

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

GUILHERME DALLA COSTA

**INVESTIGAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E GEOFÍSICA PARA CARACTERIZAÇÃO
DE AQUÍFEROS FRATURADOS ASSOCIADOS A LINEAMENTOS MAGNÉTICOS**

Caçapava do Sul

2019

GUILHERME DALLA COSTA

**INVESTIGAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E GEOFÍSICA PARA CARACTERIZAÇÃO
DE AQUÍFEROS FRATURADOS ASSOCIADOS A LINEAMENTOS MAGNÉTICOS**

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

Orientador: Prof° Dr. Tiago Rafael Gregory

Caçapava do Sul

2019

GUILHERME DALLA COSTA

**INVESTIGAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E GEOFÍSICA PARA CARACTERIZAÇÃO
DE AQUÍFEROS FRATURADOS ASSOCIADOS A LINEAMENTOS MAGNÉTICOS**

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.

Caçapava do Sul, 09 de dezembro de 2019.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Tiago Rafael Gregory

Orientador

UNIPAMPA

Prof. Dr. Igor Clemente Magalhães

UNIPAMPA

Prof. Dr. José Pedro Rebés Lima

UNIPAMPA

Dedico este trabalho a minha família,
cujos esforços nunca foram medidos para
me ver chegar até aqui.

Agradecimento

Agradeço primeiramente aos meus pais, pois sem seu incentivo e ajuda em qualquer que fosse a situação, eu não teria tido coragem para tomar certos caminhos, dos quais eu me orgulho. A intensidade da gratidão que sinto por eles é tamanha que transborda e escorre pelo meu rosto. Ao meu orientador, por ter topado a ideia de realizar um trabalho um tanto quanto inusitado, num método que nenhum de nós dominávamos, além de todo o incentivo, apoio e paciência nesta reta final da minha vida acadêmica. A Universidade Federal do Pampa, pela oportunidade de realizar o ensino superior nesta instituição que se mantém firme, mesmo que repleta de adversidades provindas do tempo no que passei dentro desta, formando não só profissionais capacitados como cidadãos conscientes da realidade. A todos os amigos que fiz nesta pacata cidade, meus sinceros agradecimentos e parabenizações: vocês todos são guerreiros! Em especial aos meus amigos João Pedro, Ana Paula, Luís Fernando e Bárbara. Toda a pressão sofrida foi muito menos problemática por saber que não dissiparia o impacto desta sozinho, tendo vocês como pessoas que quero levar para toda a vida. E ao meu querido “mais que amigo” Humberto, por todo o companheirismo e piadas ruins para trazer um pouco mais de cor ao meu mundo.

“O conhecimento serve para encantar as pessoas, não para humilhá-las”

Mario Sergio Cortella.

RESUMO

O presente trabalho consiste numa caracterização hidrogeológica de estruturas associadas a anomalias magnéticas do Escudo Sul-rio-grandense (ESrg), previamente interpretadas como diques básicos alimentadores do vulcanismo da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná. A área de estudo localiza-se a sudeste do município de Caçapava do Sul, compreendendo rochas do Cinturão Dom Feliciano, tal como o Complexo Metamórfico Porongos, Complexo Encantadas e a Bacia do Camaquã. Por se tratar de rochas cristalinas e sedimentares com baixa favorabilidade hídrica, um estudo das fraturas associadas a estas rochas tem um papel importante do ponto de vista hidrogeológico. Para a caracterização em subsuperfície foi utilizado o geocondutímetro EM34-XL, que se baseia na leitura da condutividade elétrica, pela interferência da propagação de ondas eletromagnéticas transmitidas e recebidas pelo aparelho. Quatro perfis longitudinais foram gerados, cujos resultados permitiram analisar a forma, dimensão e orientação dos corpos ígneos investigados. Segundo a direção das anomalias, estes corpos aparentam estar mergulhando a SSW, tratando-se não somente de diques como também de soleiras. As estruturas são mapeáveis até aproximadamente 35 metros de profundidade, e havendo boa continuidade lateral dos resultados, foi possível gerar uma figura que sugere em campo onde está localizado um dos corpos. Quanto as condições hidrogeológicas da região, apesar de se encontrar próximo aos perfis evidências de que exista um aquífero, não foi possível de mapear o mesmo com a escala utilizada nos perfis. Além do fator das rochas adjacentes serem pouco porosas e permeáveis (aquicludes) ou cristalinas, notou-se evidências de atividade ígnea nestas rochas, aumentando seu grau de litificação e cimentação da matriz, tornando-as ainda mais incompatíveis na investigação hidrogeológica.

Palavras-chave: Hidrogeologia, Eletromagnetismo, Geocondutímetro, Escudo Sul-rio-grandense.

ABSTRACT

The present work consists in a hydrogeological characterization of structures associated with magnetic anomalies of the Sul-rio-grandense Shield (SrgS), previously interpreted as basic dikes feeding the Serra Geral volcanism of Paraná Basin. The study area is located southeast of the Caçapava do Sul city, comprising rocks of the Dom Feliciano Belt, such as the Porongos Metamorphic Complex, Complexo Encantadas and the Camaquã Basin. For the fact that they are crystalline and sedimentary rocks with low water favorability, a study of fractures associated to these rocks plays an important role from the hydrogeological point of view. For the subsurface characterization, the geoconductor EM34-XL will be used, based on the reading of the electrical conductivity, by the interference of the propagation of electromagnetic waves transmitted and received by the apparatus. It is expected from the application of the method and the bibliographical review carried out, to elaborate depth profiles of the hydrogeological situation existing in subsurface, in order to corroborate with the knowledge about the study area, raising discussions about areas favorable to the exploration of water resources, as well as to promote technical knowledge for subsequent exploration campaigns. Four longitudinal profiles were generated, whose results allowed to analyze the shape, dimension and orientation of the investigated igneous bodies. According to the direction of the anomalies, these bodies appear to be plunging into SSW, suggesting we're dealing not only with dikes but also with thresholds. The structures are mappable to approximately 35 meters deep, and with good lateral continuity of the results, it was possible to generate a figure that suggests in the field where is located one of the bodies. Regarding the hydrogeological conditions of the region, despite being close to the profiles evidence that there is an aquifer, it was not possible to map with the scale used in the profiles. In addition to the fact that the adjacent rocks are little porous and permeable (aquiclude) or crystalline, there was evidence of igneous activity in these rocks, increasing their degree of lithification and cementation of the matrix, making them even more incompatible in hydrogeological investigation.

Keywords: Hydrogeology, Electromagnetism, Geoconduktivimeter, Sul-rio-grandense Shield.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. OBJETIVOS.....	13
3. JUSTIFICATIVA.....	14
4. ÁREA DE ESTUDO E CONTEXTO GEOLÓGICO	15
4.1 Localização.....	15
4.2 – Contexto geológico	18
4.2.1 – Bacia do Camaquã	21
4.2.2 – Complexo Metamórfico Porongos.....	22
4.2.3 – Complexo Encantadas.....	23
4.2.4 – Sistema Aquífero Serra Geral.....	23
4.3 – Área de estudo	25
5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	28
5.1 Teoria dos métodos e técnicas.....	28
5.1.1 Princípios do Método Eletromagnético Indutivo.....	28
5.1.2 Equações de Maxwell.....	29
5.1.3 – Condutivímetros de solo	31
5.2 Condicionantes Geológicas	32
5.3 – Sistemas aquíferos	33
5.3.1 – Classificação com base na geometria e hidráulica	34
5.3.2 Hidrogeologia em meios cristalinos	35
6. MATERIAIS E MÉTODOS	38
6.1 – Análise de campo	38
6.2 – Levantamento Geofísico.....	38
6.3 – Planejamento dos perfis	41
6.4 Processamento dos dados do Geocondutivímetro	42
7. RESULTADOS	43
8. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO.....	50
REFERÊNCIAS.....	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização e situação da área de estudo na porção centro-sul do estado do Rio Grande do Sul.	16
Figura 2 - Mapa de isoietas anuais médias e localização da área de estudo.	17
Figura 3 – Mapa indicando baixa favorabilidade hídrica na área de estudo.....	18
Figura 4 – Mapa com a distribuição espacial dos terrenos pertencentes ao ESrg no estado do Rio Grande do Sul.	20
Figura 5 - Mapa geológico das áreas de estudo, cujas são apresentadas em maior detalhe na figura 7.....	21
Figura 6 - Mapa aeromagnetométrico interpretado pela amplitude do sinal analítico.	24
Figura 7 - Mapa geológico aproximado nas áreas de estudo, cuja localização regional é visível na figura 5.....	26
Figura 8 – Representação espacial em meio atmosférico e em subsuperfície da propagação dos fluxos eletromagnéticos.	29
Figura 9 – Estruturas que controlam a ocorrência de água subterrânea em rochas cristalinas.	36
Figura 10 - Mapa magnetométrico de detalhe nas áreas de estudo.	39
Figura 11 - Geocondutímetro EM34-XL.....	40
Figura 12 - Perfil longitudinal da condutividade elétrica aparente do primeiro perfil.	44
Figura 13 - Perfil longitudinal da condutividade elétrica aparente do segundo perfil.	45
Figura 14 - Perfil longitudinal da condutividade elétrica aparente do terceiro perfil.	46
Figura 15 - Perfil longitudinal da condutividade elétrica aparente do quarto perfil. .	47
Figura 16 - Amostra da rocha sedimentar coletada em campo acima do Perfil 1. ..	48
Figura 17 - Amostras de rocha metamórfica (quartzito) coletadas nos perfis 3 e 4, respectivamente.	48
Figura 18 - Modelo representativo do corpo ígneo.....	49
Figura 19 - Demonstração dos perfis em planta e local dos pontos mapeados do primeiro dia de campo (27/09/19).....	51
Figura 20 - Demonstração dos perfis, contatos e pontos mapeados ao longo do segundo dia de campo (11/10/19).....	53

1. INTRODUÇÃO

Lineamentos são, conforme definido por O'Leary (1976), feições lineares que podem ser mapeadas na superfície terrestre, cujas partes estão ordenadas em uma relação retilínea ou levemente curvilínea, que diferem do padrão das feições adjacentes e presumivelmente representam um fenômeno em subsuperfície. Comumente dizem respeito à movimentação de grandes corpos rochosos, cuja investigação pode sugerir hipóteses de trabalho ou preencher lacunas no conhecimento existente. A sua compreensão se faz de grande valia no que diz respeito à prospecção mineral e hidrogeológica.

No estado do Rio Grande do Sul ocorrem diversas variedades de rochas de idade e gênese distintas (e.g. Picada, 1971; Fragoso-César, 1980; Fernandes *et al.*, 1995; Hartmann *et al.*, 2007; entre outros), dentre as quais pode-se estabelecer correlações espaciais através da utilização de ferramentas de geofísica e sensoriamento remoto, de modo a compreender a evolução tectônica e a situação estrutural da região.

Dentro do contexto estrutural do Escudo Sul-rio-grandense (ESrg) são verificadas duas direções preferenciais de lineamentos, sendo uma NE e outra NW. Uma maior atenção é dada aos lineamentos NE, visto que esses são os principais delimitadores de terrenos que denotam a aglutinação do Supercontinente Gondwana (ALMEIDA *et al.*, 1981), possuindo especial importância para estudos estruturais. Alguns lineamentos alinhados a NW, por sua vez, mostram uma forte resposta magnetométrica, conforme estudado por GREGORY *et al.* (2019); MACEDO (2018); FAÉ *et al.* (2018); TICO *et al.* (2018), caráter derivado de uma rocha cuja composição abrange: minerais ferromagnéticos, que apresentam uma forte susceptibilidade magnética positiva; diamagnéticos, fornecendo um sinal de baixa intensidade e negativo; e também minerais paramagnéticos, que apresentam sinais de baixa intensidade, mas positivos (LOWRIE *et al.*, 2007).

Tais lineamentos, dentro do contexto geológico ao qual o estado está inserido, são comumente associados com a presença de diques básicos intrusivos, que ocorrem na mesma direção NW e acredita-se fazerem parte dos condutos alimentadores do vulcanismo da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná

(TONIOLO *et al.*, 2007; GREGORY *et al.*, 2019; MACEDO, 2018; FAÉ *et al.*, 2018; TICO *et al.*, 2018).

Dentre os métodos geofísicos existentes, a utilização do Método Eletromagnético Geocondutímetro resulta em uma análise não somente a respeito de um possível corpo ígneo em subsuperfície, mas também à presença de água subterrânea acompanhando as estruturas existentes. Com este método, é possível caracterizar o comportamento da água em profundidade, dando margem para a investigação de novos poços de exploração deste recurso.

O presente trabalho consiste na utilização de dados de geofísica eletromagnética a fim de conhecer o comportamento hidrológico e, conseqüentemente, a situação estrutural em profundidade da área onde estes lineamentos magnéticos ocorrem.

2. OBJETIVOS

Objetivos Gerais

O objetivo geral do trabalho é realizar uma caracterização hidrogeológica utilizando o Geocondutímetro EM34-XL, de forma a conhecer o comportamento hidrogeológico nas estruturas em profundidade.

Objetivos Específicos

Fazem parte dos objetivos específicos deste trabalho:

- Reconhecer a geomorfologia e situação hidrogeológica da área;
- Realizar estudos para interpretar as estruturas presentes bem como a geologia local;
- Gerar perfis de condutividade elétrica aparente para interpretar a situação hidrogeológica em profundidade.
- Corroborar com o acervo de informações hidrogeológicas da área.

3. JUSTIFICATIVA

A justificativa para a elaboração deste trabalho vem do fato de que há pouco registro de poços na porção sul e sudoeste do estado, bem como pela região ser pouco estudada nesse contexto devido à natureza das rochas não ser tão propícia para elaborar investigações hidrogeológicas. A região na qual foram realizados os levantamentos, abrangendo o centro-sul do estado, possuem um déficit hídrico, uma vez que os aquíferos porosos e fissurais presentes são de média a baixa vazão, dificultando a exploração devido ao alto custo ao setor público. Comparando-se com as regiões metropolitanas do estado, nota-se que os lugares mais desenvolvidos tendem a possuir mais pesquisas a respeito do assunto. Portanto, indiretamente o trabalho tem um cunho social e econômico no que diz respeito à expansão urbana através da tentativa de enriquecer os levantamentos hidrográficos da região. A área de estudo situa-se relativamente próxima à cidade de Caçapava do Sul, onde há o campus da Universidade Federal do Pampa, sendo essa a instituição à qual este trabalho de conclusão de curso diz respeito. Este trabalho está vinculado ao projeto de pesquisa “Investigação de lineamentos magnéticos no Rio Grande do Sul”, coordenado pelo Prof. Dr. Tiago Rafael Gregory, registrado no Sistema de Informação de Projetos de Pesquisa, Ensino e Extensão da Universidade Federal do Pampa. Devido ao andamento do mesmo, já estão disponíveis dados estruturais e litológicos que foram de grande valia a realização do presente trabalho.

4. ÁREA DE ESTUDO E CONTEXTO GEOLÓGICO

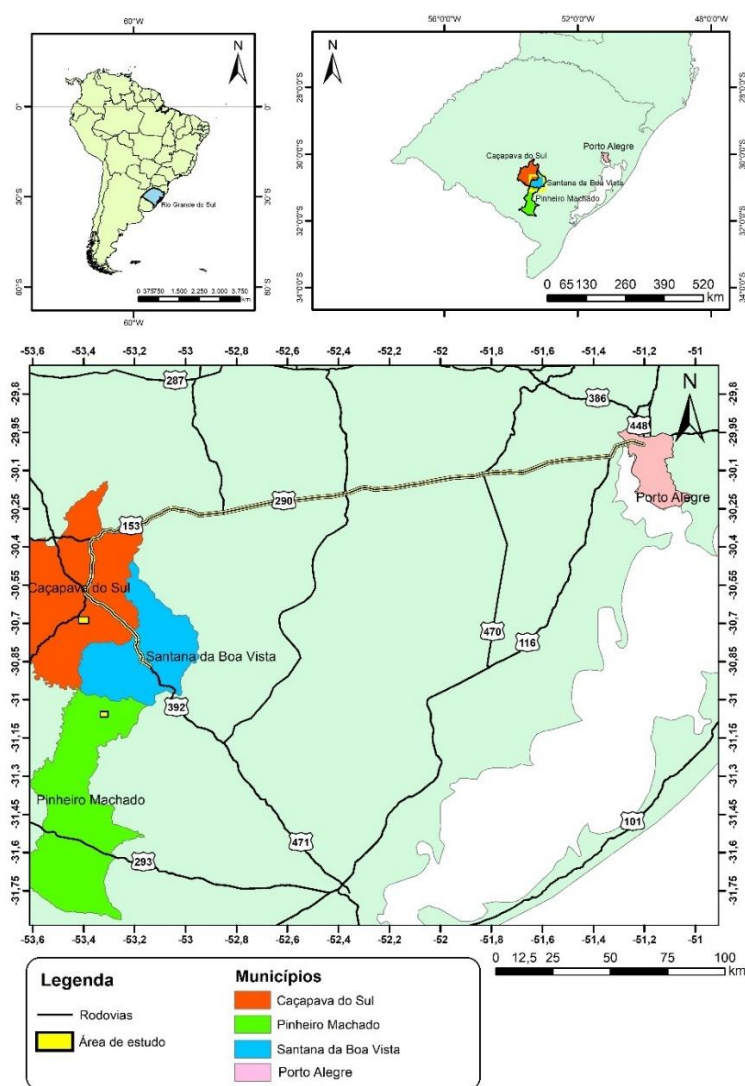
4.1 Localização

A localização da área de estudo se dá na porção centro-sul do estado do Rio Grande do Sul, compreendendo os municípios de Caçapava do Sul e Pinheiro Machado, previamente proposta pelo projeto de pesquisa ao qual o trabalho está vinculado. O acesso à área é feito a partir de Porto Alegre como ponto inicial, seguindo pela BR-290 por aproximadamente 200km no sentido oeste e, posteriormente, pela BR-392, no sentido SE, conforme a Figura 1.

Para o acesso à área de estudo onde foram gerados os perfis 1 e 2, saiu-se de Caçapava do Sul pela BR-392, na direção Sudeste e seguiu-se nessa até o um trevo onde tomou-se a BR-153, seguindo nessa até a estrada vicinal para o Rincão da Guarda Velha.

Para o acesso à área de estudo onde foram realizados as medidas dos perfis 3 e 4, saiu-se de Caçapava do Sul novamente pela BR-392, mantendo-se nesta até contabilizar cerca de 10km depois da entrada para a cidade de Santana da Boa Vista, tomando uma estrada vicinal de orientação sudoeste, por onde andou-se por cerca de 40km.

Figura 1 – Mapa de localização e situação da área de estudo na porção centro-sul do estado do Rio Grande do Sul.

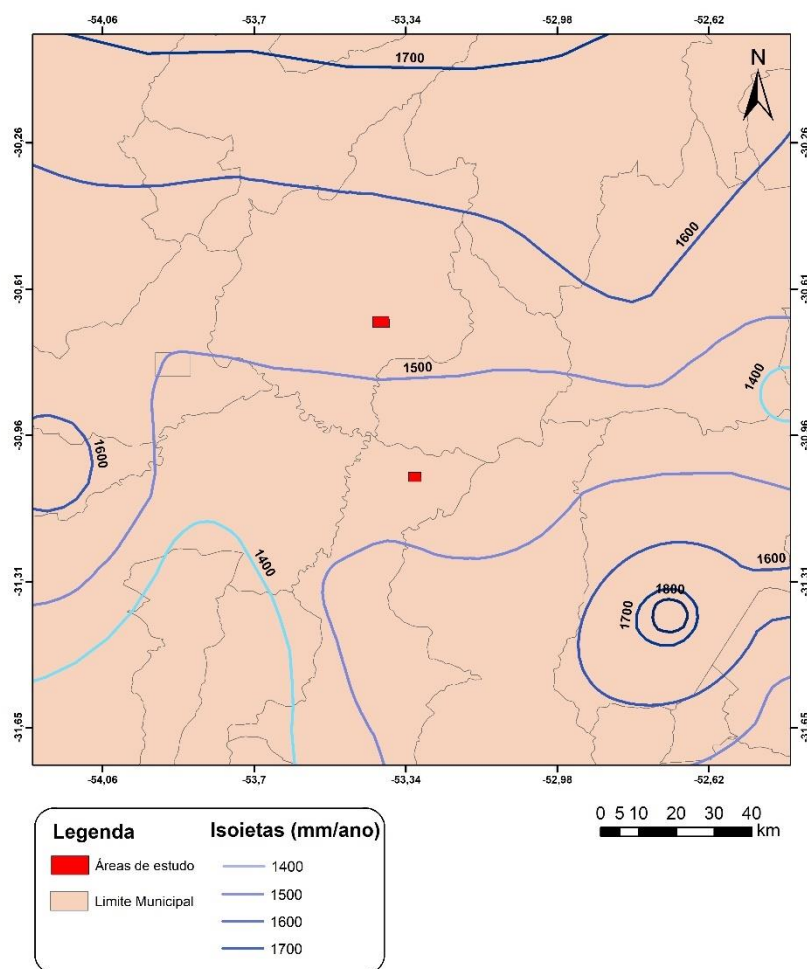


Fonte: modificado de CPRM (2013).

A área está situada sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Camaquã, cuja nascente se dá a oeste da área e sua desembocadura a leste, na Laguna dos Patos. Esta área possui aproximadamente 21.259,11 km².

O Projeto Atlas Pluviométrico do Brasil (CPRM, 2009), que tem por objetivo reunir informações a respeito da rede hidrometeorológica nacional (Figura 2), permite concluir que a região denotada pelo polígono da área de estudo está sob um regime pluviométrico permeando uma média anual de 1400mm a 1500mm, considerando-se o intervalo de tempo de 1977 a 2006.

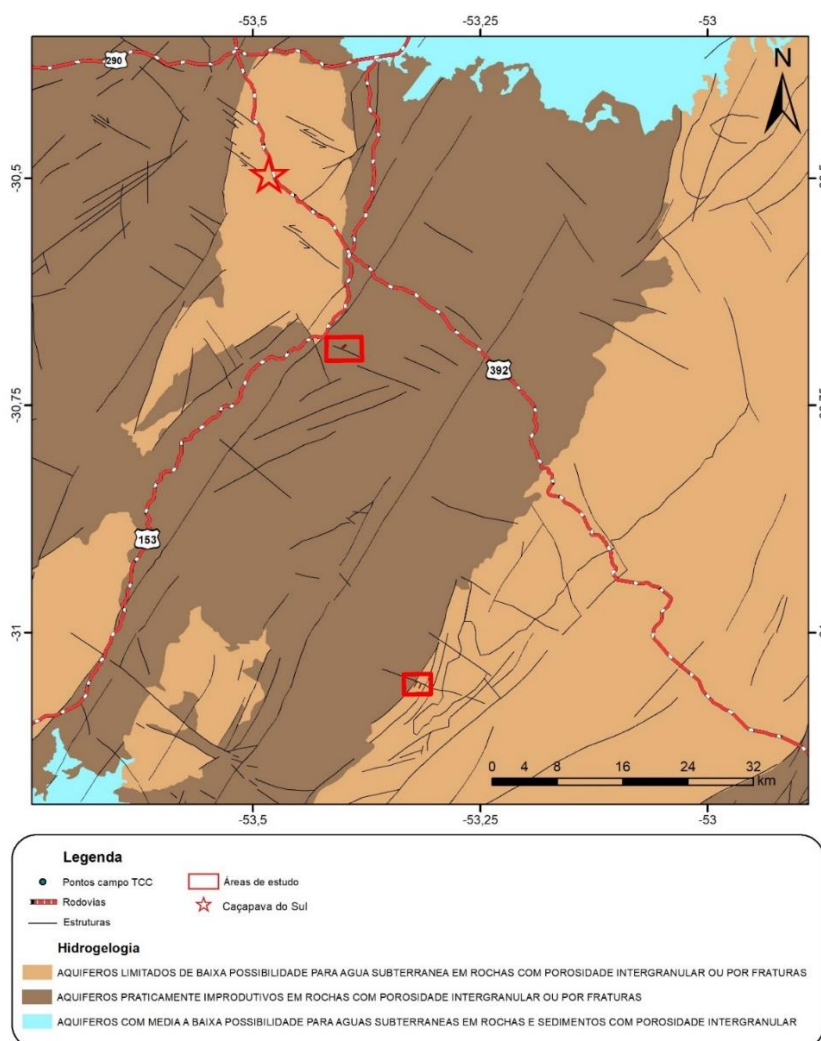
Figura 2 - Mapa de isoietas anuais médias e localização da área de estudo.



Fonte: modificado de Projeto Atlas Pluviométrico do Brasil (CPRM, 2009).

Através do mapa que indica a favorabilidade de retenção de água subterrânea (Figura 3) para possível exploração de poços, nota-se que todos os pontos se encontram em áreas de baixa ou praticamente nula produtividade, fator que corrobora com a justificativa do trabalho, visto o déficit hídrico existente na área. De acordo com este mapa, as áreas com coloração marrom são consideradas como aquícludes, cuja teorização está conforme o capítulo 5.3, sendo capaz de inferir que suas condições naturais de porosidade e permeabilidade sejam baixas. A zona de coloração bege, por sua vez, trata de sistemas de aquíferos em rochas do embasamento cristalino, cujas características hidrogeológicas estão condicionadas às estruturas rúpteis presentes.

Figura 3 – Mapa indicando baixa favorabilidade hídrica na área de estudo.



Fonte: modificado de CPRM (2013).

É importante salientar que estas rochas possuem baixa porosidade devido ao seu alto grau de cimentação, não estando necessariamente associado com o fator da atividade ígnea presente, conforme apresentado no capítulo 4.3. Trata-se de uma condição natural das rochas da região, sendo de baixa porosidade e permeabilidade.

4.2 – Contexto geológico

O Escudo Sul-rio-grandense (ESrg) é um conjunto de rochas de idade pré-cambriana a cambriana que se situa na porção central e sudeste do estado do Rio Grande do Sul, sendo espacialmente limitado a norte, oeste e sul pela Bacia do Paraná e a oeste pela Província Costeira do Rio Grande do Sul (Soliani Jr., 1986).

A formação do ESrg é relacionada a processos de geração e deformação de crostas continentais, marcadas por dois principais ciclos orogênicos: o

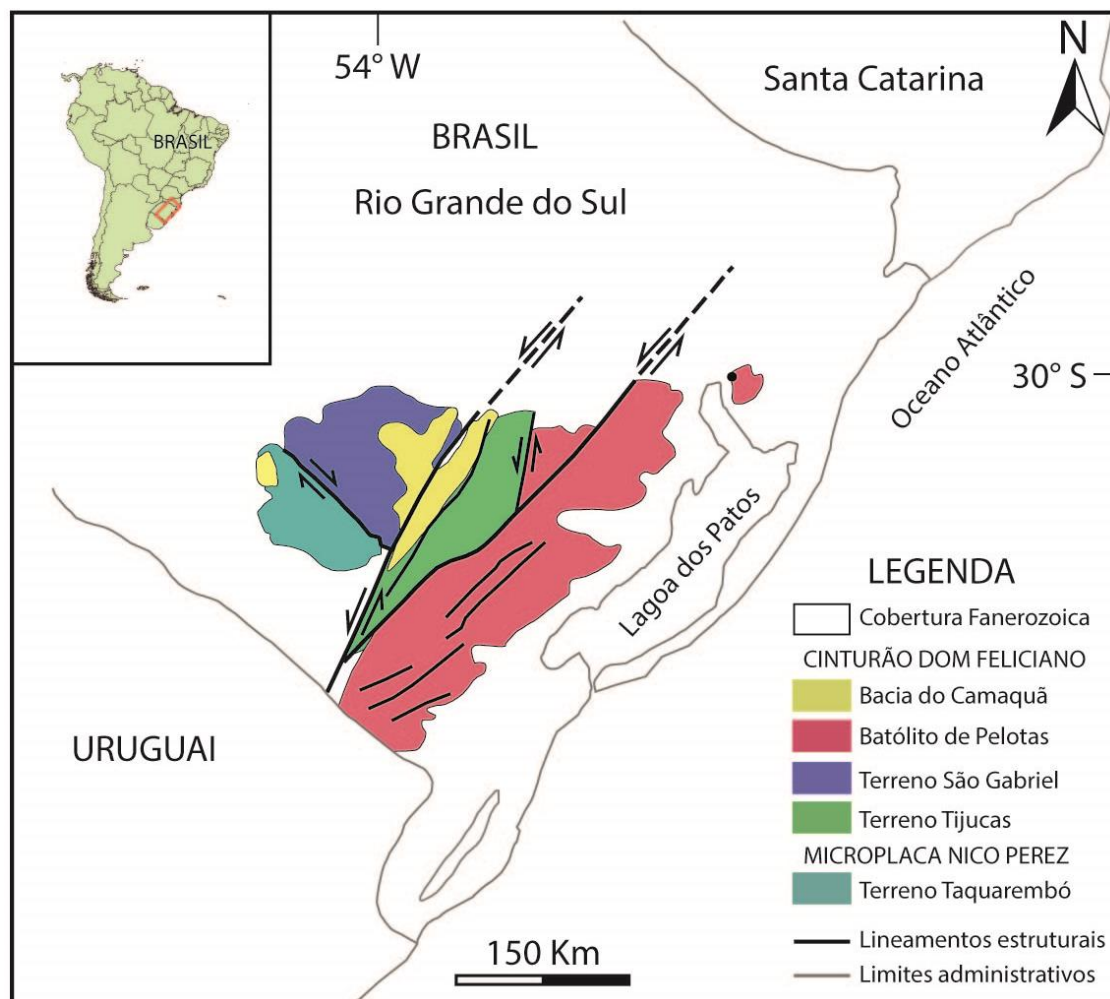
Transamazônico (2,26-2,20 Ga) e o Brasileiro (900-535 Ma). Tais ciclos resultam de fases de abertura e fechamento de oceanos, colisões continentais, aglutinação de diferentes terrenos e finalmente a cratonização dos mesmos, gerando supercontinentes (BRITO NEVES, 2004; HASUI, 2010).

Conforme proposto por Chemale Jr. (2000) e Hartmann *et al.* (2007), o ESrg divide-se em quatro unidades geotectônicas, cujas delimitações são definidas de acordo com suas assinaturas geoquímicas, petrografia, geologia isotópica, geofísica e estratigrafia, considerando-se o Cinturão Dom Feliciano e o Craton Rio de La Plata as duas unidades principais do embasamento cristalino.

O Craton Rio de La Plata é representado por gnaisses do Complexo Granulítico Santa Maria Chico, pertencentes ao terreno Taquarembó, cuja gênese é dada no Paleoproterozoico, com posteriores retrabalhamentos no Neoproterozoico (CHEMALE JR., 2000; HARTMANN *et al.*, 2007).

O Cinturão Dom Feliciano, por sua vez, divide-se em três unidades: Terreno Tijucas, com associações de rochas metassedimentares e meta-vulcânicas, bem como ortognaisses do Complexo Encantadas; Terreno São Gabriel, caracterizado por gnaisses cálcio-alcálico juvenis, interpretados como septos do embasamento; e o Batólito de Pelotas, um complexo granítico proveniente de extenso retrabalhamento dos gnaisses do embasamento durante o Neoproterozoico, compondo sete suítes graníticas ao todo (Figura 4; HEILBRON, *et al.*, 2004).

Figura 4 – Mapa com a distribuição espacial dos terrenos pertencentes ao ESrg no estado do Rio Grande do Sul.

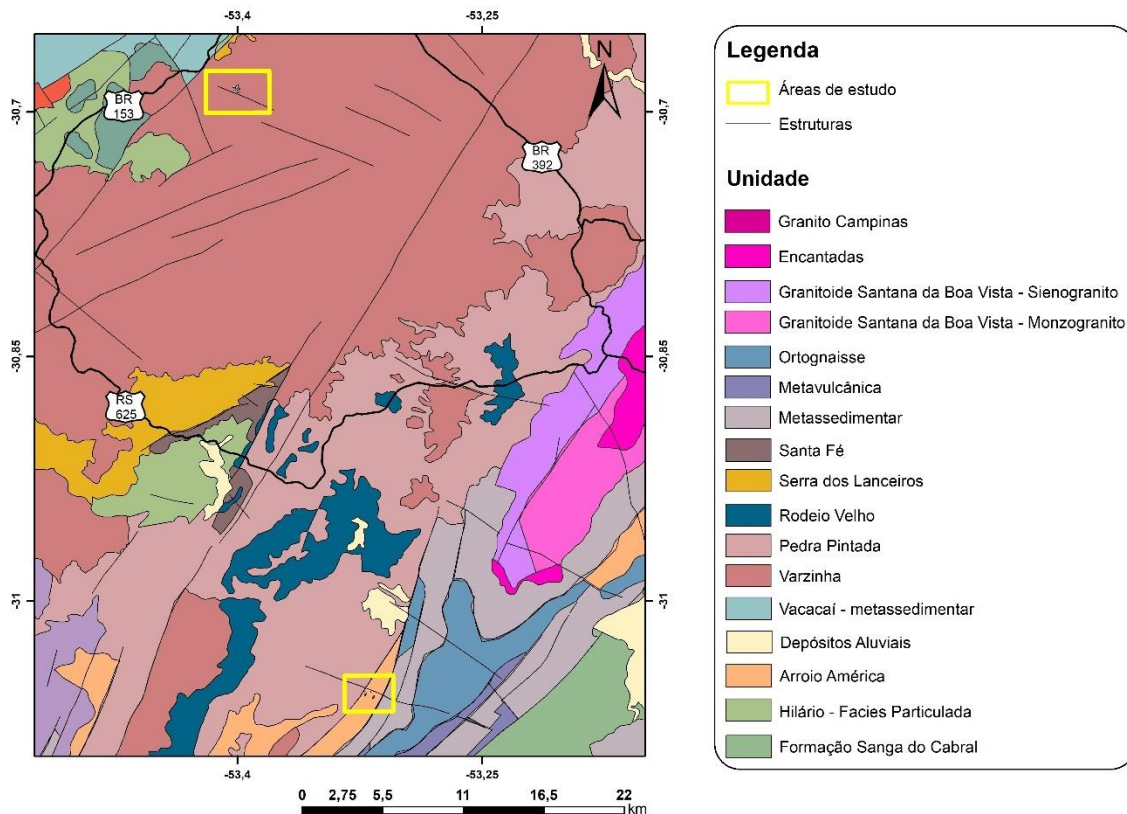


Fonte: modificado de Phillip et al. (2016).

O Terreno Tijucas possui formato alongado segundo NE-SW, com cerca de 170km de comprimento e entre 15 e 30km de largura, compreendendo a porção central do ESrg. Consiste em associações de rochas metassedimentares e metavulcânicas, compreendendo fácies xisto verde a anfibolito (Complexo Metamórfico Porongos; LUSA *et al.*, 2010), também contendo exposições do embasamento paleoproterozoico, composto por metagranitoides milonitizados de composições sienograníticas e monzoníticas e pelo Gnaisse Encantadas (Complexo Encantadas). De acordo com Jost & Bitencourt (1980), há uma relação de cavalgamento entre o Complexo Metamórfico Porongos sobre o Complexo Encantadas, que representa o embasamento paleoproterozoico. Ambos, concomitantemente, são afetados por dobras regionais, de forma que o embasamento se expõe no núcleo de antiformes de grande escala, com o Complexo Porongos localizando-se nos flancos destas.

A área de estudo situa-se em um contexto geotectônico que engloba rochas do Complexo Metamórfico Porongos, cobertos por seqüências vulcanossedimentares da Bacia do Camaquã, mais especificamente as formações Varzinha na área de estudo do primeiro dia de campo e a formação Arroio América, que se encontra englobada pelas unidades metassedimentares do Complexo Metamórfico Porongos, visitada no segundo trabalho de campo (Figura 5).

Figura 5 - Mapa geológico das áreas de estudo, cujas são apresentadas em maior detalhe na figura 7.



Fonte: Modificado de CPRM (2013)

4.2.1 – Bacia do Camaquã

Ocorrem, sobre o embasamento metamórfico do ESrg, espessas coberturas sedimentares e vulcanossedimentares, agrupadas no Supergrupo Camaquã, que datam do Ediacarano-Eopaleozoico, de acordo com Fragoso-Cesar *et al.* (2003). Segundo Paim *et al.* (2000), é constituído pela seguinte seqüência de unidades, a partir da base: Alogrupos Maricá, Bom Jardim, Cerro do Bugio (Formação Acampamento Velho), Santa Bárbara e Guaritas.

O Alogrupo Marica (AM), constituído por arenitos arcoseanos, siltitos, folhelhos e rochas vulcânicas ácidas, data aproximadamente 620-592 Ma. Afloramentos deste alogrupo encontram-se bem preservados na região da sub-Bacia Ramada, onde esta unidade foi inicialmente definida.

O Alogrupo Bom Jardim (ABJ), é caracterizado por uma sucessão vulcanossedimentar entre as Formações Cerro da Angélica, Hilário e Picada das Graças. Os limites destas formações são marcados por discordâncias angulares, na base pelo Alogrupo Maricá e no topo pelo Alogrupo Cerro do Bugio, que datam entre 593 e 580 Ma, segundo Paim *et al.* (2000).

O Alogrupo Cerro do Bugio (ACB), por sua vez, é caracterizado como dois intervalos vulcânicos: Acampamento Velho Inferior (AVI) e Acampamento Velho Superior (AVS), ambos posteriormente recobertos pela Aloformação Santa Fé, considerando-se idades entre 574 e 550 Ma (PAIM; CHEMALE JR; WILDNER, 2014).

O Alogrupo Santa Bárbara (ASB) consiste em arenitos finos e médios com estratificações cruzadas tabulares, ritmitos areno-pelíticos dispostos em camadas tabulares, arenitos e conglomerados. Subdivide-se ainda em Aloformação Pedra do Segredo e Aloformação Serra dos Lanceiros. De acordo com Paim *et al.* (1995), interpreta-se esta formação como frente deltaica de deltas estuarinos progradacionais.

O Alogrupo Guaritas (AG) é dividido em duas unidades geológicas, a Aloformação Pedra Pintada (APP) e a Aloformação Varzinha (AV), cujos limites são dados por uma discordância erosiva. A APP é marcada por grandes depósitos eólicos e porções de fácies fluviais, próximo a margem SE do rifte. A AV, por sua vez, é caracterizada por fácies fluviais, lacustres e eólicas (PAIM *et al.*, 2000). De acordo com (PAIM; CHEMALE JR; WILDNER, 2014), o AG é caracterizado como o último episódio tectono-sedimentar da Bacia do Camaquã.

4.2.2 – Complexo Metamórfico Porongos

Os ortognaisses do Complexo Encantadas são recobertos pelas rochas metassedimentares do Complexo Porongos (CMP), que contém duas sequências litológicas. A sequência leste consiste em xistos pelíticos, grafitosos, quartzitos e lentes de mármore, bem como rochas vulcânicas ácidas. A sequência oeste, por sua

vez, consiste em metapelitos e quartzitos intercalados com rochas tufíticas félsicas (Jost & Bitencourt, 1980). Estas unidades foram datadas entre 770-780 Ma (Chemale Jr., 2000).

Há divergência por parte dos autores quanto ao ambiente tectônico sugerido para a formação do Terreno Tijucas, onde o CMP está inserido. Jost & Bitencourt (1980) sugerem ambiente de margem passiva, enquanto Chemale Jr. (2000) indica margem ativa e, finalmente, Fernandes *et al.* (1995) e Hartmann *et al.* (2000) sugerem a possibilidade de se tratar de uma bacia de retro-arco. Esta interpretação é dificultada devido à sucessão de eventos deformacionais e de metamorfismo, que acabam destruindo as estruturas originais da rocha, tornando a interpretação de sua formação uma questão com alto grau de complexidade.

4.2.3 – Complexo Encantadas

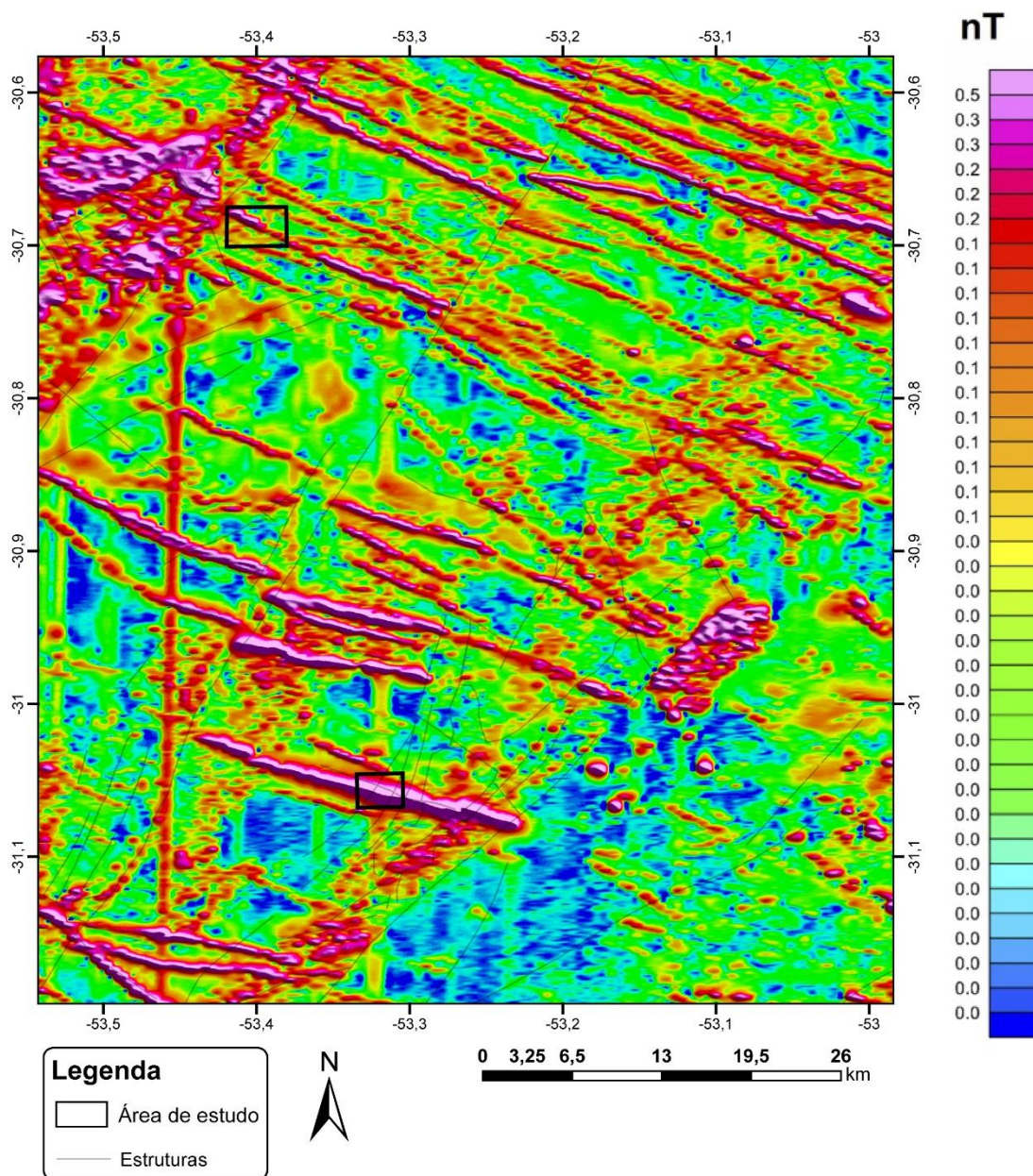
O Complexo Encantadas (CE) é datado entre 2,26-2,00 Ga, fazendo parte do Ciclo Transamazônico, composto por gnaisses dioríticos, tonalíticos, trondhjémíticos e anfibolitos lensoides com 10-600m de tamanho, assim como sienogranitos e monzogranitos miloníticos intrusivos (HARTMANN *et al.*, 2007). Foi definido por Phillip *et al.* (2007) que o CE representa uma associação de arco magmático continental, com bases em dados geoquímicos e geológicos, cujos magmas parentais basálticos são derivados de fontes metassomatizadas por fluidos vinculados à subducção litosférica, concluindo que os ortognaisses Encantadas são um importante registro de acreção juvenil à crosta paleoproterozoica do ESrg.

4.2.4 – Sistema Aquífero Serra Geral

A Formação Serra Geral é constituída essencialmente por basaltos toleíticos e andesitos basálticos, contando com riolitos e riolacitos subordinados (BELLIENI *et al.*, 1984 e PICCIRILLO *et al.*, 1988), rochas que são capazes de constituir anomalias de campo magnético em sua região aflorante (e mesmo em subsuperfície), o que permite o mapeamento destes litotipos de forma indireta. Ao analisar o mapa aeromagnetométrico interpretado por Gregory & Guadagnin (2017) da figura 6, nota-se fortes sinais de anomalia na direção NW-SE, alguns destes que

já foram descritos por MACEDO (2018) como diques alimentadores do vulcanismo que deu origem a Formação Serra Geral.

Figura 6 - Mapa aeromagnetométrico interpretado pela amplitude do sinal analítico.



Fonte: modificado de Gregory & Guadagnin (2017).

O comportamento estrutural do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) é descrito por FILHO et al., (2005) como sendo de aquíferos fissurais, que abrangem todo o Sul-sudeste do Brasil, estendendo-se a países vizinhos como Paraguai, Uruguai e Argentina. De acordo com Rebouças (1978), este se encontra sob condições hidrogeológicas heterogêneas e anisotrópicas, cujos modos de ocorrência de água estão ligados tanto a fatores genéticos da formação do basaltos (*intertrapp*,

amígdalas, vesículas e disjunções colunares), bem como pela presença de grandes estruturas (falhas, fraturas e diques de dolerito), responsáveis pela circulação de água nestas rochas, e este conjunto de fatores permite um aumento na capacidade de armazenamento do SASG.

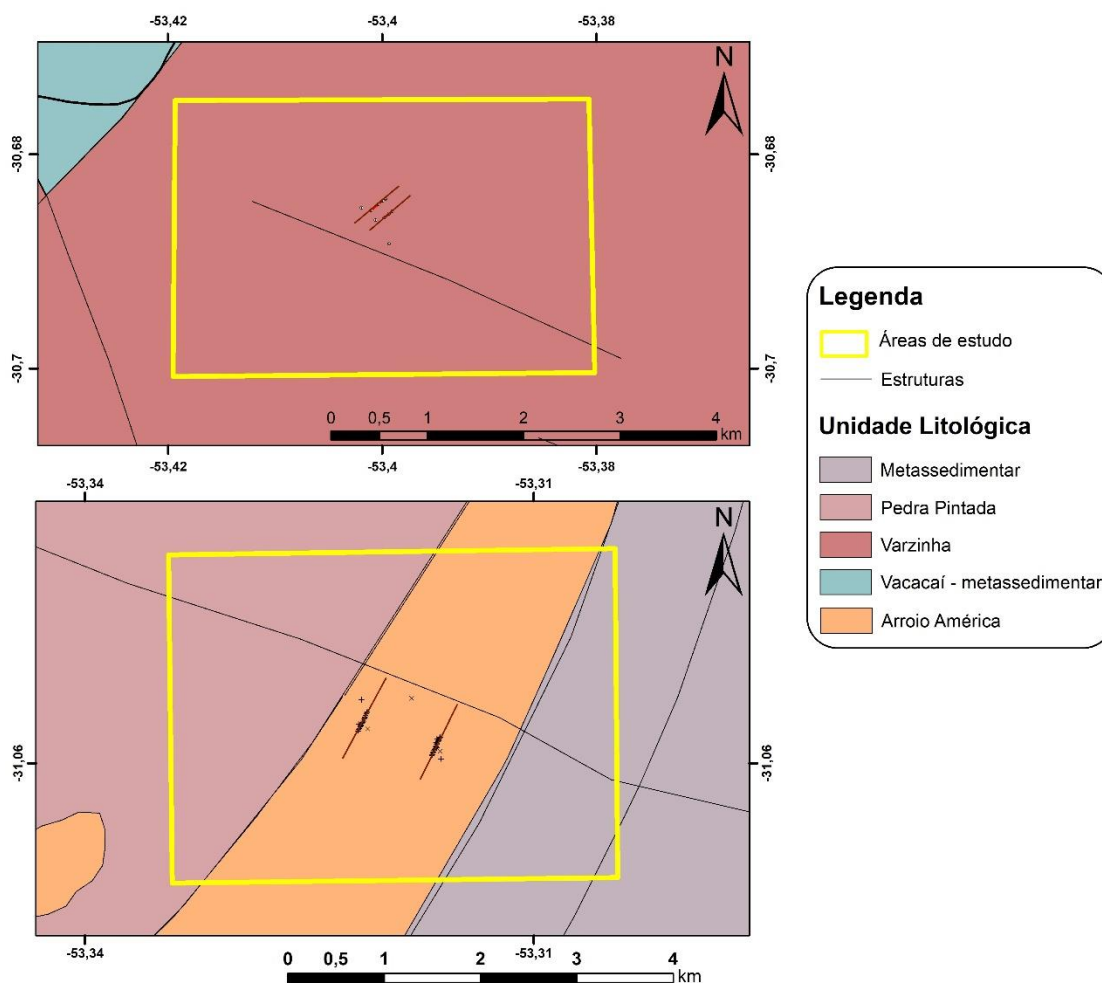
É importante salientar que o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), por muitas vezes, fornece condições de confinamento para o Sistema Aquífero Guarani (SAG), e em locais específicos onde há condições potenciométricas e estruturais favoráveis, pode-se ter recarga ascendente a partir do SAG.

4.3 – Área de estudo

A área de estudo situa-se em um contexto geotectônico que engloba rochas do Complexo Metamórfico Porongos, coberto por sequências vulcanossedimentares da Bacia do Camaquã. Estes foram escolhidos de forma a corroborar com dados já disponíveis do projeto ao qual este trabalho encontra-se vinculado, vindo a enriquecer informações de uma área onde já se havia uma ideia geral sobre a geologia local.

No mapa representado pela Figura 7, há duas áreas de estudo, em cada qual foram realizados dois perfis, marcados por linhas vermelhas. Estas linhas são exageradas, compreendendo extensão lateral maior que a amostrada pelos dados em campo, de forma a facilitar a visualização da orientação dos perfis. A representação geológica da área está conforme o mapa da Figura 7.

Figura 7 - Mapa geológico aproximado nas áreas de estudo, cuja localização regional é visível na figura 5.



Fonte: modificado de CPRM (2013).

Conforme visto no mapa da área de estudo da figura 6, ambas as áreas estão sobre domínios de rocha sedimentar, de onde normalmente espera-se um resultado satisfatório para análises hidrogeológicas, uma vez que estas tendem a ser porosas e são consideradas como ótimas fonte para aquíferos. Porém, ao realizar os campos, foram constatadas particularidades nestas rochas que vieram de forma a corroborar com as baixas favorabilidades hídricas para as áreas de estudo, uma vez que estas se encontravam com um aspecto de que haviam sofrido processos termais, lembrando um aspecto de rocha “cozida” (auto grau de litificação e cimentação da matriz), podendo isto estar relacionado com a formação do dique basáltico proveniente do vulcanismo Serra Geral, que é tardio em relação à Bacia do Camaquã.

Por este motivo, consideram-se as rochas que foram visitadas em campo como praticamente improdutivas considerando-se o fator de porosidade primária, visto que possuíam um alto grau de cimentação. Porém, passa-se a levantar suspeitas sobre sua produtividade no que diz respeito a porosidades secundárias, levando em consideração a existência de estruturas pós-deposicionais, tais como falhas, fraturas e paredes de filões e diques.

5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 Teoria dos métodos e técnicas

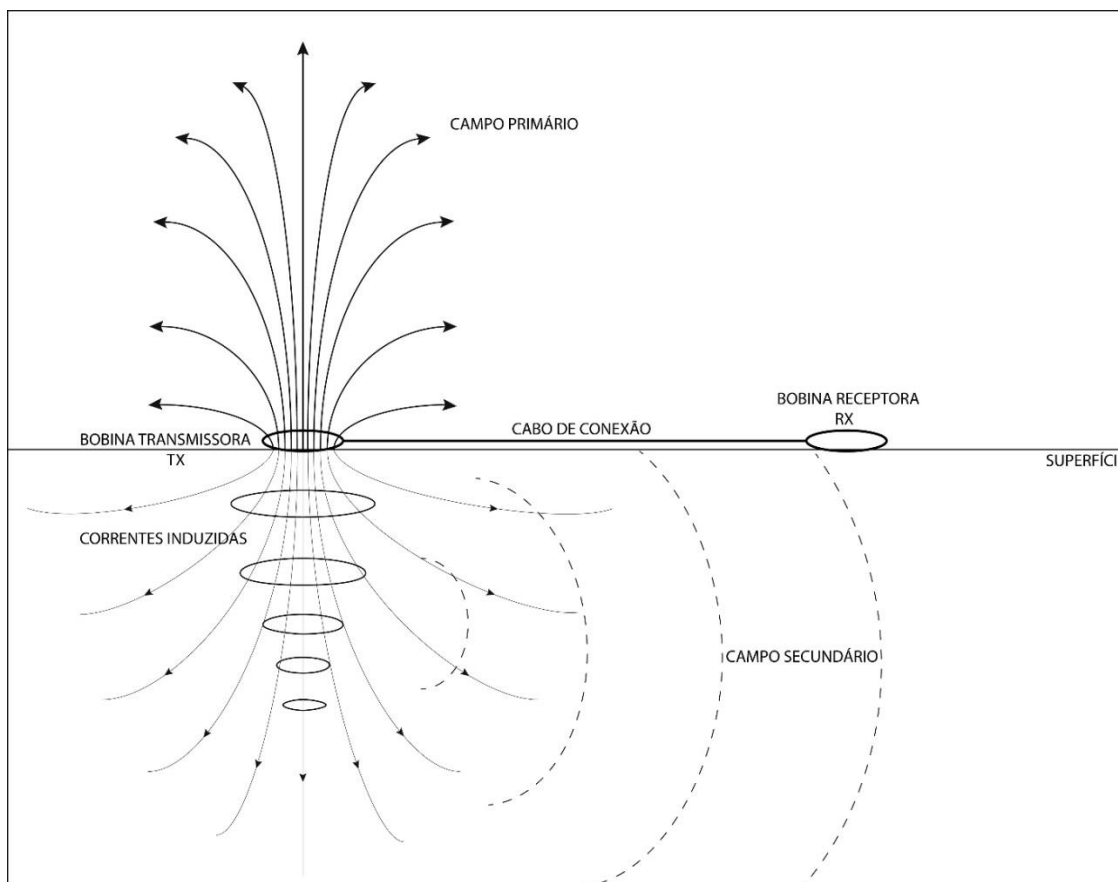
5.1.1 Princípios do Método Eletromagnético Indutivo

Dentre os métodos eletromagnéticos induzidos (EM) existentes, a propriedade física responsável pela resposta obtida é a condutividade elétrica dos materiais na subsuperfície. Este parâmetro é inversamente proporcional à resistividade elétrica.

Os métodos eletromagnéticos indutivos estão baseados em medições de campos eletromagnéticos associados a correntes alternadas induzidas em subsuperfície a partir de um campo primário (SHARMA, 1986). Um campo magnético primário é produzido através da passagem de uma corrente alternada utilizando uma bobina sobre o terreno. Este campo primário propaga-se no espaço, induzindo correntes sob os corpos condutores em subsuperfície que, por sua vez, geram campos magnéticos secundários (Figura 8).

Tal interação entre os dois campos gera distorções no campo primário e, em geral, o campo resultante que é captado pela bobina receptora diferirá do campo primário em intensidade, fase e direção. Com isso, pode revelar a presença de corpos condutores (AQUINO, 2000).

Figura 8 – Representação espacial em meio atmosférico e em subsuperfície da propagação dos fluxos eletromagnéticos.



Fonte: extraído de SHARMA (1986).

5.1.2 Equações de Maxwell

As equações de Maxwell descrevem a propagação da energia eletromagnética como um processo misto entre os fluxos e forças elétricas e magnéticas. Desta forma, através da compreensão das propriedades elétricas e magnéticas de um meio, é possível compreender o comportamento da propagação, bem como a atenuação de energia do campo eletromagnético (OLHOEFT, 1998).

As relações vetoriais da geração de campos e de suas fontes, conforme definidas por Maxwell, são descritas por SHARMA (1986):

$$\nabla \times E = \frac{\partial B}{\partial t} \quad (1)$$

$$\nabla \times H = J + \frac{\partial D}{\partial t} \quad (2)$$

Onde E é a intensidade do campo elétrico (V/m), B é a indução magnética ou densidade do fluxo (Wb/m² ou tesla), H é a intensidade do campo magnético (A/m), J é a densidade da corrente elétrica (A/m²) e D é a polarização elétrica (C/m²).

A equação (1) estabelece a geração de um campo elétrico (E) através da variação de um campo de indução magnética (B), representando matematicamente a Lei de Faraday.

A segunda equação (2) indica que o campo magnético é produzido pelo fluxo das correntes elétricas, sendo proporcional à corrente total, que é representada pelas correntes de condução e correntes de deslocamento (AQUINO, 2000).

De forma a realizar uma correlação entre as propriedades elétricas e magnéticas de um corpo com o campo eletromagnético gerado, utilizam-se as relações constitutivas, que são:

$$D = \varepsilon \cdot E \quad (3) \quad B = \mu \cdot H \quad (4) \quad J = \sigma \cdot E \quad (5)$$

Onde: ε é a permissividade dielétrica (F/m) – no vácuo = $8,854 \times 10^{-12}$;

μ é a permeabilidade magnética (H/m) – no vácuo = $4\pi \times 10^{-7}$;

σ é a condutividade elétrica do meio (S/m).

Através destas relações constitutivas, é possível reduzir algebricamente as equações de Maxwell, tornando-as dependentes em termos de dois campos, E e H . Atribuindo a variável tempo nestes, tem-se:

$$H(t) = H_0 \cdot e^{i\omega t} \quad (6) \quad E(t) = E_0 \cdot e^{i\omega t} \quad (7)$$

Assumindo que ω (rads/s) é a frequência angular do campo ($=2\pi f$), as equações vetoriais para E e H tornam-se (TELFORD et al. 1986):

$$\nabla^2 E = i\omega\mu\sigma E - \varepsilon\mu\omega^2 E \quad (8) \quad \nabla^2 H = i\omega\mu\sigma H - \varepsilon\mu\omega^2 H \quad (9)$$

Estas equações estabelecem relações entre as propriedades físicas de permissividade dielétrica (ε), condutividade elétrica (σ) e a permeabilidade magnética (ω), que descrevem o comportamento da propagação dos vetores do campo elétrico (8) e magnético (9) considerando um meio isotrópico e homogêneo.

Porém, nos métodos eletromagnéticos são utilizadas frequências relativamente baixas, podendo-se negligenciar o segundo termo de ambas equações, que é associado às correntes de deslocamento, sobrando somente as correntes de condução, tornando-se finalmente:

$$\nabla^2 E = i\omega\mu\sigma E \quad (10) \quad \nabla^2 H = i\omega\mu\sigma H \quad (11)$$

Com o disparo elétrico da bobina, o campo resultante na bobina receptora terá duas componentes constituintes, sendo uma em fase e outra a 90° fora de fase do campo primário gerado. O sinal em fase é normalmente chamado de “real” e o sinal fora de fase costuma-se chamar de “imaginário” ou “componente em quadratura” (MILSOM, 1989).

Sendo assim, a componente primária em fase, pelo fato de ser um sinal puramente emitido, não está relacionado com a condutividade elétrica do meio, sendo possível inferir esta através do cruzamento de informações dos sinais real e imaginário. Todavia, o sinal real apresenta uma boa resposta a objetos condutivos, tais como metais enterrados, bem como computar a susceptibilidade magnética (MCNEILL, 1980).

5.1.3 – Condutímetro de solo

Segundo (MCNEILL, 1990), há duas técnicas mais populares para se fazer a aquisição dos dados que utilizam como fonte bobinas ou dipolos magnéticos, chamados *Slimgram* e Método do Condutímetro de Solo (*Ground Conductivity Meter – GCM*).

O método *Slimgram* consiste na utilização de duas bobinas, transmissora e receptora, dispostas em uma posição horizontal fixa, fazendo com que o vetor dipolo seja vertical, e que são separadas a uma distância variável considerando a profundidade do alvo a ser investigado. Ambas bobinas são conectadas por um cabo de conexão entre elas. Neste método a medição do campo secundário é feita através da comparação da intensidade do mesmo com o campo primário (indutor), sendo então medido em termos de uma porcentagem do campo primário (AQUINO, 2000).

O Método do Condutímetro de Solo (GCM), por sua vez, é muito similar ao *Slimgram*, com o diferencial de que opera em frequências muito baixas, sendo capaz de garantir profundidades de penetração (*skin depth*) maiores do que o espaçamento entre as bobinas. Segundo MCNEILL (1990), pelo fato de neste método ser necessário uma grande acuidade de calibração, para que seja definida a condutividade zero do equipamento, este fornece uma medida mais sensível da condutividade elétrica do terreno que o *Slimgram*, especialmente em áreas de alta resistividade.

Outra diferença considerável deste método é que com a mudança do eixo das bobinas – que normalmente são horizontais, numa mesma faixa de frequência – faz-se possível determinar a variação da condutividade em duas profundidades.

Adicionalmente, este método fornece uma medida da amplitude entre o sinal primário e secundário imediata no equipamento em miliSiemens por metro (mS/m), diferentemente do *Slimgram*, onde a resposta é gerada a partir de uma relação percentual entre os dois campos.

5.2 Condicionantes Geológicas

5.2.1 – Geologia Estrutural

A observação dos fenômenos geológicos e suas estruturas em campo é a forma mais direta e importante de compreender o modo como as rochas se deformam. O trabalho de campo tradicional utiliza ferramentas simples, como mapas topográficos, martelo, lupa e bússola, tendo como principal objetivo, em muitos casos, a coleta de dados das atitudes de estruturas e de amostras para a elaboração de seções delgadas, a fim de descrever com precisão o que se nota em campo. Este tipo de coleta ainda é fundamental e vem sendo auxiliado pelo uso da tecnologia, através de sistemas de posicionamento global (GPS), aerofotografias e imagens de satélite de alta resolução (FOSSSEN, 2012).

O geólogo de campo reconhece a suma importância que possui a coleta de dados de maneira física, de forma a corroborar com conhecimentos prévios

efetuados com o uso de tecnologias, tal como dados interpretados de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas (SIG).

Para fazer uso efetivo destes dados, é importante realizar estudos de análise estrutural, de forma a entender a totalidade dos processos estruturais aos quais a rocha foi submetida, para que se compreenda o produto final de uma história de deformação, que é o que se visualiza em campo (FOSSSEN, 2012).

No *sensu strictu*, uma fratura é qualquer descontinuidade plana ou subplana, delgada em uma direção em comparação às outras duas, formada por esforços externos ou internos. São caracterizadas pela perda de continuidade das propriedades mecânicas e redução ou perda de coesão. Podem ser divididas em: fraturas de cisalhamento, na qual ao longo do plano há um movimento relativo paralelo à fratura e fraturas de extensão, aquelas nas quais há extensão perpendicular às paredes da descontinuidade.

As fraturas extensionais são subdivididas em: juntas, que possuem pequenos deslocamentos extensionais através de suas superfícies; fissuras, quando há preenchimento por ar ou outro fluido; veios, no caso de haver preenchimento por minerais; e diques, quando uma fratura extensional é preenchida por um magma.

5.3 – Sistemas aquíferos

A formação de aquíferos está intrinsicamente ligada às características específicas de uma formação geológica. Fatores como a litologia, as texturas e estruturas das rochas controlam a ocorrência e o transporte de água em subsuperfície. Estas formações são classificadas em três tipos de aquíferos, levando em consideração primeiramente suas permeabilidades relativas, que são, conforme SINGHAL (1999):

- **Aquífero**

São considerados aquíferos formações rochosas naturais ou estruturas que são saturadas e que possuem boa condutividade hidráulica, de forma a ser possível extrair quantidades consideráveis de água através de poços. Consideram-se rochas sedimentares inconsolidadas, especialmente formadas por areias ou cascalhos, os melhores tipos de depósitos para armazenar água, devido a alta porosidade e

permeabilidade destas. Ainda, rochas ígneas fraturadas, rochas metamórficas, bem como rochas carbonáticas com cavidades provenientes de dissolução química, são consideradas como bons depósitos hídricos.

- **Aquitarde**

Aquitardes são rochas que não possuem uma considerável permeabilidade, impedindo que a água entre os poros da rocha movimente-se livremente. Devido a isso, são considerados insuficientes no quesito suprimento de água direto para a superfície, mas podem ser importantes como no abastecimento de aquíferos próximos a este, uma vez que há movimentação vertical de água, mesmo que a uma baixa taxa.

- **Aquiclude**

São considerados as formações potenciais no armazenamento de água, mas insuficientes no quesito transporte. São um tanto quanto raros na natureza, devido as estruturas geradas por tectônica.

- **Aquifugues**

Formações rochosa com ausência de qualquer porosidade, incapaz de armazenar e transmitir água. Têm-se como exemplo maciços cristalinos, quando não fraturados.

5.3.1 – Classificação com base na geometria e hidráulica

Como é de se esperar, toda a teorização encontrada em modelos tridimensionais didáticos em livros difere bastante do que é de fato encontrado na natureza. Formações isotrópicas heterogêneas, com grandes diferenças em espessura e geometrias dão origem a sistemas complexos de aquíferos, combinando as quatro situações citadas anteriormente no tópico **5.3** e, a partir disso, foram gerados modelos específicos da conformidade final de alguns empilhamentos estratigráficos, conforme teoriza SINGHAL (1999):

- **Aquíferos Confinados**

Considerados os aquíferos que possuem duas camadas selantes (diga-se de baixa permeabilidade) e em meio a essas uma camada porosa, onde a água ficará

armazenada. Esse conjunto de camadas está submetido a pressões superiores à atmosférica, estando confinado em profundidade.

➤ **Aquíferos Livres**

São sistemas de aquíferos também com duas camadas selantes, mas que possui uma conexão com a superfície, devido à natureza de sua continuidade lateral. Nestes, a pressão da parte superior é similar a pressão atmosférica, podendo variar no caso deste se estender a profundidades maiores.

5.3.2 Hidrogeologia em meios cristalinos

Segundo Feitosa (2008), há um consenso sobre a importância de estruturas rúpteis na criação de espaços em rochas cristalinas, que permitem o fluxo e a acumulação de água nestes meios. É muito comum a ocorrência de deformações de natureza rúptil, isto é, formação de descontinuidades físicas (tornando a rocha heterogênea e anisotrópica) na crosta superior. Isso é produto do acúmulo de esforços que excedem o limite de resistência de ruptura da rocha (FOSSEN, 2012), gerando estruturas normalmente planares. Tais rupturas vêm a ser volumes planares abertos, capazes de armazenar fluidos, e normalmente encontram-se dispersas ou concentradas em uma determinada região de uma rocha, como os exemplos da Figura 9 (FEITOSA, 2008).

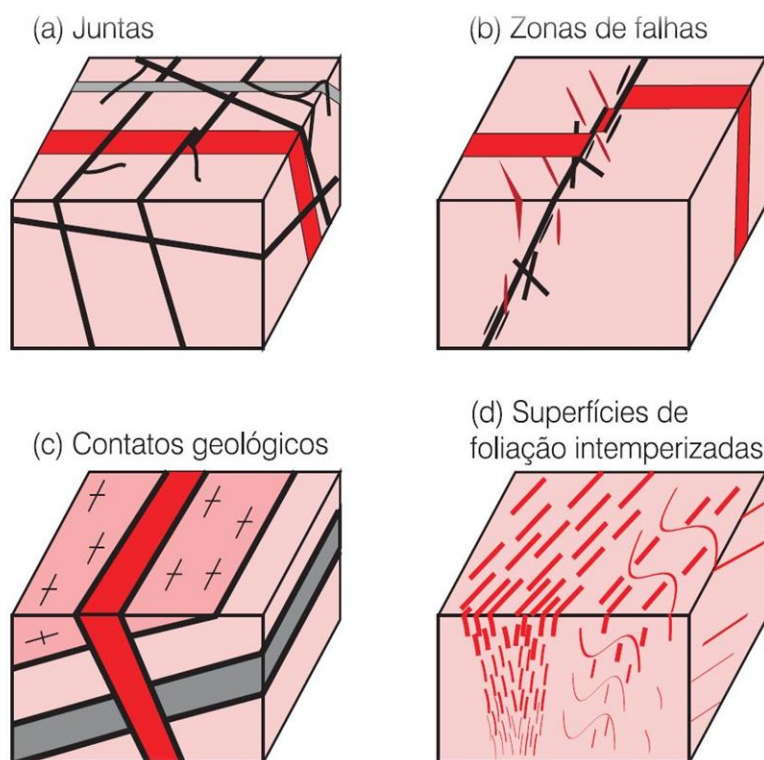
O termo fraturas engloba juntas e falhas, cuja diferença é dada pela quantidade de movimento relativo entre os blocos ao longo de um plano de descontinuidade, considerando-se juntas os casos onde há pouco movimento de acordo com a escala considerada e falhas onde a dimensão do movimento relativo situa-se na escala de metros a dezenas de quilômetros (FOSSEN, 2012). Feitosa (2008) ainda endossa que, apesar de usualmente serem representadas como planos discretos em mapas e figuras, são encontradas na natureza em formas de enxames de planos de descontinuidades de menor porte, sendo em sua maior parte subparalelos.

Outras estruturas, tais como as paredes de diques e filões, comumente possuem contrastes mecânicos em relação a suas encaixantes. Portanto, são

importantes a se considerar pela possibilidade de proverem espaços susceptíveis à locação de água nas rochas (FEITOSA, 2008).

Quanto a estruturas dúcteis, embora consideradas estruturas fechadas no sentido de que não constituem originalmente planos de descontinuidade mecânica nas rochas, podem ser “abertas” através de processos de reativação, intemperismo e descompressão, quando próximas em contato com as superfícies de menor profundidade (FEITOSA, 2008).

Figura 9 – Estruturas que controlam a ocorrência de água subterrânea em rochas cristalinas.



Fonte: extraído de Feitosa (2008).

Na avaliação dos fraturamentos regionais para condicionar o fluxo e acumulação de água subterrânea, deve-se considerar primeiramente a geometria do sistema de fraturas e suas características específicas (abertura, rugosidade, continuidade), além de sua orientação, dimensão e conectividade com diferentes famílias de fraturas, definindo a interconectividade do sistema de fraturas locais (Bradbury & Muldoon, 1994; Aydin, 2000).

Há, todavia, uma problemática neste trabalho na qual surge a necessidade de especificar que, não somente rochas cristalinas virão a ter tal comportamento, onde a água estará associada com suas estruturas. Durante a elaboração das etapas de campo, constatou-se que na área de estudo há rochas sedimentares com alto grau de litificação, que não parece ser associado com a diagênese sofrida pela rocha, mas sim com processos posteriores de aquecimento por atividade ígnea. Nota-se que em algumas porções das amostras coletadas, a matriz da rocha parece ser mais cimentada. Nestas, não há porosidade aparente, ao contrário do que se espera, e se encontra com uma rigidez que a faça comportar-se como uma rocha cristalina. Trata-se de rochas cujas características de porosidade e permeabilidade naturalmente são baixas, com um fator adicional que as torna ainda mais improdutivas.

Considerando isso, acredita-se que apesar de se tratar de uma região com rochas sedimentares, os espaços alocados para acumulação de água tenham maior influência das estruturas locais, especialmente por se tratar de uma região onde há presença de fraturas associadas a um dique, contando com menor (ou quase inexistente) influência da porosidade primária.

6. MATERIAIS E MÉTODOS

6.1 – Análise de campo

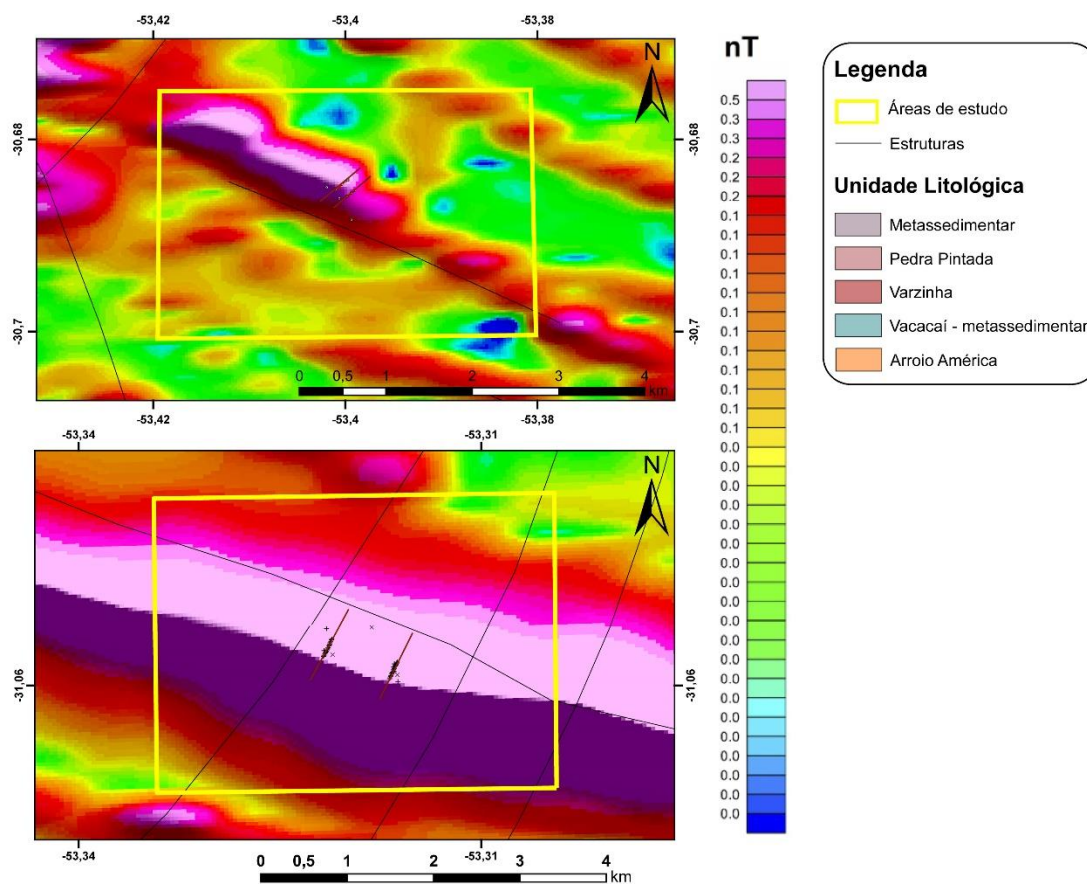
A realização da coleta de dados vem dos trabalhos de campo que foram efetuados, focando na obtenção de medidas de atitudes estruturais de rochas aflorantes, elaboração dos dados referentes a condutividade elétrica em subsuperfície (através da utilização do geocondutímetro EM34-XL), mapeamento de contatos litológicos e estruturas relacionadas à exploração de água (tais como cacimbas e charcos).

6.2 – Levantamento Geofísico

Foram efetuados levantamento de dados em dois perfis, ambos com direção preferencial NE, de forma a cortar perpendicularmente os lineamentos magnéticos, cuja orientação é NW. Para fins de demonstração destes lineamentos, foi utilizado o mapa de levantamento aeromagnético realizado por Gregory & Guadagnin (2017), que consistiu na criação de um banco de dados de SIG utilizando-se de informações brutas do levantamento geofísico aeromagnético (LASA, 2010), com posterior processamento através do *software* Oasis Montaj, possibilitando cruzar informações com os lineamentos estruturais propostos pelo projeto BANEIO (Toniolo et al., 2007), dados da Carta Cachoeira (Porcher, 2000), bem como dados disponíveis do projeto “Investigação de Lineamentos Magnéticos no Rio Grande do Sul”, coordenado pelo Prof. Dr. Tiago Rafael Gregory.

A partir disso, foram identificados alvos para se realizar os estudos, que são anomalias que se encontram dentro das áreas de estudos demarcados por retângulos pretos no mapa da Figura 10.

Figura 10 - Mapa magnetométrico de detalhe nas áreas de estudo.



Fonte: modificado de Gregory & Guadagnin (2017).

Para a coleta dos dados de campo foi utilizado o Geocondutímetro EM34-XL (Figura 11), de propriedade do Laboratório de Geociências da Universidade Federal do Pampa. Conforme já teorizado neste trabalho, este efetua leituras da condutividade elétrica aparente em subsuperfície através de interferência na propagação de ondas eletromagnéticas, permitindo atingir uma profundidade máxima teórica de investigação de 60m de profundidade.

Figura 11 - Geocondutímetro EM34-XL.



Fonte: extraído de Dall'Agnese (2015).

Para efetuar a leitura, as duas bobinas (transmissora e receptora) são dispostas a uma determinada distância, de acordo com a profundidade de investigação desejada. Para este trabalho, foram realizadas leituras considerando arranjos de bobinas em dipolos verticais (com a bobina orientada em posição horizontal) e dipolos horizontais (com a bobina orientada em posição vertical), e em três distâncias de separação entre bobinas (10, 20 e 40 metros), resultando em seis medidas para cada ponto. No entanto, destas seis medidas obtidas, duas delas correspondem a uma mesma profundidade de investigação. Todas essas medidas foram inseridas nas tabelas, que posteriormente foram interpoladas, gerando o produto final que é uma seção longitudinal da condutividade elétrica aparente.

É importante ressaltar que o ponto onde cada medida é efetuada corresponde à metade da distância de separação entre as bobinas. Para agilizar o processo de obtenção deste ponto central, primeiramente foi definido a direção do perfil, e foram cravadas estacas onde se quisesse efetuar a medida de um ponto. Organizou-se as leituras fazendo um distanciamento de metade da distância de separação para cada

um dos lados da estaca. Assim, cada um dos operadores das bobinas moveu-se metade da distância de separação para próximo ou para longe, otimizando o tempo de leitura.

Após efetuar a leitura e anotação das seis medidas de um ponto, moveu-se todo o equipamento para o próximo ponto, considerando novamente a estaca como o ponto central. Ambos os perfis foram realizados dessa forma, pois acreditou-se ser a maneira mais rápida e eficiente de aplicar o método.

6.3 – Planejamento dos perfis

Os perfis foram planejados em etapas pré-campo de forma que cortassem ortogonalmente a estrutura que dá origem as anomalias magnéticas, conforme denotado no mapa aeromagnetométrico da Figura 10.

Ao observar-se o mapa litológico com maior aproximação da área de estudo, conforme a Figura 7, percebe-se que os perfis propostos não cruzam exatamente a linha da estrutura que compartimenta a unidade geotectônica e que é responsável pela anomalia. Porém, ao analisar-se o mapa aeromagnético da Figura 10, percebe-se que as áreas escolhidas se situam exatamente acima de onde são marcadas fortes anomalias magnéticas.

Este fato pode ser derivado do uso de uma pequena escala no mapeamento regional estrutural do Rio Grande do Sul, o que pode gerar pequenos erros ao se considerar o mapa inteiro, mas que geram grande discrepância quando se trabalha em escala de detalhe. Estes dados foram interpretados e disponibilizados na forma de *shapefiles* pela CPRM (2013).

Foram efetuadas duas saídas de campo, em cada qual foram realizados dois perfis, com leituras que vieram a abranger as profundidades teóricas de investigação de 7,5, 15, 30 e 60 metros. Foram efetuadas leituras considerando os arranjos de dipolo horizontal e vertical, mesmo que estes viessem a sobrepor os dados em duas das quatro profundidades de investigação, no intuito de fornecer dados que pudessem ser posteriormente comparados e utilizados para conclusões mais específicas, se necessário. Estes perfis foram interpretados separadamente, uma vez que estão dispostos em diferentes litotipos. Foram efetuados quatro perfis, sendo os perfis 1 e 2,

conforme dispostos na Figura 7, que possuem direção 045°, ortogonalmente ao plano do lineamento que se encontra a 315°, e os perfis 3 e 4, também conforme demonstrado na Figura 7, ambos na direção 020°, dado que a crista da estrutura possui direção 290°.

6.4 Processamento dos dados do Geocondutímetro

Para a organização e preparação dos dados foi utilizado o *software* Excel, onde gerou-se uma tabela contendo variáveis X, Y e Z, onde X indicava a distância entre pontos medidos, Y a profundidade de investigação nos determinados pontos, e Z, a intensidade da condutividade elétrica. Para a variável Y, foi feita uma correção altimétrica, no intuito de inserir uma curva topográfica no perfil, realizada através da diferença entre o valor da cota obtida em campo e a profundidade de investigação teórica, derivada do método. Desta forma, foram geradas figuras cuja superfície superior é representativa da topografia do perfil.

Os dados obtidos foram inseridos em uma tabela Excel, misturando-se todos os dados, tanto os obtidos pelo arranjo vertical quanto pelo arranjo horizontal de bobinas, de forma a gerar um único perfil representativo da condutividade elétrica aparente em subsuperfície.

Posteriormente, foi feito tratamento dos dados, uma vez que havia dados com valores negativos – o que é inexistente para a condutividade elétrica, tomando-se a decisão de transformá-los em valores pouco significativos (0,1). Em seguida, efetuou-se a interpolação dos dados da condutividade aparente através do *software* SURFER, de modo a gerar seções geoeletricas de condutividade aparente nos perfis propostos, utilizando-se do método de interpolação da mínima curvatura, uma vez que este método foi o que gerou melhor erro ao utilizar análises de validação cruzada. Por fim, através da utilização do *software* Adobe Illustrator, fez-se um corte precisamente a 7,5m acima da leitura mais superficial de cada um dos pontos amostrados, de forma a gerar um perfil representativo da topografia do terreno.

7. RESULTADOS

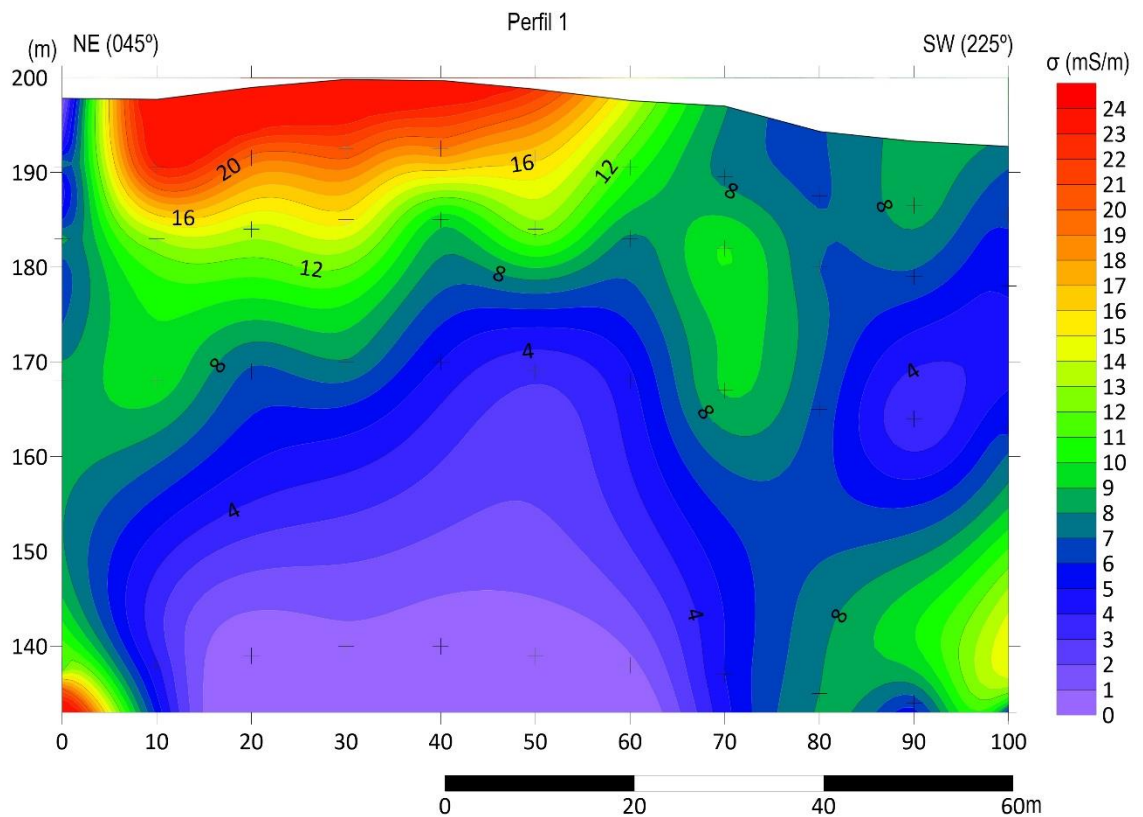
Através do levantamento geofísico utilizando o Geoncondutímetro EM34-XL foi possível elaborar quatro seções longitudinais, cujos dados interpolados contemplam as medidas de condutividade elétrica aparente, de ambos os arranjos de bobinas, que foram obtidas em campo.

Observando o Perfil 1, da Figura 12, é possível denotar áreas de altos valores de condutividade aparente, que são representado pelos valores quentes em vermelho, entre 5 e 55 metros do eixo X , a profundidades rasas, de até 20 metros. Logo abaixo dessa região, encontram-se tendências a valores frios, conforme evidenciado pelos valores frios, tendendo ao roxo. Essa tendência de baixos valores acompanha os altos valores visíveis na figura, localizando-se majoritariamente abaixo destes de forma decrescente até a profundidade máxima obtida pelo método, de aproximadamente 60 metros. Observando os valores acima de 60m do eixo X, entre 20 e 30 metros de profundidade, é possível observar uma tendência a valores mais altos verticalizados. Essa tendência acompanha lateralmente o limite dos baixos valores acima citados. No final deste perfil, entre 80 e 100 metros para o eixo X, a profundidades acima de 40 metros, nota-se uma nova aglomeração de altos valores de condutividade elétrica aparente.

Para este perfil em exclusivo, é importante salientar a presença de um poço de extração de água, muito antigo, que estava aproximadamente há uns 90 metros do final (100m no eixo X) do perfil. Porém, por questões de haver uma mata muito fechada logo após o final deste, não foi possível contemplar esta área durante a obtenção das medidas.

Todavia, há um valor que pode sugerir que seja o início da área de influência da água profunda ao qual este poço intercepta, abaixo de 50m de profundidade, na distância de 100m do perfil, marcado por um sutil aumento dos valores. Ainda assim, com um único dado medido, não é possível confirmar essa hipótese.

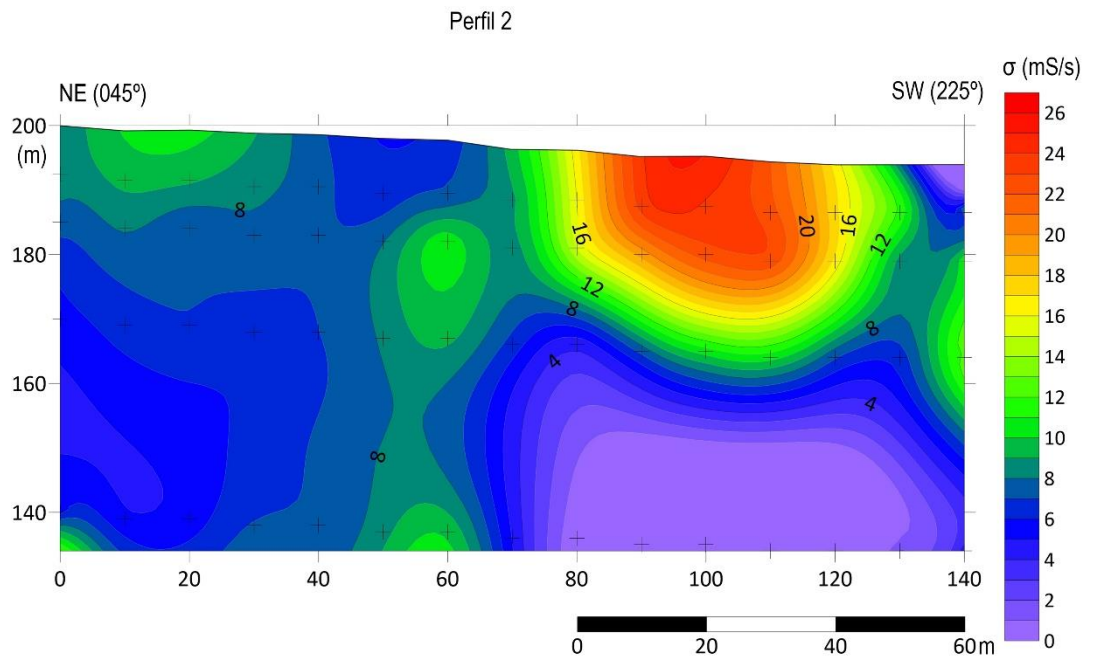
Figura 12 - Perfil longitudinal da condutividade elétrica aparente do primeiro perfil.



Fonte: autor.

Ainda no primeiro dia de campo foi realizado um segundo perfil, a aproximadamente 150m a NW do primeiro, cuja direção é paralela a este. Neste perfil é visualizada uma tendência pontual de valores altos de condutividade elétrica aparente, entre 80 e 120 do eixo X, desde a superfície topográfica até aprox. 30 metros de profundidade. Esta tendência, assim como no primeiro perfil, é acompanhada de outra tendência de baixos valores de condutividade elétrica aparente, que encontra-se exatamente abaixo desta primeira, até o limite de profundidade de investigação teórica, que é de 60 metros. Neste perfil, ainda nota-se uma tendência de valores sutilmente mais altos que o entorno, verticalizada, entre os 50 e 70m do eixo X, iniciando a 15 metros de profundidade e estendendo-se até o limite inferior da profundidade teórica de investigação máxima. Esta tendência assemelha-se com o que esperaria se encontrar caso houvesse uma estrutura planar de alto mergulho preenchida por um material mais condutivo, tal como água ou minerais.

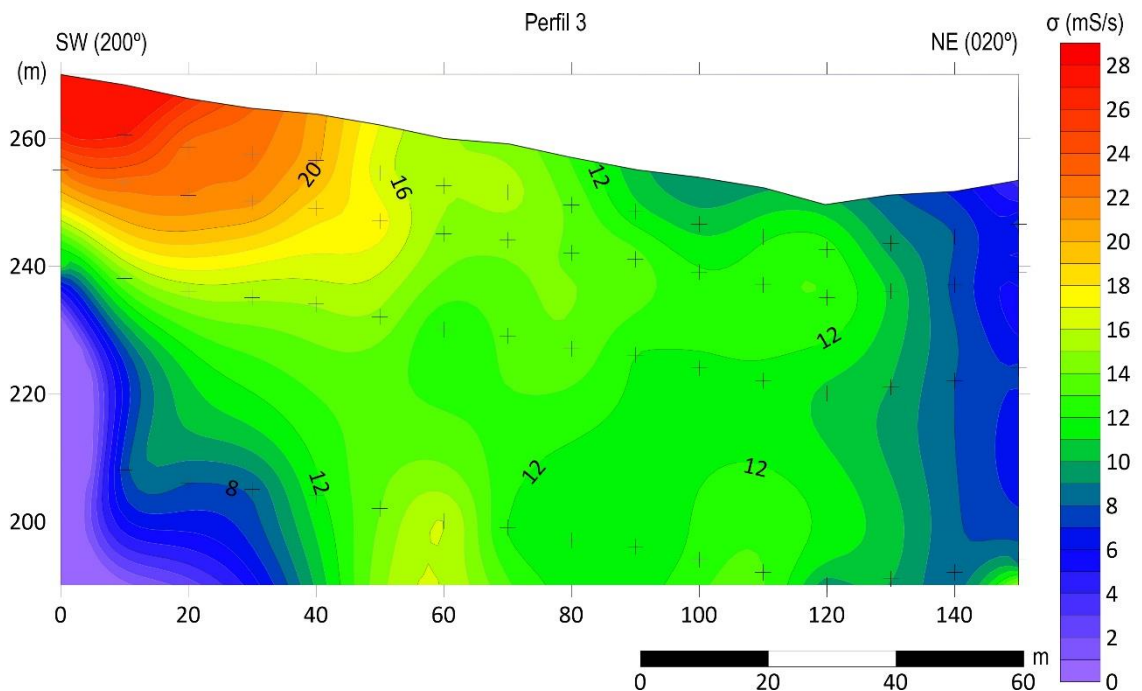
Figura 13 - Perfil longitudinal da condutividade elétrica aparente do segundo perfil.



Fonte: autor.

O perfil 3 é correspondente a um segundo dia de campo, onde foi amostrada a condutividade elétrica aparente em uma outra estrutura, mesmo que ainda fizesse parte das estruturas alinhadas a NW. Na Figura 14, correspondente ao Perfil 3, é possível destacar um agrupamento de valores altos de condutividade elétrica aparente no início deste perfil, marcados no eixo X de 0 a 40 metros, que possuem profundidade média de 20 metros. Nota-se ainda a presença de valores mais baixos de condutividade elétrica aparente no final deste perfil, apresentando-se numa tendência horizontal, a partir dos 130m do eixo X, cuja profundidade varia da superfície topográfica até a profundidade máxima de investigação de 60m. Entre estes valores, isto é, de 40 a 120m do eixo X, é possível identificar a presença de uma distribuição dispersa de valores médios de condutividade aparente, marcados pela coloração verde, esta que se apresenta por uma grande extensão lateral e praticamente toda a extensão vertical.

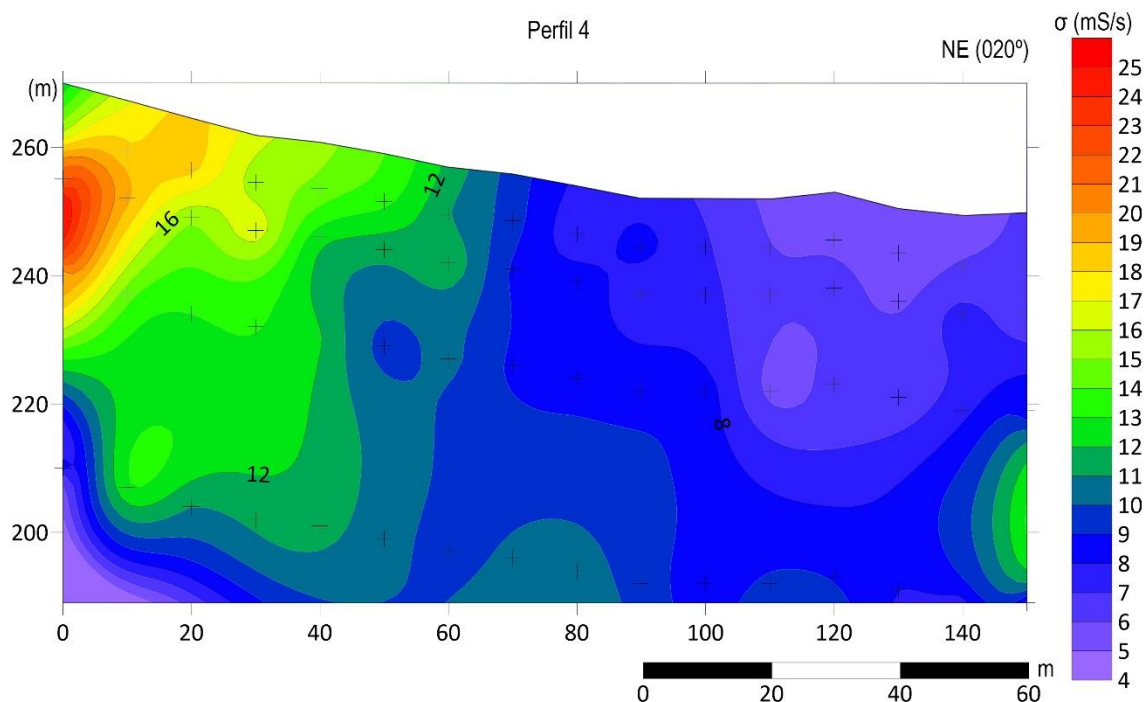
Figura 14 - Perfil longitudinal da condutividade elétrica aparente do terceiro perfil.



Fonte: autor.

O quarto perfil foi gerado considerando-se uma direção paralela ao terceiro, situando-se mais a NW deste, na tentativa de encontrar a continuidade lateral do fenômeno geológico que estava sendo responsável pela anomalia do Perfil 3. É possível visualizar, de acordo com a figura 15, duas tendências bastante distintas quanto aos valores de condutividade elétrica aparente. A esquerda deste perfil, compreendendo de 0m a 60m do eixo X, encontram-se valores médios a altos, com uma concentração pontual de valores altos de condutividade elétrica aparente no que tange aproximadamente $X=0\text{m}$ e profundidade de 20 a 30 metros. Esta tendência mostra-se bastante localizada. Ainda é possível visualizar uma concentração de valores baixos de condutividade elétrica aparente, compreendendo de 60m a 150m no eixo X. Esta apresenta boa distribuição de valores baixos, compreendendo uma rocha pouco resistiva. Entre 40 e 60m no eixo X, nota-se a presença de tendências orientadas quase que verticalmente, estendendo-se do topo (cota topográfica) até a base (profundidade máxima de investigação de 60m) do perfil. Esta tendência lembra o que se espera ver ao tratar-se de um contato litológico com uma certa inclinação, uma vez que é notada uma grande discrepância entre os dois lados, marcados por esta tendência verticalizada mergulhante a SW.

Figura 15 - Perfil longitudinal da condutividade elétrica aparente do quarto perfil.



Fonte: autor.

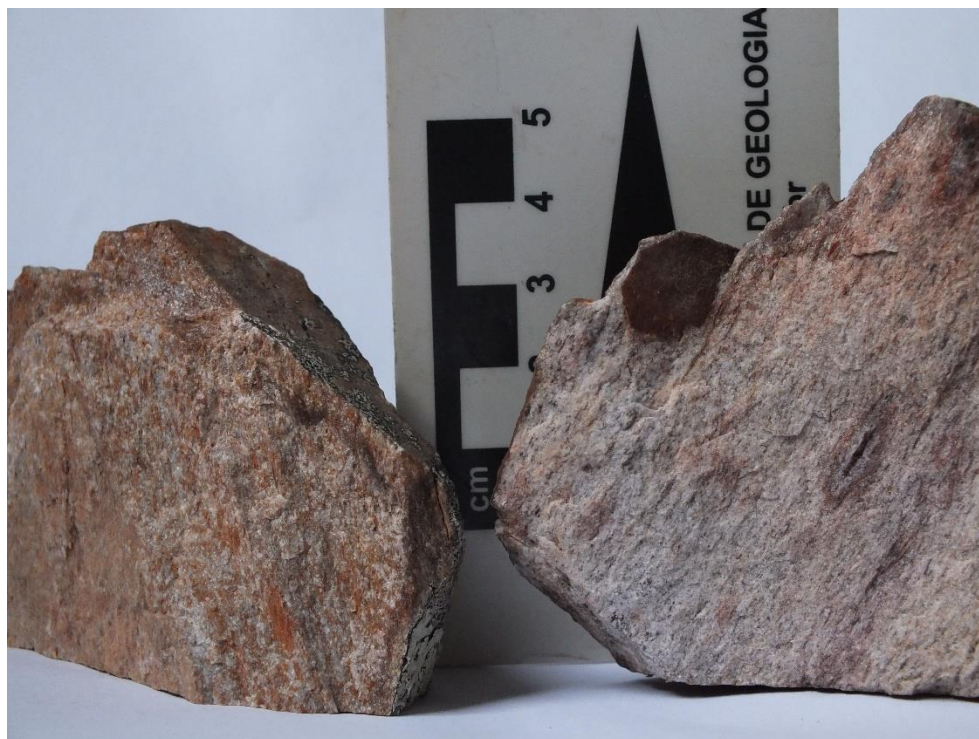
Durante a etapa da elaboração dos campos, foi vista uma característica nas rochas aflorantes que passou a ser um ponto a ser considerado na avaliação do potencial hidrogeológico da área. As rochas *in-situ* apresentavam um aspecto de “cozimento”, denotado pela existência de um alto grau de cimentação da matriz litificação das rochas em questão. Este fator pode estar associado com a presença do próprio corpo ígneo, que em seu momento de ascensão e inserção no sistema estrutural presente, a temperatura do mesmo pode ter sido um fator que contribuiu para esta característica. De forma a compreender melhor esta situação, foram coletadas amostras em campo para demonstrar esta característica marcada na rocha, que apresenta-se na forma de um aspecto mais vítreo nas amostras. Pode-se notar, nas extremidades das rochas das Figuras X e Y, correspondentes aos perfis 1, 3 e 4, respectivamente.

Figura 16 - Amostra da rocha sedimentar coletada em campo acima do Perfil 1.



Fonte: autor.

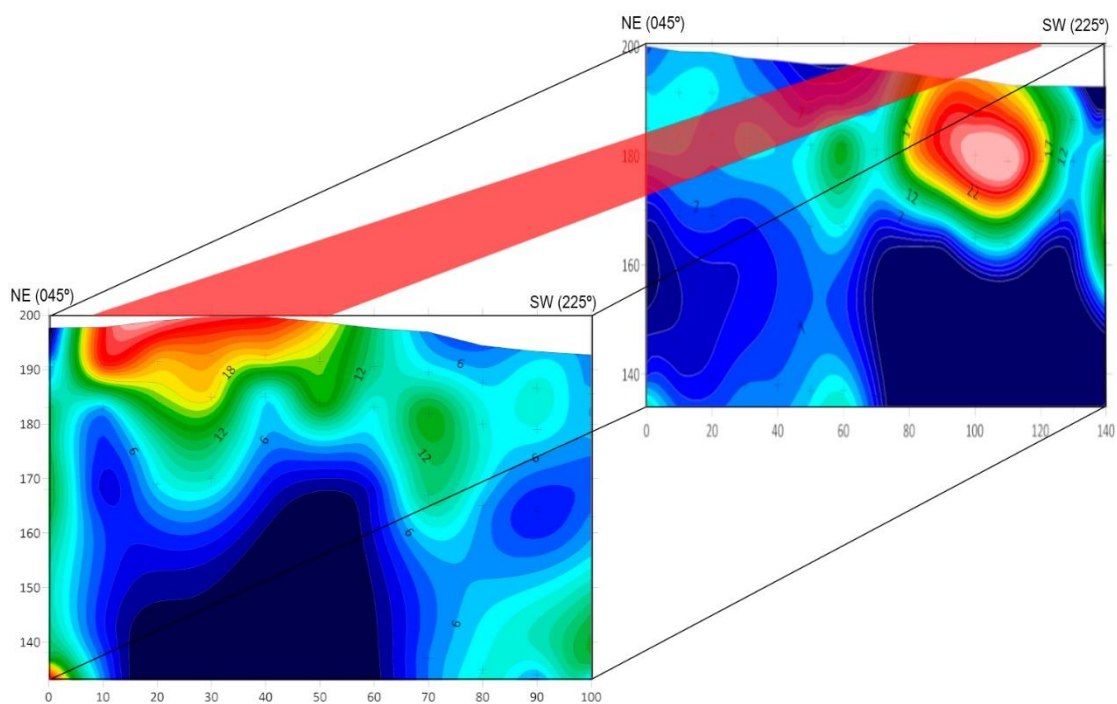
Figura 17 - Amostras de rocha metamórfica (quartzito) coletadas nos perfis 3 e 4, respectivamente.



Fonte: autor.

Foi gerado ainda um modelo demonstrativo simples de como se imagina ser a orientação do corpo ígneo presente, levando em consideração duas figuras representativas do perfis 1 e 2.

Figura 18 - Modelo representativo do corpo ígneo.



Fonte: autor.

8. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Conforme foi possível destacar na interpretação dos resultados a partir dos perfis longitudinais gerados, há valores bastante discrepantes em algumas regiões, apresentados como cores quentes, que sugerem a presença de corpos em subsuperfície. As áreas de estudo foram estrategicamente definidas de forma a interceptar corpos ígneos em profundidade, estes que são pertencentes a Formação Serra Geral, tratando-se morfologicamente *a priori* de diques alimentadores do vulcanismo que deu origem a essa formação. Os resultados permitem sugerir que na verdade estes diques formam um sistema estrutural mais complexo, podendo contar também com soleiras.

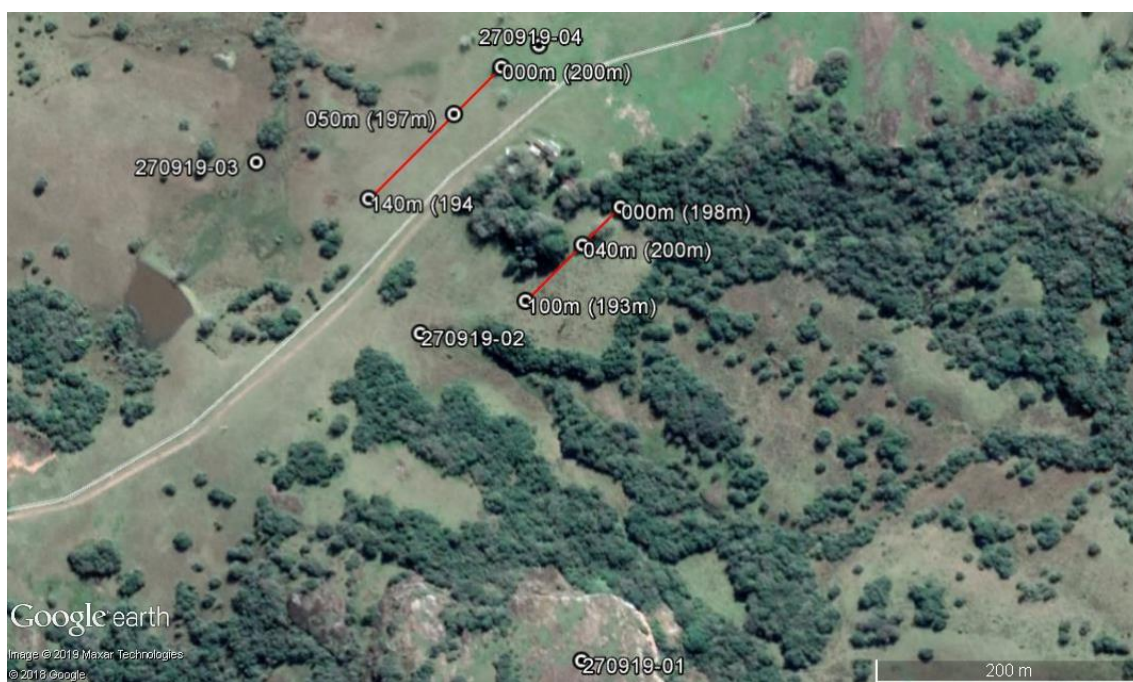
Aliado a isso, tinha-se a ideia de fazer levantamentos que fossem capazes de sugerir ou negar a hipótese de haver presença de água associada a essas formações. Porém, foram encontradas problemáticas durante a realização da revisão bibliográfica do estudo que sugeriram que as chances de encontrar-se água de fato eram muito baixas, visto que além de se tratar de rochas com uma baixa porosidade derivada de sua cimentação diagenética, também se encontrou um efeito de “cozimento” na rocha, derivado de um aquecimento proveniente da atividade ígnea, gerando um grau de cimentação e litificação ainda maior. Isso age em desfavor da possibilidade de haver aquíferos associados às estruturas presentes.

Nos resultados obtidos do primeiro dia de campo, foi levantada uma hipótese de que haja uma continuidade lateral entre os altos valores medidos, na qual foi feita uma representação ilustrativa (Figura 18) de onde poderia estar localizado este corpo entre os perfis. Esta interpretação faz sentido pois estes valores encontram-se alinhados quase que perfeitamente com o centro da área de influência dessa anomalia magnética. Concluiu-se que a presença de altos valores esteja associada com um corpo ígneo de alta responsividade a variável investigada, cuja profundidade não ultrapassa a marca de 30 metros da superfície topográfica. Nota-se, inclusive, que as direções preferenciais de altos valores que são verticalizadas, se repetem em ambos os perfis, nas duas vezes estando à NE dos locais com concentração de maiores valores. Isso reforça a hipótese de não se tratar somente de diques, mas de também haver soleiras associadas a essas estruturas.

Os resultados são satisfatórios a respeito das condições estruturais dos corpos ígneos, mas não suficientes para cumprir o objetivo de explorar a possibilidade de haver água associada as estruturas. As rochas adjacentes a este corpo denotam um alto grau de cimentação, como acima citado, devido a este “cozimento” derivado da atividade ígnea, fazendo com que algumas porções possuam matriz mais cimentada, conforme a foto da Figura 1. Apesar disso, foi possível identificar charcos próximos (ponto 270919-03 na Figura 19), além de um açude com uma cacimba, de onde os moradores locais coletam água, há aproximadamente 90m à SW do perfil, conforme indicado no ponto “270919-02” da Figura 19.

Ainda assim, devida a presença de valores intermediários nos perfis, sugere-se que no caso de haver presença de aquíferos na região, estes estariam associados ao sistema de fraturas como um todo.

Figura 19 - Demonstração dos perfis em planta e local dos pontos mapeados do primeiro dia de campo (27/09/19).



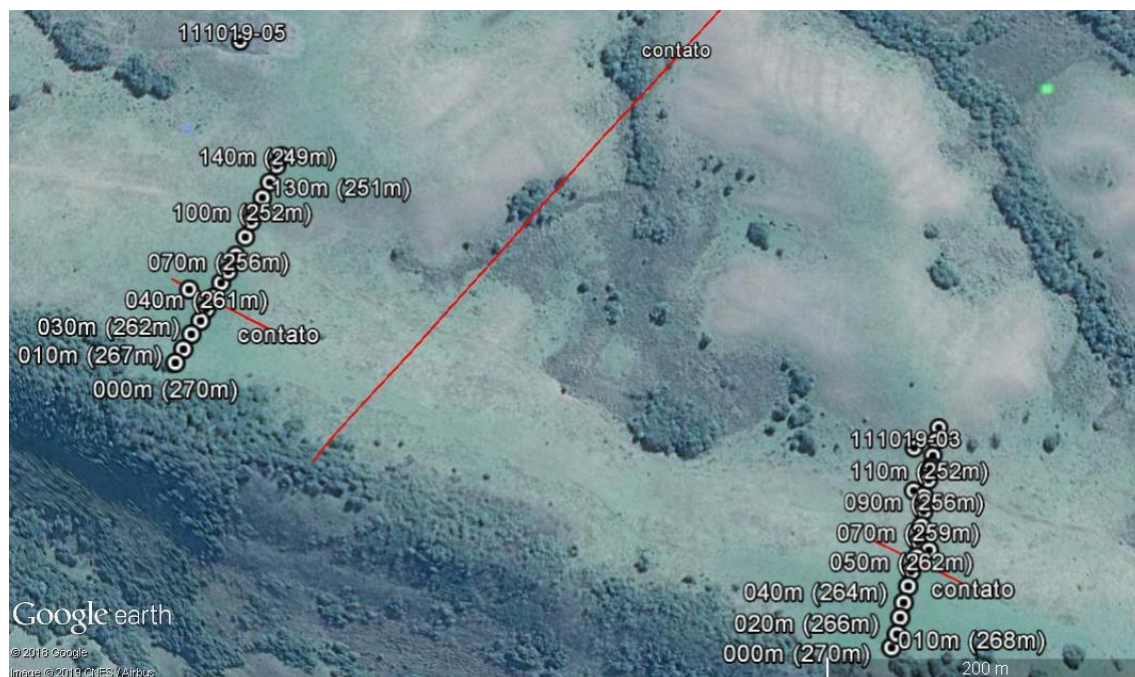
Fonte: Google Earth.

Nos resultados obtidos do segundo dia de campo há uma menor relação entre os dois perfis realizados. No primeiro perfil do segundo dia notam-se duas tendências de valores altos: uma que possui um caráter horizontal e outra que aparenta tocar a primeira, mas que é orientada verticalmente. Estas tendências vêm a corroborar com a hipótese de que as estruturas identificadas não sejam somente diques, mas também soleiras. O segundo perfil do segundo dia, por sua vez, mostra esta

tendência, mas com menos detalhe e amplitude. Isso pode não estar relacionado com a conectividade lateral do corpo ígneo, mas sim com uma medida realizada num local que não atingiu os dois lados deste corpo, uma vez que os valores altos são presentes somente no início do perfil, carecendo detalhe sobre o que há a SW do perfil realizado. Ainda para este segundo perfil, é possível notar que a partir da metade ($X=60m$) deste perfil, as características da distribuição de valores mudam bastante, tornando-se mais homogênea em valores baixos. Acredita-se que essa variação seja proveniente de um contato litológico.

As observações sobre a geologia local, como a existência de blocos e matacões acima de onde há valores altos e a não existência destes blocos nas regiões de valores baixos, confirmam a hipótese de que há um contato litológico, aproximadamente na distância para o eixo $X=60m$. Foram coletadas amostras em campo para posterior conferência, sugerindo-se que na verdade o contato não é dado entre o corpo ígneo e uma rocha sedimentar, mas sim, uma rocha metamórfica. Ao longo do perfil, a partir de onde deixaram de existir os blocos de rocha ígnea, passaram a aparecer blocos e matacões de quartzitos foliados, que exibiam um brilho intenso sugerindo que também possam ter passado pelo processo que deu origem ao aspecto “cozido” (Figura 23). Estes contatos foram mapeados e estão conforme a Figura 20, que vai de encontro com o mapa da CPRM, da Figura 7, uma vez que este sugere que o contato seja com uma rocha sedimentar.

Figura 20 - Demonstração dos perfis, contatos e pontos mapeados ao longo do segundo dia de campo (11/10/19).



Fonte: Google Earth.

A presença de valores intermediários próximos a orientação verticalizada que descreve o contato litológico dos perfis 3 e 4 sugere que possa haver um sistema de aquífero, provavelmente fissural, associado a estas rochas. Contudo, sugere-se pesquisas mais aprofundadas para compreender melhor como é a geologia estrutural da região e aplicação de sensoriamento remoto para compreender como se comporta a hidrografia da região, a fim de sugerir possíveis pontos onde há maior potencial aquífero.

REFERÊNCIAS

AQUINO, W. F. **Métodos geofísicos eletromagnéticos aplicados ao diagnóstico da contaminação do solo e das águas subterrâneas em área de infiltração de resíduos industriais.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2000.

AYDIN, A. **Fractures, faults, and hydrocarbon entrapment, migration and flow.** Marine and petroleum geology, v. 17, n. 7, p. 797-814, 2000.

BELLIENI, G. et al. **Flood basalt to rhyolite suites in the southern Parana Plateau (Brazil): palaeomagnetism, petrogenesis and geodynamic implications.** Journal of Petrology, v. 25, n. 3, p. 579-618, 1984.

BRADBURY, K. R.; MULDOON, M. A. **Effects of fracture density and anisotropy on delineation of wellhead-projection areas in fractured-rock aquifers.** Applied Hydrogeology, v. 2, n. 3, p. 17-23, 1994.

BRITO NEVES, B. B. **A História dos Continentes – Trajetórias e tramas tectônicas: A Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida,** São Paulo: Beca Produções Culturais Ltda, p. 123-149, 2004.

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

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Projeto Atlas Pluviométrico do Brasil.** Escala 1:1.000.000. 2009.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul.** Escala 1:750.000. 2013

DE ALMEIDA, F. F. M. et al. **Brazilian structural provinces: an introduction.** Earth-Science Reviews, v. 17, n. 1-2, p. 1-29, 1981.

FEITOSA, F. A. C. et al. **Hidrogeologia Conceitos e Aplicações**. 3ª ed. Rio de Janeiro: CPRM LABHID, p. 95-172, p. 177-318, 2008.

FERNANDES, L. A. D., MENEGAT, R.; COSTA, A. F. U.; KOESTER, E.; PORCHER, C. C.; TOMMASI, A.; KRAEMER, G.; RAMGRAB, G. E. & CAMOZZATO, E. **Evolução Tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-rio-grandense: Parte I – uma contribuição a partir do registro geológico**. Revista Brasileira de Geociências, 25(4): 375-384. 1995.

FOSSSEN, H. **Geologia Estrutural**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

FRAGOSO-CESAR, A. R. S. **O cráton Rio de la Plata e o cinturão Dom Feliciano no escudo Uruguaio-Sul-Rio-grandense**. XXXI Congresso Brasileiro de Geologia. Camboriú: Anais, p. 2879-2882, 1980.

FRAGOSO-CESAR, A. R. S. et al. **A Bacia Camaquã: um sistema intracontinental anorogênico de rifts do Neoproterozóico III-Eopaleozóico no Rio Grande do Sul**. SBG, Enc. Estrat. RS–Escudos e Bacias, v. 1, p. 139-144, 2003.

HARTMANN, L. A.; LEITE, J. A. D.; SILVA, L. C.; REMUS, M. V. D.; MCNAUGHTON, N. J.; GROVES, D. I.; FLETCHER, I. R.; SANTOS, J. O. S & VASCONCELLOS, M. A. Z. **Advances in SHRIMP geochronology and their impact on understanding the tectonic and metallogenic Evolution of southern Brazil**. Australian Journal of Earth Sciences, 47: 829-844, 2000.

HARTMANN, L. A.; CHEMALE JR., F.; PHILIPP, R. P. **Evolução geotectônica do rio Grande do Sul no pré-cambriano**. Ianuzzi R. & Frantz J.C. (Org.), v. 50, p. 97-123, 2007.

HASUI, Yociteru. **A grande colisão pré-cambriana do sudeste brasileiro e a estruturação regional**. Geociências, p. 141-169, 2010.

HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A. C.; CAMPOS NETO, M. D. C.; SILVA, L. D.; TROUW, R. A. J.; JANASI, V. D. A. **Província Mantiqueira. Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**, São Paulo: Beca Produções Culturais Ltda, p. 203-235, 2004.

JOST, H.; BITENCOURT, M. F. **Estratigrafia e tectônica de uma fração da Faixa de Dobramentos Tijucas no Rio Grande do Sul**. Acta Geologica Leopoldensia, v. 4, n. 7, p. 27-60, 1980.

LOWRIE, William. **Fundamentals of geophysics**. Cambridge university press, 2007.

LUSA, M.; PHILIPP, R. P.; NARDI, L. V. S. **Geoquímica e petrologia dos metagranitos porfíricos e equigranulares do Complexo Encantadas, Santana da Boa Vista, RS: evolução final de um arco de margem continental ativa do Paleoproterozoico**. Rev. Bras. Geociências, v. 40, p. 151-166, 2010.

MCNEILL, J. Duncan. **Electromagnetic terrain conductivity measurement at low induction numbers**. Mississauga, Geonics, (Canada), p15. (Technical note TN-6), 1980.

MCNEILL, J. Duncan. **Use of electromagnetic methods for groundwater studies**. Geotechnical and environmental geophysics, v. 1, n. 5, p. 191-218, 1990.

MILSOM, J. **Field geophysics**. Geological Society of London Handbook, 1^a ed., p.107-122, 1989.

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.

OLHOEFT, Gary R. **Electrical, magnetic and geometric properties that determine ground penetrating radar performance.** In: Proceedings of GPR. p. 177-182, 1998.

PAIM, P. S. G.; LOPES, R. C.; CHEMALE JR, F. **Aloestratigrafia, sistemas deposicionais e evolução paleogeográfica da Bacia do Camaquã-Vendiano Superior/Ordoviciano Inferior do RS.** Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, v. 4, p. 39-50, 1995.

PAIM, P.S.G.; CHEMALE JR., F.; F & LOPES, R. C. **A Bacia do Camaquã.** In: Holz, M. & De Ros, L.F. (Ed.): Geologia do Rio Grande do Sul. CIGO/Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 231-274. Porto Alegre, 2000.

PAIM, P. S. G.; CHEMALE JR, F.; WILDNER, W. **Estágios evolutivos da Bacia do Camaquã.** Ciência Nat, v. 36, 2014.

PHILLIP, R. P.; MACHADO, R. & CHEMALE JR., F. **Geração dos Granitoides Neoproterozoicos do Batólito Pelotas: Evidências da composição isotópica de Nd e Sr e implicações para o crescimento continental da porção sul do Brasil.** 50 anos de geologia: Instituto de Geociências: contribuições, 2007.

PICADA, R. S. **Ensaio sobre a tectônica do Escudo Sul-Rio-Grandense. Caracterização dos sistemas de falhas.** Congr Bras Geol, v. 25, p. 167-191, 1971.

PICCIRILLO, E. M. et al. **Petrogenetic aspects of continental flood basalt-rhyolite suites from the Paraná Basin (Brazil).** In: Abstracts. 1988.

ROSA-FILHO, F. D. R.; ROSTIROLLA, S. P. **Compartimentação magnética-estrutural do Sistema Aquífero Serra Geral e sua conectividade com o**

Sistema Aquífero Guarani na região central do Arco de Ponta Grossa (Bacia do Paraná). Revista Brasileira de Geociências, v. 35, p. 369-381, 2005.

SHARMA, P. V. **Environmental and engineering geophysics.** Cambridge university press, 1997.

SHARMA, P. V. **Geophysical methods in geology.** 2^a ed. Amsterdam, Elsevier, p.303-330, 1986.

SINGHAL, B.B.S.; GUPTA, R.P. **Applied Hydrogeology of Fractured Rocks.** 2^a ed., Kluwer Academic Publishers, p.8-10, 1999.

SOLIANI JR, E. **Os dados geocronológicos do Escudo Sul-rio-grandense e suas implicações de ordem geotectônica.** Tese de Doutorado, 425p. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1986.

TONIOLO, J. A.; GIL, C. A. A.; SANDER, A. **Metalogenia das Bacias Neoproterozóico–Eopaleozóicas do Sul do Brasil: Bacia do Camaquã.** Projeto BANEIO, 2007.

TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E.; KEYS, D. A. **Applied geophysics.** Cambridge, University of Cambridge, p.860, 1986.