGUEROLA,1974; TELFORD et al.,1990; MUSSETT & KHAN 2000).

Dentre os métodos elétricos destacam-se o método do Potencial Espontâneo (SP), o método da Eletrorresistividade (ER) e o método da Polarização Induzida (IP) (LOWRIE, 2007). No presente trabalho será abordado o método da Eletrorresistividade, cuja escolha se deu por serem métodos amplamente utilizados para a investigação de camadas ou estruturas verticalizadas, como diques, falhas e fraturas, que apresentam grande contraste de resistividade com as rochas encaixantes.

5.1.6.1 Condução de corrente elétrica e resistividade dos materiais

O método da Eletrorresistividade (ER) está embasado na determinação da resistividade elétrica. A resistividade, por sua vez, é uma das mais variadas propriedades físicas, pois a propagação de correntes elétricas nas rochas ocorre de três maneiras, de forma eletrônica, eletrolítica e condução dielétrica (Figura 6). A corrente eletrônica é o fluxo de corrente normal, que ocorre em materiais que contém elétrons livres. Na eletrolítica, a corrente é transportada por íons a uma taxa relativamente lenta e por último, a corrente dielétrica ocorre em materiais pouco condutores ou isolantes (LOWRIE, 2007). Nas rochas e solos, os processos de condução predominantes no condicionamento da resistividade são condutividade eletrolítica e eletrônica. O seu estudo permite a caracterização de seus estados, em termos de alteração, fraturamento, saturação e até mesmo a identificação litológica.

Figura 6 - Formas de condução de corrente elétrica nas rochas: a) eletrolítica (ou iônica) e b) eletrônica.



Fonte - MUSSET; KHAN (2000).

A maioria dos minerais formadores de rochas é isolante, e a corrente elétrica é conduzida através de uma rocha principalmente pela passagem de íons nas águas dos poros. Dessa forma, a maior parte das rochas conduz a eletricidade por processos eletrolíticos mais que por processos eletrônicos. Portanto, a porosidade é o principal controle da resistividade de rochas, que geralmente aumenta com a diminuição da porosidade. Nas rochas cristalinas essa porosidade está representada por fissuras de zonas de fraturas (KEARY et al, 2002).

Esse método estuda a resistividade elétrica das rochas, através de correntes elétricas geradas artificialmente, que são introduzidas no solo e as diferenças de potencial geradas são medidas em pontos da superfície (KEARY et al, 2002).

A resistividade elétrica é a capacidade que um corpo tem de opor-se à passagem de corrente elétrica, e varia conforme o comprimento, largura e a natureza do material do condutor, além da temperatura a que ele é submetido. Esses fatores são relacionados por uma equação conhecida como Segunda Lei de Ohm:

$$R = \frac{\rho l}{A} \quad \text{EQ.1}$$

Onde R é a resistência elétrica do condutor; ρ é a resistividade; l é o comprimento do condutor; e A é a área de seção transversal do condutor. A unidade de medida da resistência elétrica no Sistema Internacional de Unidade (S.I) é o Ohm (Ω), que representa a razão volt/Ampere.

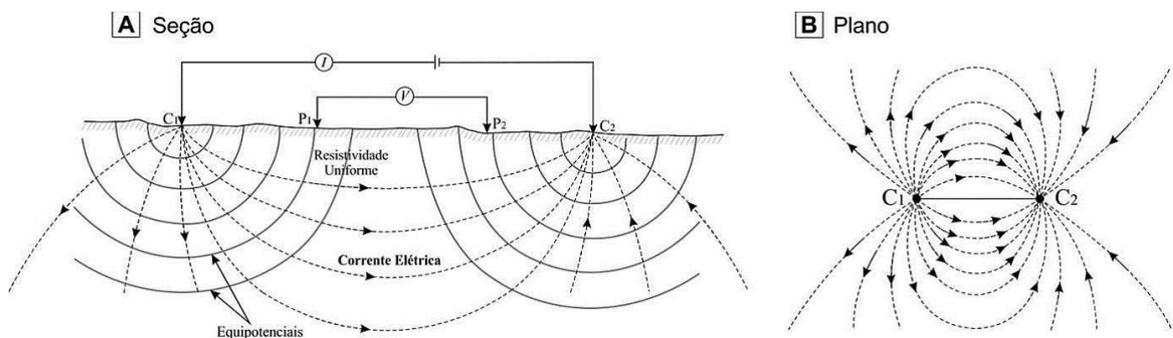
Partindo da equação da Segunda lei de Ohm, é possível calcular a resistividade do material segundo a resistência de medida, da seguinte forma:

$$\rho = \frac{RA}{l} \quad \text{EQ.2}$$

Tendo como unidade de medida o Ωm .

A corrente elétrica no meio físico é determinada a partir da diferença de potencial entre duas extremidades. Em um modelo de subsuperfície homogêneo e isotrópico, o potencial elétrico diminui radialmente conforme a distância da fonte pontual, de modo a construir superfícies semi esféricas concêntricas com o mesmo valor e potencial. As linhas de fluxo de carga elétrica são ajustadas em direções perpendiculares às superfícies equipotenciais, no sentido do maior para o menor potencial elétrico (ROBINSON,1988), conforme a Figura 7.

Figura 7- Distribuição das linhas equipotenciais e corrente elétrica em modelo de subsuperfície homogêneo e isotrópico, visto em perfil (A) e em planta (B).



Fonte: MUSSET; KHAN, 2000.

Em uma situação ideal, onde o meio estudado é homogêneo e isotrópico, o valor de resistividade obtido corresponderá à resistividade verdadeira do meio. Portanto, o meio geológico raramente apresenta homogeneidade, a predominância é de materiais heterogêneos e anisotrópicos e, dessa forma, apresentam resistências contrastantes que podem causar perturbações na propagação da corrente elétrica (BORSSATTO, K. 2018).

Nesse cenário, os valores medidos não representam a distribuição real das resistividades, mas um conjunto da interferência dessa propriedade dos diversos componentes geológicos do meio subsuperficial. O parâmetro obtido em função das heterogeneidades intrínsecas do meio geológico representa uma média ponderada das resistividades de cada um dos materiais presentes entre as equipotenciais medidas (DENTITH; MUDGE, 2014). Esse parâmetro é titulado de resistividade aparente (ρ_a), podendo ser calculado pela equação:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{i} \quad \text{EQ.3}$$

Onde ΔV representa a diferença de potencial (ddp) medida, e K é o fator geométrico. Esse fator dependerá da disposição geométrica dos eletrodos de corrente (C1 e C2) e de potencial (P1 e P2), ou seja, depende de como o conjunto de eletrodos será arranjado. Esse fator pode ser obtido por:

$$K = 2\pi \left(\frac{1}{C_1P_1} - \frac{1}{C_2P_1} - \frac{1}{C_1P_2} + \frac{1}{C_2P_2} \right)^{-1} \quad \text{EQ.4}$$

As resultantes de potencial elétrico em cada eletrodo de potencial (P1 e P2) utilizadas para calcular a ddp são obtidas em função da distância dos eletrodos de potencial em relação aos eletrodos de corrente C1 e C2, conforme a posição da superfície equipotencial em que estejam. Já o fator K, relaciona todas as posições relativas dos eletrodos à resultante de ddp final nos eletrodos de potencial P1 e P2, que será convertida em resistividade elétrica na equação 3 apresentada anteriormente.

Em solos e rochas, a corrente é propagada pelos mecanismos caracterizados por sua condutividade σ , que numericamente pode ser expressa como o inverso da resistividade (HALLIDAY et al., 1993).

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{l}{RA} = \frac{\left(\frac{i}{A}\right)}{\left(\frac{V}{l}\right)} = \frac{J}{E}$$

EQ.5

Sendo que J é a densidade de corrente (A/m²) e E representa o campo elétrico (V/m).

5.1.6.2 Técnica de campo e arranjo

As técnicas de campo representam os procedimentos práticos utilizados para a obtenção do parâmetro físico desejado. Para ensaios geofísicos de eletrorresistividade existem três principais técnicas de investigação que podem ser utilizadas, a ser: sondagem elétrica vertical (SEV), perfilagem e tomografia elétrica.

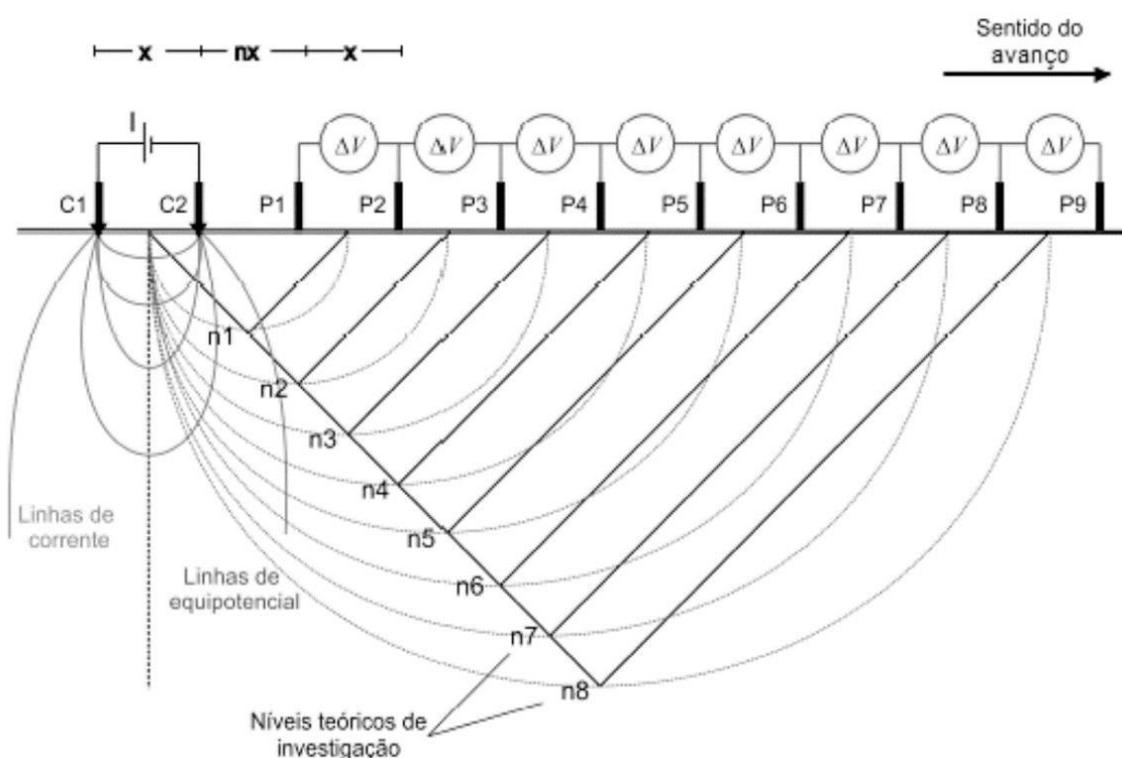
Em campo, estas técnicas apresentam como diferença básica o procedimento para obtenção do parâmetro, haja visto que os eletrodos podem ser dispostos na superfície do terreno (sondagem e tomografia elétrica) ou no interior de furos de sondagens (perfilagem). A escolha de uma técnica específica dependerá principalmente do objetivo da pesquisa, ou seja, de como se deseja avaliar as variações do parâmetro físico, verticalmente ou lateralmente (LIMA et. al., 2019).

A técnica escolhida a ser aplicada é um método de aquisição automatizado, programável e de alta resolução quando comparado aos métodos elétricos convencionais. Sua semelhança na aplicação dos métodos também permite que as medidas sejam realizadas concomitantes. Os levantamentos consistem basicamente em um par de eletrodos de corrente (C1 e C2) e outro de potencial (P1 e P2), espaçados regularmente. No caso de pesquisas bidimensionais, os eletrodos são arranjados linearmente e para investigações tridimensionais uma malha de linhas sequenciais é levantada (LOWRIE, 2007).

Os principais arranjos de eletrodos utilizados para levantamentos elétricos são Wenner-Shlumberger e Dipolo-Dipolo. Portanto, será aplicado no presente trabalho o arranjo Dipolo-Dipolo, uma vez que apresenta uma boa resolução lateral e oferece um bom desempenho no mapeamento de estruturas verticais.

O espaçamento (x) entre C1-C2 é igual a P1-P2 e é mantido constantemente durante todo o levantamento. A diferença desta configuração está no posicionamento dos eletrodos, pois os eletrodos de corrente são posicionados lado a lado aos de potencial, porém não entre eles. O avanço do arranjo é realizado com o afastamento (nx) do par de eletrodos P1-P2 a cada medida (Figura 8), para investigar níveis de profundidade de investigação. A profundidade alcançada é estimada como $nx/2$ (LOWRIE, 2007). Nesse arranjo, o ponto medido é estimado a partir 45° do centro de cada par de eletrodos.

Figura 8 - Esquema arranjo Dipolo-Dipolo.



Fonte: adaptado de KEARY, et al. 2002.

A principal vantagem do arranjo simétrico, é o fato que possibilita uma interpretação qualitativa da seção transversal, e em termos práticos, a facilidade operacional em campo. Outra vantagem do arranjo Dipolo-Dipolo é sua alta resolução para levantamentos bidimensionais e sua principal desvantagem é a sua baixa razão sinal/ruído (GANDONFO; GALLAS,2007).

5.1.6.3 Fatores que influenciam os resultados da eletrorresistividade

O método de eletrorresistividade é influenciado diretamente por fatores geológicos, uma vez que a propagação elétrica em solos e rochas, em geral, é dissipado por poros e/ou interstícios da matriz rochosa. Sendo os principais fatores geológicos a mineralogia e a própria natureza do material, a porosidade da rocha/solo e o grau de saturação da mesma, visto que a água contribui na condutividade da corrente elétrica (McNEILL, 1980).

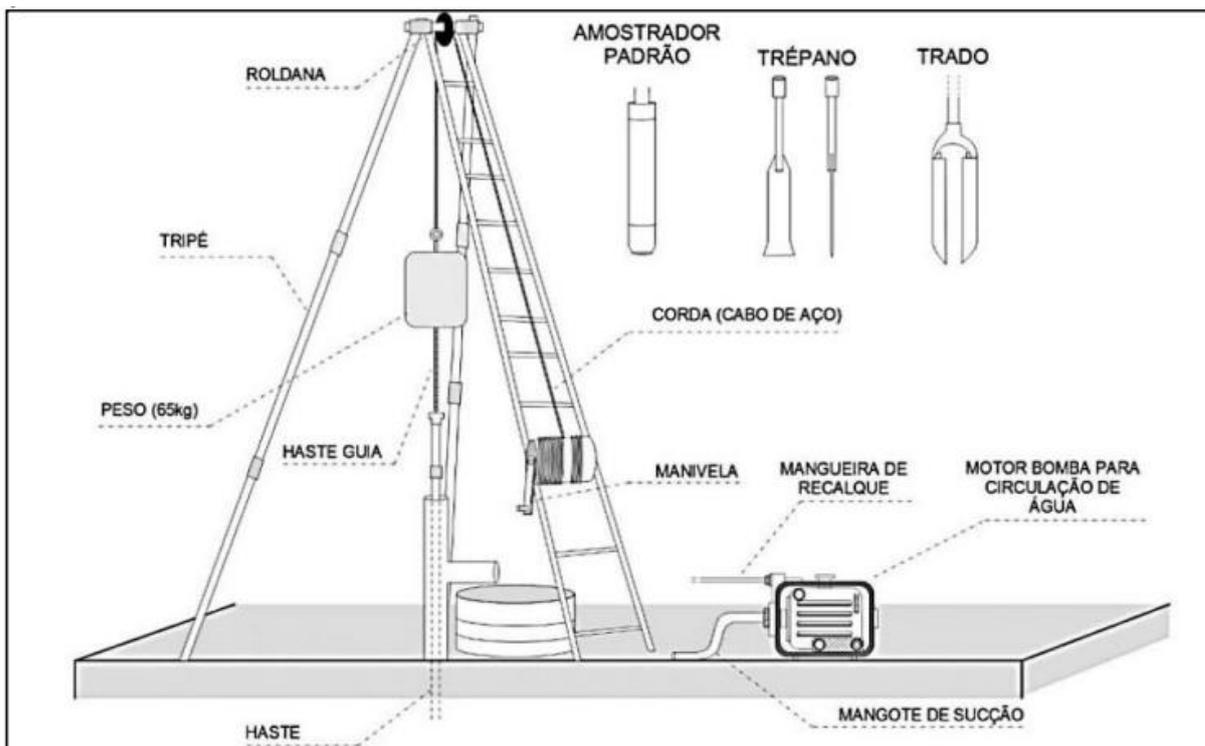
As linhas de fluxos de corrente tendem a acompanhar a superfície do terreno, portanto a topografia também é um fator que pode influenciar os levantamentos elétricos. Em vista disso, as superfícies equipotenciais são distorcidas e podem resultar em leituras anômalas (KEAREY; BROOKS; HILL, 2009). É necessário fazer interpretações geofísicas e geológicas pelo fato da eletrorresistividade apresentar interpretações ambíguas, além de apresentar resultados não confiáveis quando estruturas complexas. Por isso, é comumente utilizado outros métodos geofísicos e geotécnicos para acuracidade dos resultados.

5.1.7 Investigação geotécnica

As investigações geotécnicas podem ser definidas como métodos para o conhecimento das condições de um subsolo em um determinado local. O atual trabalho obteve os dados do furo de sondagem SPT realizados pela empresa SS sondagens. A sondagem SPT, por sua vez, trata-se de uma investigação de campo de rápida execução e determinação dos resultados, com alto potencial de repetição e avaliação em grande área com baixo custo (SILVA, 2015). Este método tem como objetivo a determinação dos tipos de solo em suas respectivas profundidades de ocorrência, a posição do nível de água e os índices de resistência à penetração a cada metro (ABNT, 2001).

Cavalcante (2002) menciona inúmeras falhas na investigação SPT. Fatores como o desequilíbrio hidrostático, tipo de martelo, altura da queda do martelo, frequência dos golpes, tipo e o estado de conservação das hastes, erros de contagem, medidas e anotações, dentre outras, são responsáveis por essas falhas na investigação.

Figura 9 – Esquema geral e equipamentos utilizados durante o ensaio à percussão SPT.



Fonte - HIGASHI (2016), apud THIESEN (2016).

5.2 Trabalho anterior aplicado

Bortolozzo (2017) aplica o método geofísico de Eletrorresistividade por meio da técnica de Tomografia Elétrica em arranjos Dipolo-Dipolo, Schlumberger e Wenner, com o objetivo a um reconhecimento de estruturas de um aquífero fraturado na região de Caçapava do Sul (RS). Os resultados obtidos possibilitaram o modelamento de inversão 2D de uma superfície de baixa resistividade, sendo relacionada a uma família de fraturas saturadas. Ainda foi realizado pelo autor os modelos 3D e modelos 3D de isosuperfície, através de interpolação dos dados dos modelos de inversão e por meio de filtragem de valores de baixa resistividade, respectivamente. Reduzindo assim incertezas a definir alvos em potencial.

6 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi separado em três etapas principais: Pré-Campo; Campo; e Pós-Campo. Tais etapas são detalhadas neste capítulo, tal como os materiais e métodos utilizados.

6.1 Etapa Pré-Campo

Esta etapa consistiu na revisão bibliográfica embasando uma fundamentação teórica do presente trabalho e na coleção de dados a partir de sensoriamento remoto. A etapa Pré-Campo é caracterizada por reunir informações através de livros, artigos e trabalhos publicados, auxiliando na compreensão e contextualização da metodologia e geologia regional e local da área de estudo.

Estas informações colecionadas através de dados da CPRM, IBGE, além das revisões bibliográficas e imagens baixadas do site Alaska Satellite Facility, são responsáveis pela produção de mapas no Qgis, auxiliando na escolha dos métodos aplicados, assim como a contextualização do trabalho.

6.2 Etapa de Campo

A etapa de campo foi concluída nos dias 9 e 10 de novembro de 2022 e consistiu na realização de 2 perfis geofísicos de Eletrorresistividade (ER) em locais pré definidos pela empresa Souza Floriano Engenharia Diferenciada.

6.2.3 Aquisição de dados

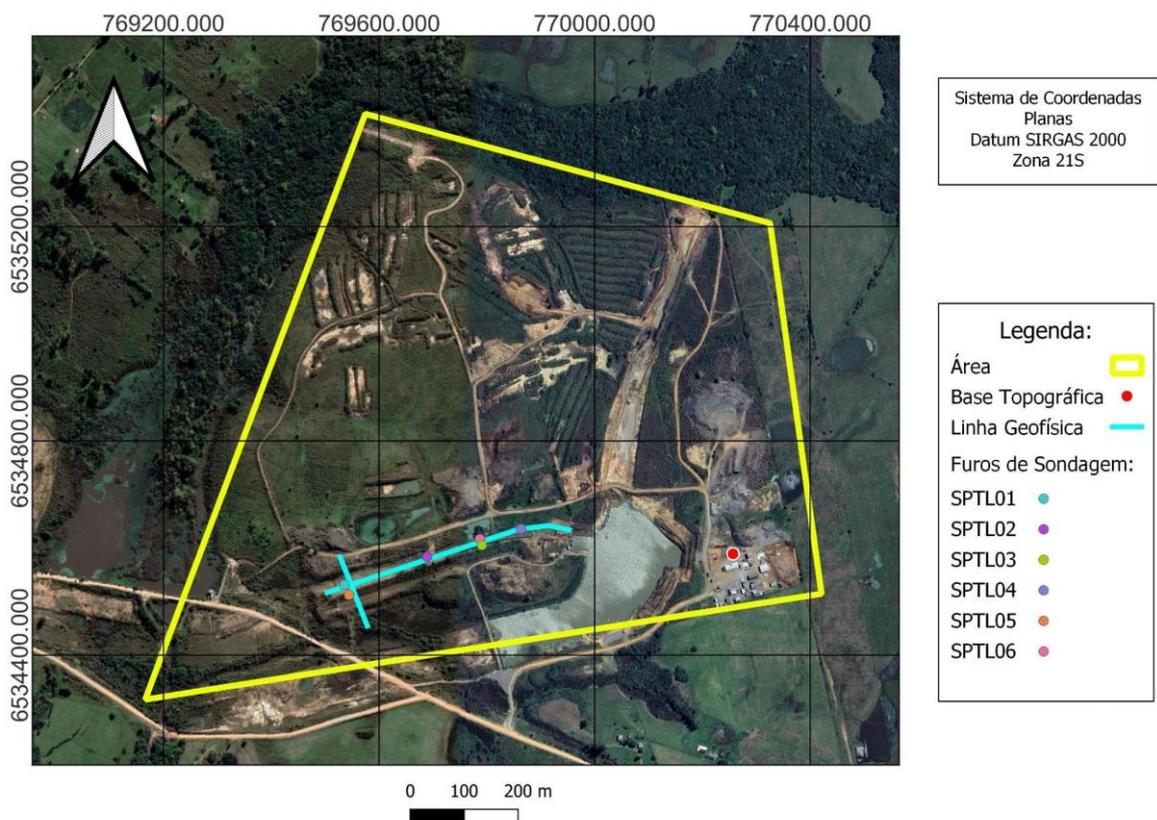
O planejamento do levantamento geofísico abordado foi dado através da importância do projeto de construção da Barragem Arvorezinha. Na barragem em questão, haviam corpos de barragem com construções duvidosas realizadas pela empresa anterior responsável. Sendo necessário para os atuais responsáveis pelo projeto, a reconstrução das mesmas. Por essa razão, foi solicitado pela empresa Souza Floriano Engenharia Diferenciada a realização do levantamento geofísico no corpo de barragem de pouca informação sobre sua construção, material e seu núcleo.

O levantamento geofísico foi realizado através de um perfil transversal com 142 metros de extensão e um perfil longitudinal com 466 metros de comprimento, ambos utilizando o espaçamento de 2 metros entre os eletrodos. A Figura 10 denota a

localização das linhas geofísicas, assim como os pontos de sondagem realizados pela empresa SS Sondagens.

O equipamento utilizado na aquisição de dados foi o Syscal Pro Switch (IRIS INSTRUMENTS, 2006), disponibilizado pela UNIPAMPA. Este equipamento é capaz de realizar, de forma simultânea, os ensaios de Potencial Espontâneo (SP), Eletrorresistividade (ER) e Polarização Induzida (IP), através de ciclos periódicos de corrente alternada de baixa frequência, procedimento que permite a filtragem de ruídos durante a aquisição (IRIS INSTRUMENTS, 2006).

Figura 10 - Localização das linhas de imageamento.



Fonte - Autora.

6.3 Etapa Pós-Campo

A etapa final consistiu na compilação dos dados obtidos em campo e confecção de mapas e perfis, além da integração com os dados de furo de sondagem SPT.

6.3.4 Processamento de dados

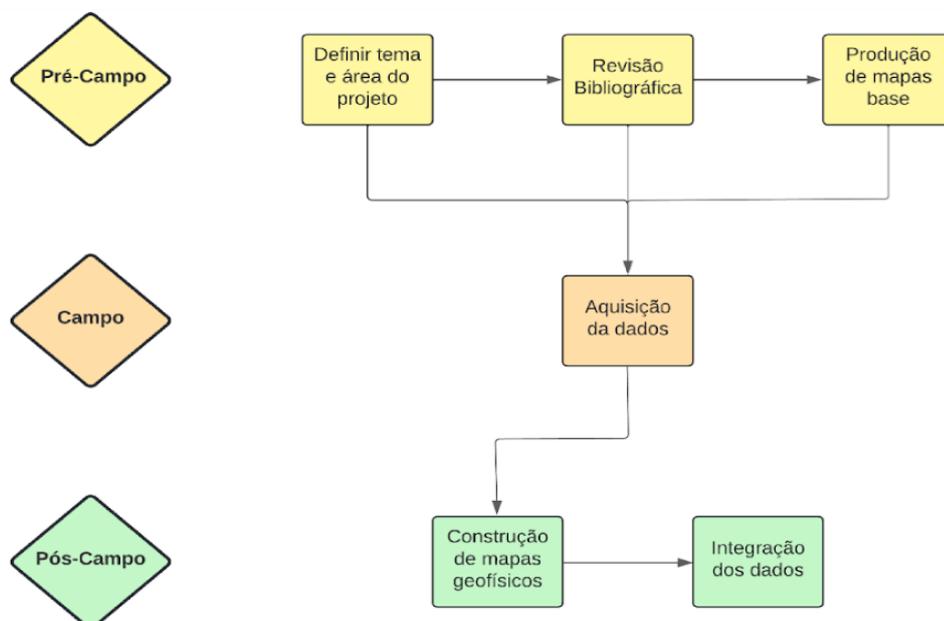
A tomografia elétrica resulta em modelagem bidimensional da superfície, onde são consideradas as mudanças do parâmetro verticalmente e lateralmente. Os resultados podem ser apresentados como mapas planos, a uma ou mais profundidades, ou em seções transversais (pseudo-seção).

Os dados extraídos do equipamento representam uma pseudo-seção de resistividade aparente. Esses dados gerados passam por uma série de filtros e processamentos para que possam de fato representar o mais próximo possível do diagnóstico local real. O modelo de inversão 2D será realizado pelo software Res2dinv (Geotomo Software). A integração dos dados obtidos através da eletrorresistividade com os dados de furo de sondagem serão processados no software Surfer.

6.4 Delineamento metodológico

O fluxograma, apresentado pela Figura 11, esquematiza e sumariza as etapas do projeto, assim como evidencia a ordem dos acontecimentos e o delineamento metodológico.

Figura 11 - Fluxograma das etapas do projeto.



Fonte: Autora.

7 RESULTADOS

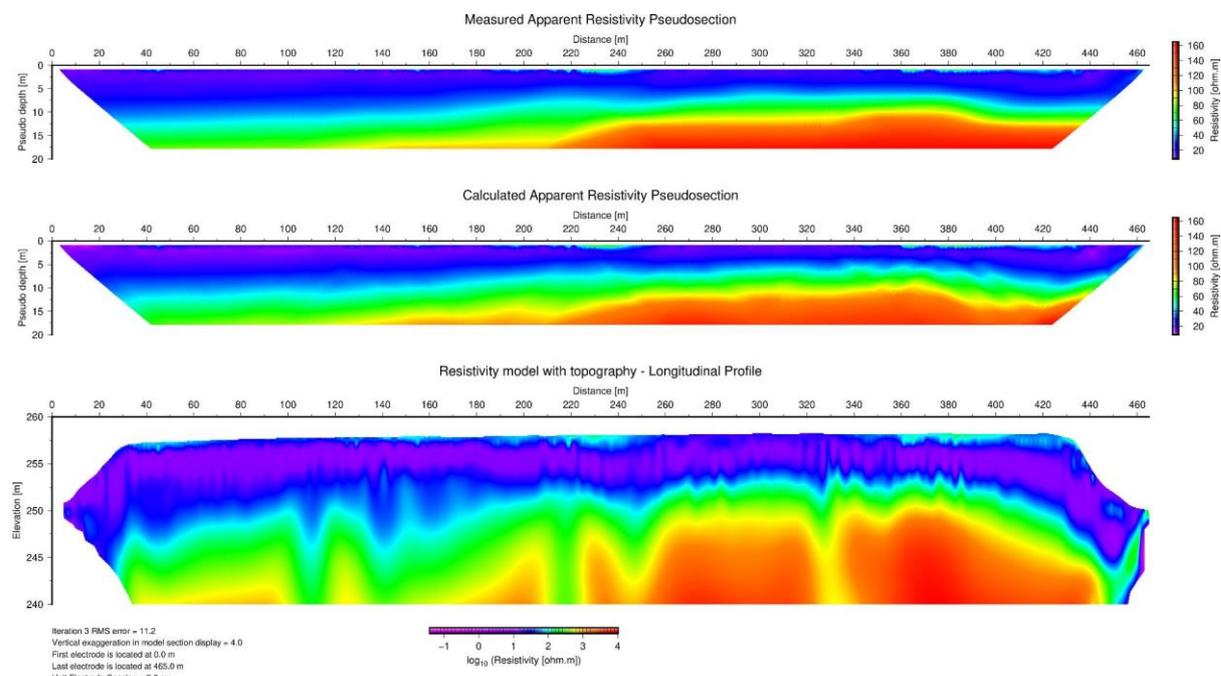
7.1 Ensaios geofísicos

As investigações geofísicas a partir da técnica de caminhamento elétrico com arranjo dipolo-dipolo possibilitaram a visualização bidimensional de materiais e estruturas contidas na área de estudo à uma profundidade de investigação de 20 metros.

Na generalidade, os dados obtidos apresentam boa qualidade, com valores de resistividade aparente variando de 10 a 160 ohm.m., e de 40 a 450 ohm.m nos perfis longitudinal e transversal, respectivamente. Os modelos alcançados a partir do processo de inversão exibiram bons ajustes, apresentando os valores de *RMS misfit* relativamente baixos, em torno de 15%.

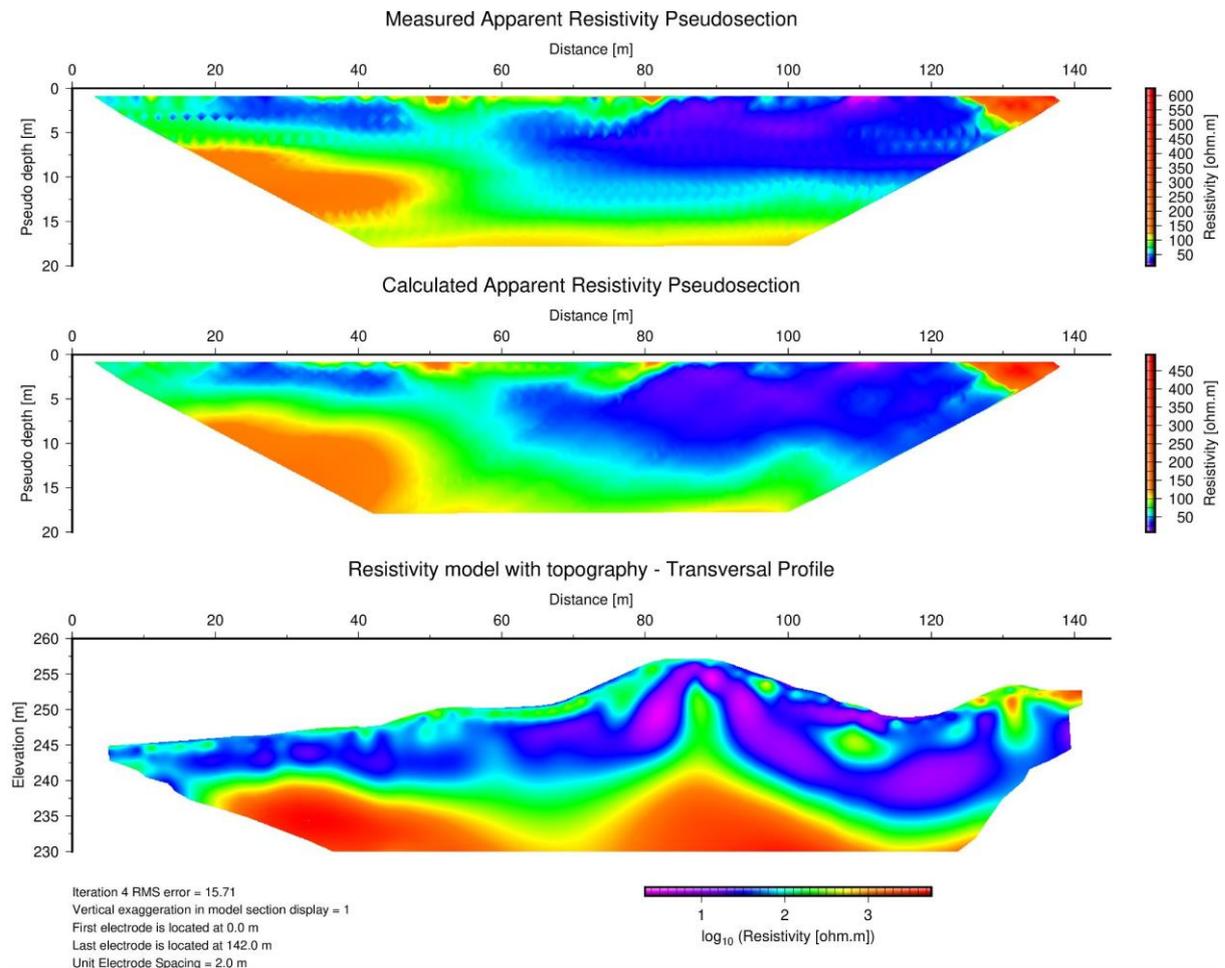
As figuras Figura 12 e Figura 13 apresentam as seções de resistividade elétrica realizadas através do levantamento geofísico ao longo dos perfis longitudinal e transversal.

Figura 12 - Pseudoseções de resistividade aparente real e calculada e modelo de resistividade local do perfil longitudinal.



Fonte – Autora.

Figura 13 - Pseudoseções de resistividade aparente real e calculada e modelo de resistividade local do perfil transversal.



Fonte – Autora.

7.2 Ensaios de SPT

Os ensaios de SPT foram realizados pela empresa SS Sondagens, nos mesmos dias em que a equipe técnica da Unipampa estivera presente. Os furos de sondagem SP-L01, SP-L02, SP-L04, SP-L06 foram executados ao longo da linha geofísica longitudinal e os SP-L03 e SP-L05 foram realizados na base do talude da barragem estudada, como já demonstrado na Figura 10.

O furo de sondagem SP-L01 obteve profundidade de penetração de 14,70 metros, apresentando composição do aterro argilo-silto-arenoso de cor variada com presença de quartzo e consistência rija a dura até a profundidade de 14,20 metros, tendo seus últimos 50 centímetros de composição da alteração de granito (areia-silto-

argilosa), finalizando a perfuração na profundidade 14,70 quando encontrado o cristalino.

A sondagem SP-L02 atingiu a profundidade de de 8,35 metros e constatou a presença de três litologias distintas. Até a profundidade de 7,80 metros investigou-se a presença do aterro argilo-silto-arenoso de cor variada e presença de quartzo com consistência média à dura. Nos 55 centímetros restantes foi detectado um material de alteração de granito (areia-silto-argilosa) de cor variada e compacto, atingindo o cristalino ou matação na profundidade 8,35 metros.

A sondagem SP-L03 atingiu baixa profundidade de 2,80 metros, detectando 3 camadas distintas até encontrar o cristalino. Na profundidade de 1,10 foi descrita a presença do aterro de alteração de granito (areia-silto-argilosa) de cor variegada e compacto, migrando para um material de areia grossa de cor cinza e consistência dura até a profundidade de 2,20 metros. Os 60 centímetros finais é composto de alteração granítica (areia-silto-argilosa) de cor variada e compacta

O furo de sondagem SP-L04 alcançou a profundidade de 8,60 metros e identificou somente uma camada, sendo essa o aterro argilo-silto-arenoso de cor variegada com presença de quartzo e consistência rija à dura.

A SP-L05 reconheceu o aterro argilo-siltoso de cor variada com presença de quartzo e fragmentos de granito de consistência rija à dura nos primeiros 3,05 metros, mudando para uma composição de areia grossa de cor cinza de consistência dura até a profundidade de 3,60 metros, e um material de alteração granítica de cor variegada e compacta nos últimos 1,20 metros até o fim da sondagem quando encontra o cristalino.

A sondagem SP-L06 distinguiu duas camadas em uma profundidade de 7,45 metros até o encontro do impenetrável. Sendo o aterro argilo-siltoso de cor variegada com quartzo e consistência rija e dura descrita até a profundidade 7,05 metros e a alteração de granito (areia-silto-argilosa) de cor variada e compacta caracterizada nos últimos 40 centímetros.

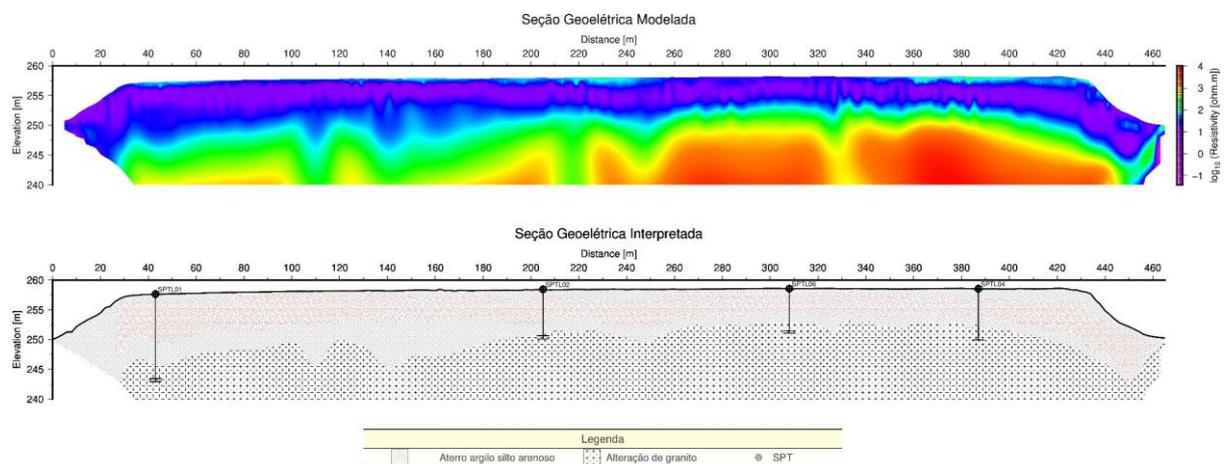
Os furos de sondagem SP-L07 E SP-L08 obtiveram uma penetração de 5,40 e 4,95 metros, respectivamente, e detectaram somente uma camada até o impenetrável ao SPT, sendo ela o aterro de alteração de granito (areia-silto-argilosa) de cor variegada e compacto.

Os dados do furo de sondagem SPT disponibilizados possibilitou uma melhor análise e interpretação estratigráfica e estruturas dos materiais, sendo possível uma integração e delimitação dos limites litológicos.

7.3 Discussão dos resultados

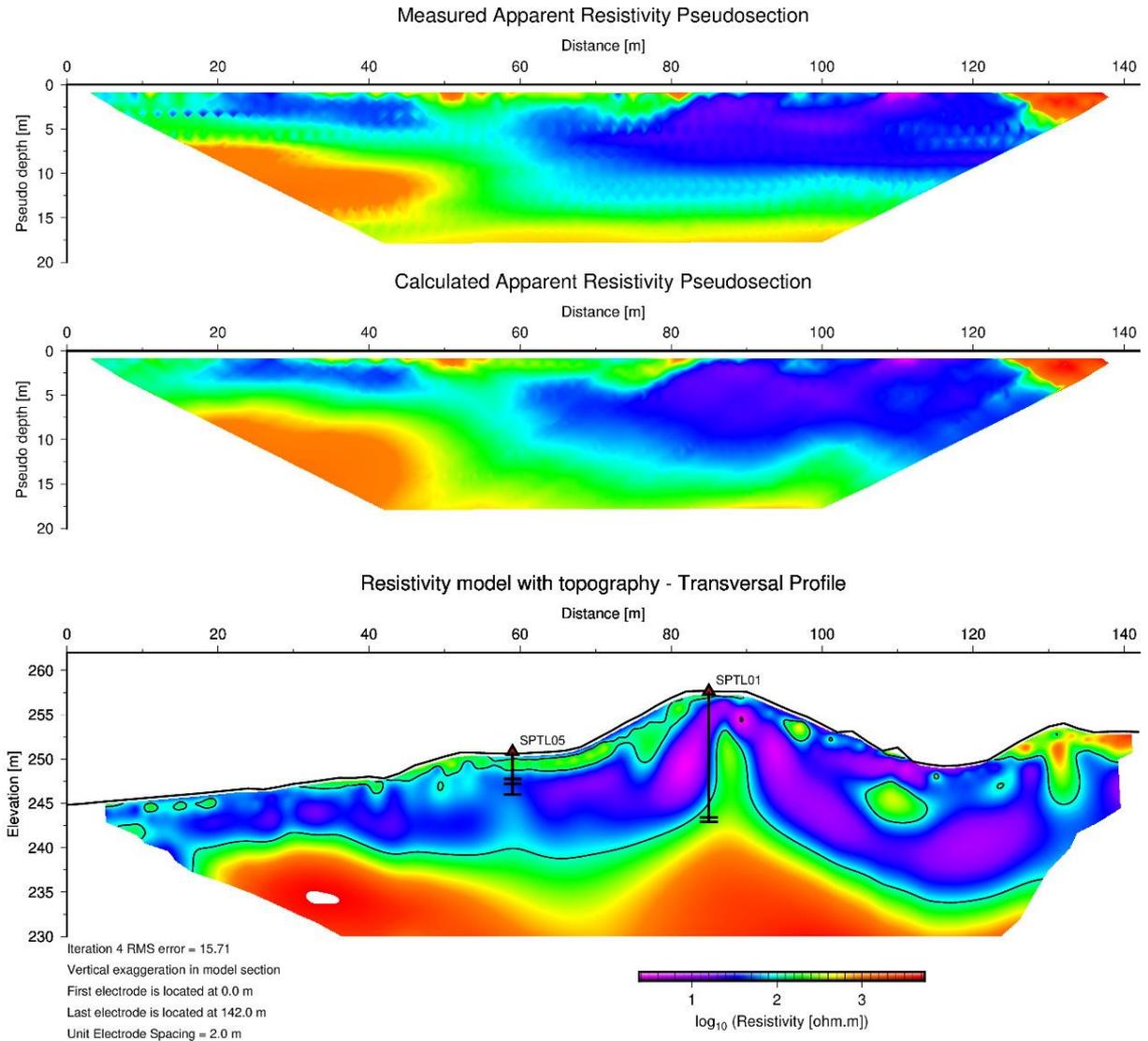
Com base nos modelo de resistividade do perfil longitudinal e transversal, correlacionado com as sondagens realizadas ao longo do perfil geofísico, pode-se inferir a seção geolétrica interpretada conforme apresentado na Figura 14 e Figura 15, respectivamente.

Figura 14 - Seção geolétrica de eletrorresistividade e seção interpretada com base nas informações do modelo e sondagens SPT.



Fonte- Autora.

Figura 15 - Seção geoeletrica de eletrresistividade e seção interpretada com base nas informações do modelo e sondagens SPT.



Fonte- Autora.

A seção longitudinal apresentou variações laterais predominantemente homogêneo, fornecendo boa resolução e passíveis a interpretações. Integrando o perfil geoeletrico com os dados do furo de sondagem SPT foi possível determinar os limites litológicos. Observa-se que o contorno de baixa resistividade com valores de 100 ohm.m, representado por regiões em tons de azul e roxo, está concordante com o limite descrito nos furos de sondagem SP-L01, SP-L02, SP-L04 e SP-L06, como aterro argilo-silto-arenosa, delimitados a uma profundidade mínima e máxima de 7,05

Através dos resultados do levantamento geofísico do perfil longitudinal e das descrições dos furos de sondagens foi possível diagnosticar as possíveis condições do corpo de barragem estudada. Comparando com o modelo de corpo de barragem ideal do projeto da Barragem Arvorezinha (Figura 16), é plausível concluir que o aterro argilo-silto-arenoso representado em tons de azul e roxo, caracterizam o núcleo da barragem, enquanto os limites de areia-silto-argilosa simbolizado em tons de verde e amarelo, caracterizam o solo residual que recobre o corpo de barragem. As resistividades altas representadas por tons em amarelo e vermelho corresponde ao embasamento cristalino.

Porem a geometria com contorno de resistividade entre 100 e 1000 ohm.m (tons verde e amarelo) denotado no centro no perfil transversal, induz a interpretação de que a geometria da anomalia corresponde a geometria do corpo do núcleo da barragem.

Embora as duas seções apresentam uma alta correspondência entre elas em valores de resistividade e correlação com os SPTS existe uma aparente ambiguidade na interpretação no que foi definido como o valor de resistividade representativa do núcleo.

Devido uma ambiguidade na interpretação, proponha-se a repetição de aquisições geofísicas transversais ao longo da barragem ou a coleta de dados através do furo de sondagem SPT posicionado na orientação da anomalia geométrica evidente no perfil transversal. Aquisições por intermédio do método eletromagnético GPR, também podem diminuir a aparente ambiguidade da interpretação.

8 Considerações finais

Este trabalho atingiu a expectativa principal diante ao reconhecimento e caracterização do meio em subsuperfície de um corpo de barragem arvorezinha, no município de Bagé (RS).

Para a conclusão do objetivo foram realizadas aquisições geofísicas por meio do método de eletrorresistividade no corpo de barragem; processamento dos dados dispostos em mapas e perfis geofísicos, assim como a caracterização e interpretação geológica e geoestrutural da subsuperfície.

Os dados do furo de sondagem SPT disponibilizados possibilitou uma melhor análise e interpretação estratigráfica e estruturas dos materiais, sendo possível uma integração e delimitação dos limites litológicos.

Proponha-se para a aparente ambiguidade na interpretação uma repetição de aquisições geofísicas transversais ao longo do corpo de barragem ou a coleta de dados através do furo de sondagem SPT na orientação da anomalia geométrica denotada no perfil transversal. Além destas, aquisições através do método eletromagnético GPR, podem proporcionar a acuracidade na interpretação.

A partir da execução e dos ensaios geofísicos e da excelente correlação com os dados do SPTS, foi possível demonstrar que a integração de dados geofísicos, geológicos e geotécnicos, é uma ferramenta indispensável na solução de problemas de engenharia e infraestrutura, em especial na aplicação em projetos de barragens de terra, como exemplo, a caracterização litologia e estrutural do maciço, infiltrações e na análise de estabilidade de taludes.

9 REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6484: Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2001.

ALMEIDA, F. F. M.de et al. Províncias estruturais brasileiras. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8., 1977, Campina Grande. Atas... Campina Grande: SBG, 1977. p.363-391.

ALMEIDA, D. del P. M.; CHEMALE JÚNIOR, F.; MACHADO, A. Late to Post-Orogenic Brasiliano-PanAfrican Volcano-Sedimentary Basins in the Dom Feliciano Belt, Southernmost Brazil. In: AL-JUBOURY, A. I. (Ed.) Petrology: new perspectives and applications. s.l.: InTech, 2012. p. 73-105.

ALMEIDA, D. del P.M. et al. Isotopic Signature of the Acampamento Velho and Rodeio Velho Volcanic Successions from the Camaquã Basin, southern Brazil. In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 6, 2008, Bariloche, Argentina. Resumos...Buenos Aires: SEGEMAR, 2008. p. 491-494.

ARTHUR, H. G. **Design of small dams**. 2. Ed. A Water Resoucers Technical Publication – United States Department of the Interior Bureau of Reclametion.1973.

BABINSKI, M. et al. U-Pb and Sm-Nd geochronology of the Neoproterozoic Granitic-Gneissic Dom Feliciano Belt, Southern Brazil. Journal of South American Earth Sciences, v. 10, n. 3-4, p. 263-274, 1997.

BORSSATTO, Karolliny. Instituto de Geociências Exatas Campus de Rio Claro. Prospecção geofísica de depósitos de ouro filoniano na região de Cerrito do Ouro, São Sepé-RS (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, [S. l.], 2018.

Bortolozzo, R. (2017). Reconhecimento geofísico em aquífero fraturado em Caçapava do Sul (RS): análise comparativa entre arranjos de tomografia elétrica.

BRONDANI, Ana Rosa Pacheco; WOLLMANN, Cássio Arthur; DE ARAÚJO RIBEIRO, Arnaldo. A percepção climática da ocorrência de estiagens e os problemas de abastecimento de água na área urbana do município de Bagé-RS. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 26, p. 214-232, 2013.

CAMOZZATO, E.; PHILIPP, R. P.; CHEMALE JÚNIOR, F. Evolução tectônica e geocronologia U-Pb em zircão da terminação sul do Terreno Tijucas (RS, Brasil). In: CONGRESO URUGUAYO DE GEOLOGÍA, 7., 2013, Montevideo. Resúmenes Extendidos... Montevideo: Sociedad Uruguaya de Geología, 2013. p.

CAVALCANTE, Erinaldo Hilário. Investigação Teórico-Experimental Sobre o SPT. Rio de Janeiro. Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, D.Sc., Engenharia Civil, 2002.

CHEMALE JÚNIOR, 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, 2000. p. 13–52.

DE CARVALHO, Paulino Franco. **Reconhecimento geológico no estado do Rio Grande do Sul**. Diretoria de estatística da produção (Secção de publicidade), 1932.

DENTITH, Michael; MUDGE, Stephen T. Geophysics for the mineral exploration geoscientist. Cambridge University Press, 2014.

FIGUEROLA, J. C. Tratado de geofísica aplicada. 1974.

GANDOLFO, O. C.B; GALLAS, J. D. F. O arranjo polo-dipolo como alternativa ao dipolo-dipolo em levantamentos 2D de Eletroresistividade. Revista Brasileira de Geofísica, v 25, n 3, p. 227-235, 2007.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos da Física. 4 es. Wiley & sons, inc., 1993.

HARTMANN, L. A.; CHEMALE JÚNIOR, F., PHILIPP R. P. Evolução geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-cambriano. In: IANUZZI, R.; FRANTZ, J.C. (Org.) 50 anos de Geologia: Instituto de Geociências; Contribuições. Porto Alegre: Comunicação e Identidade; CIGO/UFRGS, 2007. p.97-123.

HARTMANN, L. A.; NARDI, L. V. S. Os Granitos Santo Afonso, Saibro e Vauthier da região do Arroio Santa Maria Chico, Dom Pedrito, RS -Geologia, petrografia e química dos elementos maiores, com interpretação geotectônica. Acta Geologica Leopoldensia, São Leopoldo, RS, v.16, n.12, p. 153-178, 1982.

HARTMANN, L. A. et al. Time frame of 753–680 Ma juvenile accretion during the São Gabriel orogeny, southern Brazilian Shield. Gondwana Research, v. 19, p. 84-99, 2011.

HIGASHI, R. A. R. Notas de aulas. UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina. Curso de graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, 2016. 161p.

JUSTUS, J. de O.; MACHADO, M. L. de A.; FRANCO, M. de S. M. Geomorfologia. In: FOLHA SH.22 Porto Alegre e parte das folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim. Rio de Janeiro: IBGE, 1986. p. 313-404 (Levantamento de Recursos Naturais, 33).

KEAREY, Philip; BROOKS, Michael; HILL, Ian. An introduction to geophysical exploration. John Wiley & Sons, 2002.

KEAREY, P; BROOKS, M; HILL, I. Geofísica de Exploração, 1. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

KUINCHTNER, A; BURIOL, G. A. Clima do estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. Disciplinarum Scientia, Série Ciências Exatas, Santa Maria, RS, v. 2, p.171- 182, 2001.

LEITE, J. A. D.; HARTMANN, L. A.; MCNAUGHTON, N. SHRIMP geochronology of Neoproterozoic juvenile and crustal-reworked terranes, southernmost Brazil. *International Geological Review*, v. 40, p. 688-705, 1998.

LIMA, Antônio Elton da Silva. *Prospecção geofísica de detalhe em área potencialmente mineralizada em ouro em São Sepé (RS)*. 2019.

LOWRIE, William. *Fundamentals of Geophysics: 5 geomagnetism and paleomagnetism*. Cambridge, 2007.

McNEILL, J. D. *Electrical conductivity of soils and rocks*. [s.l.]. Geonics Limited. Technical Note TN-5. 1980. 22pp.

MEDAGLIA, M. E. *Estudo de Solos no Município de Bagé*. *Bol. Geog.do Rio Grande do Sul*, Porto Alegre, n. 16, p.45-50, 1973.

MORENO, J. A. *Clima do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961.

MUSSETT, A. E.; KHAN, M. A. *Looking into the earth: an introduction to geological geophysics*. Cambridge University Press, 2000.

MILANI, E. J. *Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental*. 1997. 2 v. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997

NARDI, L. V. S.; HARTMANN, L. A. *O Complexo Granulítico Santa Maria Chico, RS*. *Acta Geologica Leopoldensia*, Santa Maria, RS, v. 3, n. 6, p. 45-75, 1979.

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

PHILIPP, R. P., LUSA M., NARDI L. V. S. *Geochemistry and petrology of dioritic, tonalitic and trondhjemitic gneisses from Encantadas Complex, Santana da Boa Vista, southernmost Brazil: a Paleoproterozoic continental-arc magmatism*. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v.80, n.4, p.735-748, 2008.

ROBINSON, E. S. *Basic exploration geophysics*. 1988.

SILVA, Fábio Krueger da. *CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DE SOLO RESIDUAL DE GNAISSE POR MEIO DE ENSAIOS DE CAMPO E LABORATÓRIO - SANTO AMARO DA IMPERATRIZ, SANTA CATARINA*. 2015. 452 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015

SHERIFF, Robert E. *Geophysical methods*. Prentice Hall, 1989.

TELFORD, W.M.; GELDART, I.P.; SHERIFF, R.E. *Applied Geophysics*. 2 ed. Cambridge University Press, Nova Iorque, 1990.

THIESEN, Stephanie. Aplicação de ferramenta SIG para mapeamento geotécnico e cartas de aptidão para fundação a partir de ensaios SPT: um estudo de caso em Blumenau/SC. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2016.