

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

LUCAS MATEUS BELING

**ANÁLISE ESPACIAL PARA CARACTERIZAÇÃO DO POTENCIAL
HIDROGEOLÓGICO DE VALE DO SOL, RS**

CAÇAPAVA DO SUL – RS

2021

LUCAS MATEUS BELING

**ANÁLISE ESPACIAL PARA CARACTERIZAÇÃO DO POTENCIAL
HIDROGEOLÓGICO DE VALE DO SOL, RS**

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

Orientador: Prof. Dr. Maximilian Fries

Co-Orientadora: Msc. Marieli Machado Zago

**CAÇAPAVA DO SUL – RS
2021**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

B431a Beling, Lucas Mateus

ANÁLISE ESPACIAL PARA CARACTERIZAÇÃO DO POTENCIAL
HIDROGEOLÓGICO DE VALE DO SOL, RS / Lucas Mateus Beling.
48 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2021.

"Orientação: Maximilian Fries".

1. Análise espacial . 2. Hidrogeologia. 3. Poços tubulares.
4. SIG. I. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal do Pampa

LUCAS MATEUS BELING

**ANÁLISE ESPACIAL PARA CARACTERIZAÇÃO DO POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO DE
VALE DO SOL, RS**

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

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em:

04 de maio de 2021.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Maximilian Fries

Orientador

UNIPAMPA

Prof. Dr. Igor Magalhães Clemente

UNIPAMPA

Msc. Lenon Melo Ilha

UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **MAXIMILIAN FRIES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 12/05/2021, às 13:05, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **IGOR MAGALHAES CLEMENTE, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 12/05/2021, às 14:46, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **LENON MELO ILHA, Técnico de Laboratório Área**, em 13/05/2021, às 10:30, 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 **0523624** e o código CRC **21F28E83**.

Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul

RESUMO

A aplicação de informações digitais a partir de dados indiretos como o sensoriamento remoto consiste em uma efetiva ferramenta de baixo custo e eficaz em comparação com os tradicionais trabalhos investigativos em campo. Quando associado a informações diretas pontuais e sucintas das áreas de interesse oferece importantes elementos em uma determinada área agregando qualidade, baixo custo e rapidez. O presente trabalho de pesquisa é um estudo hidrogeológico utilizando dados de sensoriamento remoto integrados a informações geológicas no município de Vale do Sol, estado do Rio Grande do Sul. Especificamente, foram aplicadas técnicas de geoprocessamento, análise espacial baseada em múltiplos critérios e verificações em campo utilizando dados indiretos de densidade de lineamentos, litologias, solos, drenagens e características do terreno como a declividade. Como complemento, utilizou-se dados diretos como informações de poços tubulares e de geologia. A partir do uso de *softwares* específicos, geração de base de dados integrada, mapas temáticos e dados diretos da área de interesse os resultados consistem em importante acréscimo ao conhecimento sobre a hidrogeologia do município de Vale do Sol. Auxiliam, também, na identificação de áreas potenciais e diagnóstico hidrogeológico em escala regional. A integração e processamento dos dados serviram como suporte à geração de um mapa hidrogeológico com identificação de domínios (alto, médio e baixo potencial). Estas informações consistem em importantes elementos na alocação de poços, beneficiando a população local e a economia do município. Adicionalmente, proporciona para gestores e pesquisadores uma rotina metodológica de trabalho útil a ser aplicada em trabalhos futuros em áreas análogas.

Palavras-chave: SIG, Geoprocessamento, Poços tubulares.

ABSTRACT

The application of digital information from indirect data such as Remote Sensing is an effective, low-cost and effective tool compared to traditional investigative work in the field. When associated with punctual and succinct direct information on the areas of interest, it offers important elements in a given area, adding quality, low cost and speed. The present work proposes to carry out a hydrogeological study using remote sensing data integrated with geological information in the county of Vale do Sol, state of Rio Grande do Sul. Specifically, it is intended to apply geoprocessing techniques, spatial analysis based on multiple criteria and field checks using indirect data on the density of lineaments, lithologies, soils, drainages and terrain characteristics such as slope. As a complement, direct data such as information from tubular wells and geology were used. From the use of specific software, generation of an integrated database, thematic maps and direct data of the area of interest, the results consist of an important addition to the knowledge about the hydrogeology of the county of Vale do Sol. They also help in the identification of areas potential and hydrogeological diagnosis on a regional scale. The integration and processing of the data served as support for the generation of a hydrogeological map with identification of domains (high, medium and low potential). This information consists of important elements in the allocation of wells, benefiting the local population and the county's economy. Additionally, it provides managers and researchers with a useful methodological work routine to be applied in future work in similar areas.

Keywords: GIS, Geoprocessing, Tubular wells.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- mapa de localização da área de estudo, limite do município de Vale do Sol.	8
Figura 2- mapa dos domínios geológicos do RS.	10
Figura 3: mapa geológico do município de Vale do Sol.	11
Figura 4: fluxograma de atividades durante a elaboração do trabalho.	19
Figura 5: mapa de pontos visitados e poços tubulares	20
Figura 6: foto mosaico dos pontos 3, 4, 5 e 6. A) Afloramento e pedreira. B) Afloramento em corte de estrada. C) Afloramento em corte de estrada com estrutura acamadada. D) Afloramento em pedreira com dobra de fluxo.	22
Figura 7: fotos das amostras de mão da Fácies Gramado, com textura média a esquerda (afloramento A) e textura fina a direita (afloramentos B, C e D).	23
Figura 8: fotos do afloramento da Fácies Caxias em corte de estrada	23
Figura 9: amostra de mão de riodacito pertencente a Fácies Caxias.	24
Figura 10: foto do afloramento no Ponto 1 e amostra de mão.	25
Figura 11: foto do afloramento descrito no Ponto 7 (esquerda) e amostra coletada (à direita).	25
Figura 12 : mapa de declividade e drenagens do município.	27
Figura 13: mapa de densidade de drenagens.	27
Figura 14: modelo digital de elevação do município.	28
Figura 15: mapa geológico do município de Vale do Sol	29
Figura 16: mapa de lineamentos.	30
Figura 17: mapa de densidade de lineamentos.	31
Figura 18: mapa de solos do município.	32
Figura 19: mapa de potencial hidrogeológico integrado a informações diretas.	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tabela com o número de poços nos estados brasileiros.	16
Tabela 2: Informações hidrológicas de poços tubulares.	21
Tabela 3: pesos de cada categoria e ranking dos seus critérios.	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASF	Alaska Satélite Facility
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias
ESA	European Space Agency
EUA	Estados Unidos da América
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LIP	Large Igneous Province
MDE	Modelo Digital de Elevação
NASA	National Aeronautics and Space Administration
ND	Nível Dinâmico
NE	Nível Estático
SIAGAS	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
URSS	União das Repúblicas Socialistas Soviéticas
USGS	United States Geological Survey
WMCA	Weighted Multi-Criteria Analysis

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
2 OBJETIVOS	6
2.1 Gerais.....	6
2.2 Específicos	6
3 JUSTIFICATIVA	6
4 ÁREA DE ESTUDO.....	8
4.1 Contexto geológico regional.....	9
4.2 Contexto geológico local.....	9
4.3 Província hidrogeológica paraná com ênfase na área de estudo.....	11
5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
5.1 Sensoriamento remoto - imagens de satélites.....	13
5.1.2 Histórico	13
5.1.3 Principais agências e produtos	14
5.2 Dados hidrogeológicos e formas de disponibilização em formato digital.....	16
5.4 Aplicação de sensoriamento remoto em estudos hidrogeológicos.....	17
6 MATERIAIS E MÉTODOS	18
6.1 Compilação e geração de base de dados:.....	18
6.2 Integração de dados e geração de mapas.....	18
6.3 Análise e interpretação.....	19
7 RESULTADOS E DISCUSSÕES	19
7.1 Dados diretos.....	20
7.1.1 Dados de poços tubulares.....	21
7.1.2 Verificação de afloramentos na área	21
7.2 Dados indiretos	25

7.2.1 Mapa de declividade e drenagens.....	26
7.2.2 Modelo Digital de Elevação	28
7.2.3 Mapa geológico	29
7.2.4 Mapa de lineamentos.....	30
7.2.7 Mapa de solos	31
7.3 Parâmetros do comportamento hidrogeológico – Classificação	32
7.4 Integração dos resultados	34
8 CONCLUSÕES.....	35
9 REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

Ao longo da história as habitações humanas sempre dependeram de fontes próximas de água para estabelecer comunidades e garantir a subsistência destas. Ainda hoje pode-se observar que as grandes cidades se localizam próximas à costa e a grandes cursos de rios (drenagens). Para garantir a longevidade e sustentabilidade dos povos, a oferta de água em quantidade suficiente é fundamental. Como exemplo, pode-se citar o Egito antigo, onde o rio Nilo sempre representou a principal fonte de subsistência fornecendo água para a população e tornando o solo fértil para as plantações. Com o crescente aumento da população concentrado especialmente nos grandes centros urbanos, este recurso vem se tornando cada vez mais escasso acarretando na falta de água para os habitantes. Muitos fatores contribuem para a escassez de água, sendo os principais o crescimento populacional (aumento do consumo), uso e instalação indiscriminada de poços profundos sem prévios estudos, desmatamento, desperdícios e a falta de gerenciamento.

A utilização da água subterrânea é uma alternativa muito explorada em locais onde a disponibilidade de água superficial é limitada ou é imprópria para o consumo devido às atividades humanas. Regiões áridas, onde não há grandes volumes de água superficial, podem ser muito beneficiadas (YOUSIF *et al*, 2018). Segundo (FEITOSA, 2008, p.13) o manancial subterrâneo constitui o maior volume de água doce que ocorre na Terra de forma líquida, da ordem de 10,3 milhões de km³, enquanto os rios e lagos acumulam cerca de 104 mil km³. A água proveniente de aquíferos em geral é menos contaminada visto que as camadas de solo e rocha agem como filtros de impurezas durante a infiltração.

No entanto, a definição de um local para perfuração de um poço não é uma tarefa simples. Poços perfurados sem estudos geológicos prévios ou sem respeitar as normas e protocolos existentes possuem significativo risco de falhas no projeto. Tendo-se em vista que os custos de perfuração de poços são elevados, os estudos prévios não devem ser considerados como etapas desnecessárias, mas sim, como um importante elemento na qualidade destes, sendo, portanto, um investimento. Sendo a perfuração de um poço uma atividade onerosa, a má alocação do mesmo acaba por desperdiçar recursos financeiros. Estudos como o de FREITAS (1998) apontam para a dificuldade encontrada por hidrogeólogos para a alocação de poços, principalmente em rochas ígneas e metamórficas (aquíferos fissurais).

Nas últimas décadas as novas tecnologias, *softwares*, equipamentos e metodologias representam um significativo incremento na identificação, análise e interpretação em estudos

hidrogeológicos e, de forma mais abrangente nas geociências. Os denominados Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) atualmente disponíveis oferecem a possibilidade de processamento e integração de dados fornecendo informações e resultados relevantes. Além disso, esses resultados oferecem significativos elementos preliminares que podem ser integrados posteriormente aos estudos de campo, tornando assim o resultado mais acurado.

A crescente evolução dos sistemas computacionais, velocidade de processamento de dados constituem os principais fatores no salto qualitativo dos últimos anos dentro dos SIGs. A obtenção de uma acuracidade e resolução são mais complexos exigindo maior volume de processamento (memória e velocidade). Estas características representavam o principal fator limitante ao uso mais abrangente destas técnicas de SIG.

2 OBJETIVOS

2.1 Gerais

Realizar um estudo hidrogeológico no auxílio a definição de áreas potenciais para alocação de poços tubulares no município de Vale do Sol, estado do Rio Grande do Sul.

2.2 Específicos

- Gerar base de dados integrada a partir de informações pré-existentis (poços tubulares, pedologia, litologia, topografia, declividade, drenagens e lineamentos);
- Detectar e definir lineamentos estruturais associáveis ao potencial hidrogeológico;
- Delimitar zonas correlacionáveis a áreas com maior acúmulo de água subterrânea;
- Integrar informações e resultados a base de dados de sensoriamento remoto a fim de validar os resultados (parametrização).
- Instituir uma rotina de trabalho aplicando dados de sensoriamento remoto em hidrogeologia.
- Gerar um mapa hidrogeológico mais detalhado da área e contribuir com o conhecimento acerca da geologia do município.

3 JUSTIFICATIVA

No estado do Rio Grande do Sul houve, no início de 2020, um forte período de estiagem evidenciando a necessidade de um fornecimento constante de água (Embrapa, 2020). A falta deste recurso traz consigo danos econômicos e sociais, sendo a agricultura fortemente atingida.

Em muitos locais os órgãos públicos de abastecimento precisam garantir um fornecimento de água potável à população por meio de caminhões pipa, somando significativo custo adicional para as finanças do estado já fragilizado pela crise econômica. A água subterrânea tem o potencial, se administrada corretamente, de garantir um fornecimento mais constante e seguro, mesmo para as populações em áreas de maior escassez do bem. Porém a perfuração de poços tubulares requer uma boa base de estudos prévios com intuito de prevenir a má alocação e subutilização dos mesmos. É importante aplicar os recursos disponíveis fundamentados em métodos e técnicas de baixo custo e eficazes gerando o mínimo ônus possível ao estado, instituições de pesquisa e empresas privadas

Quanto às metodologias mais recentes utilizadas nas geociências, é notável que as técnicas de sensoriamento remoto tiveram significativa evolução e que todo seu potencial, até recentemente, não era aplicado, devido à falta de *softwares* específicos, alto custo e pessoal especializado. No Brasil, a partir dos últimos anos, é disponibilizado de forma ampla e gratuita (domínio público) um enorme banco de dados fornecido por diferentes instituições e órgãos públicos como, por exemplo, o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Além disso, um enorme acervo de dados é ofertado gratuitamente por instituições de diferentes países, a exemplo do *United States Geological Survey* (USGS), *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e *European Space Agency* (ESA). Em razão dessa recente quantidade de dados disponibilizados, observa-se um enorme potencial na utilização destes, o qual pode ser bem aproveitado para trabalhos na área.

A área proposta para o estudo enfrenta problemas de desabastecimento durante os períodos de seca. Segundo a prefeitura do município, mais de 2.200.000 de litros de água foram levados a reservatórios por meio de caminhões pipa entre janeiro e março de 2020 (Município de Vale do Sol, 2020). Também foi adotado o racionamento de água em uma localidade e a abertura de 600 aguadas na zona rural com intuito de fornecer água às criações de animais. O município conta com 14 poços registrados no portal SIAGAS da CPRM (SIAGAS/CPRM, 2020). Destes, nove estão em situação de bombeamento, porém não são capazes de suprir a demanda. Através de sua vivência na região o autor deste trabalho observou os problemas enfrentados pelo município em relação ao abastecimento de água para a população, principalmente na zona rural. Teve, também, a oportunidade de vivenciar a elaboração de um projeto de abastecimento para uma localidade do interior onde ocorre constante desperdício de água e recursos financeiros.

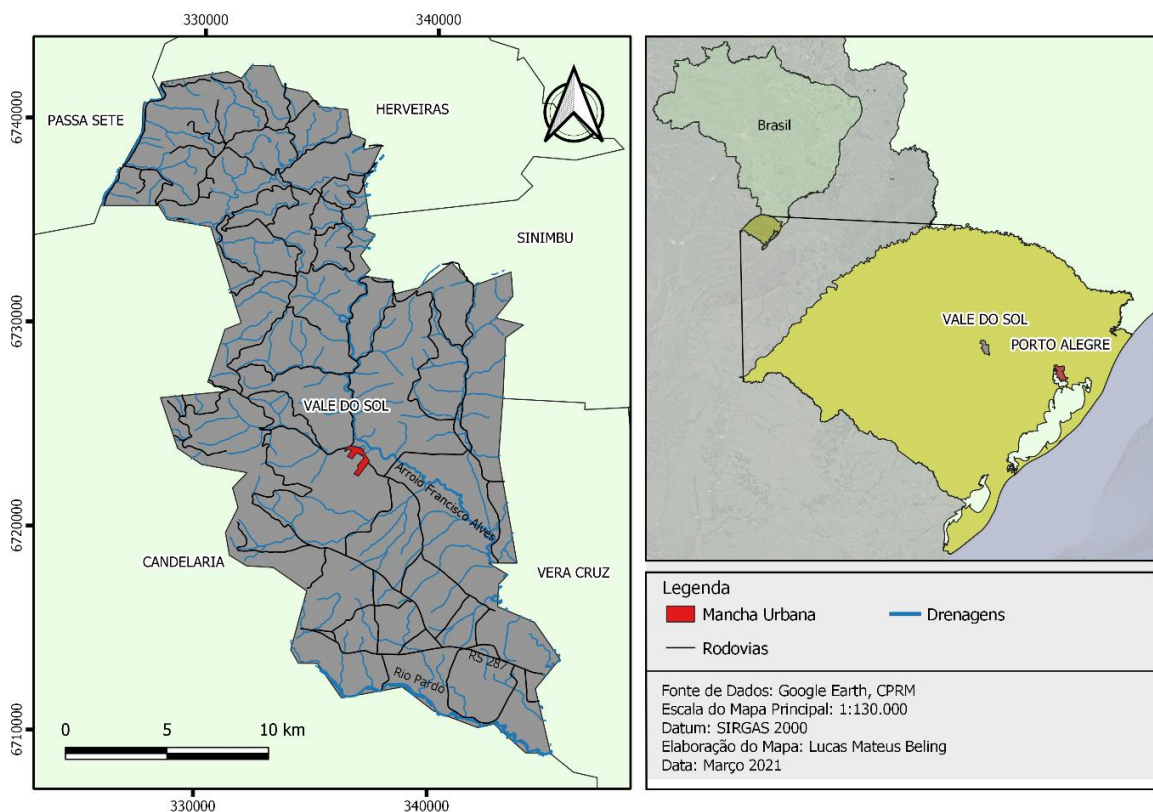
Além das justificativas apresentadas, o projeto de pesquisa na área contribui na formação de um banco de dados remotos sobre a hidrogeologia do município, o qual será útil

na predefinição de locais favoráveis para alocação de poços tubulares. Estudos hidrogeológicos contribuirão no fator econômico e social do município, pois garantem um melhor aproveitamento dos recursos financeiros disponíveis para a população. Instituirá uma rotina de trabalho com dados de sensoriamento remoto na área da hidrogeologia que pode ser aproveitada em estudos análogos. Por fim, um mapa de potencial hidrogeológico atualizado e mais detalhado consiste em um importante produto para a prefeitura do município representando um elo de ligação entre a sociedade (município) e o meio acadêmico, pois é notável um distanciamento entre as duas esferas.

4 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo deste Trabalho de Conclusão de Curso compreende o território do município de Vale do Sol, localizado no Vale do Rio Pardo, região central do estado do Rio Grande do Sul e distante 205 km da capital Porto Alegre. As principais rotas de acesso são as rodovias RSC-153 e RSC-287. A região possui uma altitude média de 500 metros acima do nível do mar e possui uma área total de 330 km² (Figura 1).

Figura 1- mapa de localização da área de estudo, limite do município de Vale do Sol.



Fonte: modificado de CPRM, 2017-2021.

4.1 Contexto geológico regional

No Brasil e porção oeste da África, são reconhecidas feições análogas, tanto litológicas como paleoestratigráficas, identificadas como a Província Ígnea do Paraná. Esta, encontra-se denominada na literatura como *Large Igneous Province* (LIP). Esta bacia sofreu uma ruptura no seu flanco leste devido a um processo de rifteamento, culminando no Atlântico Sul, sendo possível observar evidências deste processo no sudoeste africano (Soares, 1991).

Na região sul do país ocorrem sequências de rochas vulcânicas e sedimentares que pertencem à Bacia do Paraná. Esta bacia é do tipo intracratônica e tem cerca de 1,5 milhões de km², abrangendo além do Brasil regiões do Paraguai, Argentina e Uruguai. Seu depocentro, em geral, apresenta as maiores espessuras dos pacotes rochosos com áreas que ultrapassam os sete mil metros da base até o topo. Caracteriza-se por um extensivo campo de lavas basálticas que recobrem cerca de 2/3 de toda a extensão da bacia (Soares, 1991). A bacia foi dividida em seis supersequências por Milani (1997) separando os pacotes rochosos no intervalo de dezenas de milhões de anos com base na gênese das rochas. São elas: Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico), Gondwana II (Meso a Neotriássico), Gondwana III (Neojurássico-Eocretáceo) e Bauru (Neocretáceo).

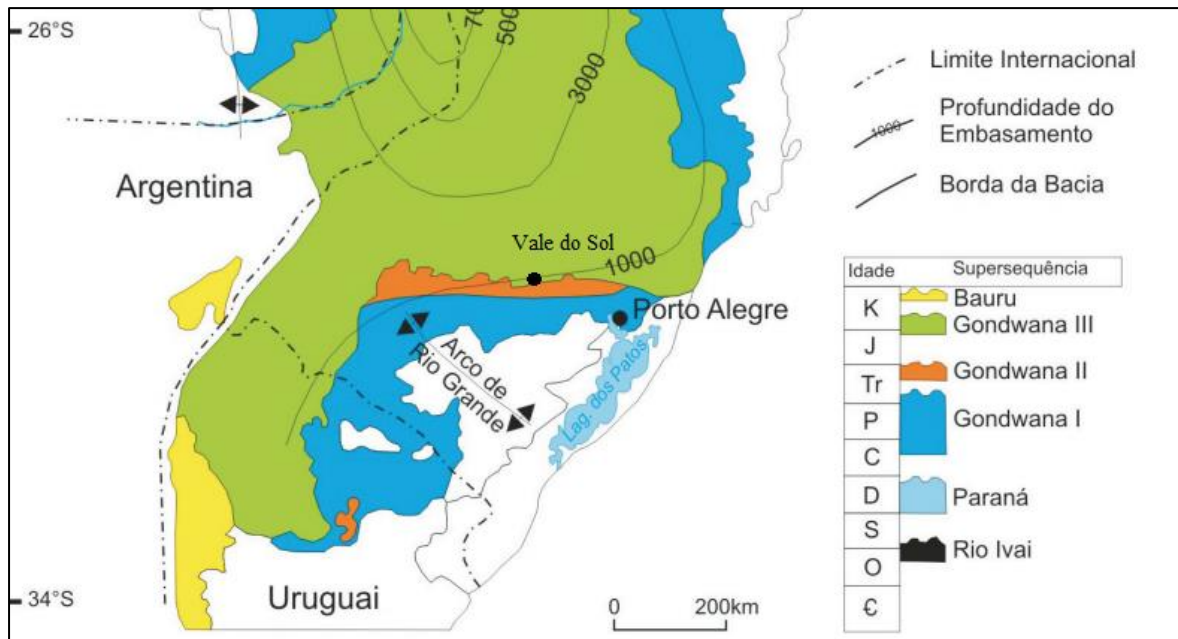
Na metade norte do Rio Grande do Sul ocorrem rochas pertencentes as supersequências Gondwana I, II e III, onde os dois primeiros são compostos basicamente por rochas sedimentares e o terceiro por vulcânicas. A supersequência Gondwana I corresponde pelos maiores volumes de rochas sedimentares na Bacia do Paraná (Milani *et al* 1997), nela observa-se influência de ambientes glaciais do neocarbonífero que migram para os sistemas continentais desérticos da Formação Botucatu no mesozóico. Acima dos membros sedimentares em Gondwana I e II ocorrem as rochas vulcânicas pertencentes ao processo de vulcanismo fissural (Gondwana III). A Figura 2 ilustra o contexto geológico regional:

4.2 Contexto geológico local

As associações rochosas na área de estudo se enquadram nas supersequências Gondwana II e Gondwana III propostas por Milani (1997). Na primeira (Gondwana II) está incluso o Grupo Rosário do Sul, depositado em uma bacia do tipo Gráben. No topo, em Gondwana III, ocorre o Grupo São Bento com as Formações Botucatu e Serra Geral.

O Grupo Rosário do Sul representa as rochas sedimentares basais da Bacia do Paraná existentes na área de estudo, representado pelas Formações Santa Maria e Caturrita. A

Figura 2- mapa dos domínios geológicos do RS.



Fonte: adaptado de Milani, 1997.

Formação Santa Maria é dividida nos membros Passo das Tropas e Alemoa, o primeiro citado é caracterizado por um sistema fluvial efêmero de alta energia (Faccini, 1989; Zerfass *et al.*, 2003) que depositou arenitos grossos e conglomerados na base da formação. Estruturalmente o membro Passo das Tropas apresenta estratificações cruzadas de pequeno a médio porte e laminações plano-paralelas, os arenitos estão depositados na forma de lentes. O membro Alemoa (topo da formação) é composto por pelitos avermelhados intercalados com arenitos finos e siltitos. Os pelitos são maciços, em alguns casos ocorrem laminações finamente espaçadas (Faccini, 1989; Zerfass *et al.*, 2003; Da-Rosa, 2005). Este membro caracteriza um sistema flúvio-eólico depositando sedimentos em lagos rasos e localizados (Milani *et al.*, 1994).

A Formação Caturrita caracteriza-se pela ocorrência de lentes de arenitos de granulação fina a grossa, com eventuais inclusões de argila, estruturalmente apresentam estratificação cruzada com as paleocorrentes na direção nordeste. Depositado sob o membro Alemoa (Formação Santa Maria) estas rochas indicam o assoreamento do lago e migração para um sistema de rio anastomosado em uma planície. Os clastos de argila indicam que esporadicamente o rio inunda a planície devido a fortes chuvas (Soares *et al.*, 2008).

O Grupo São Bento é definido por rochas sedimentares na porção basal e pelas sequências vulcânicas no topo. Na área de estudo este grupo é representado pelas formações Botucatu e Serra Geral. A Formação Botucatu é caracterizada por depósitos eólicos de um intenso processo de desertificação, conhecido como “deserto Botucatu” que cobria grande parte

da Bacia do Paraná. As rochas da formação são constituídas por arenitos quartzosos que variam entre granulações finas e médias com elevado grau de esfericidade e boa seleção (Soares, 1975). Sua coloração em geral é cinza-avermelhada. Ocorrem estratificações cruzadas acanaladas de grande porte indicando um sistema de dunas em ambiente eólico (Scherer, 2000).

Sotopostas às rochas da Formação Botucatu encontram-se as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral. Estas rochas são resultado de intenso vulcanismo fissural durante a abertura do oceano atlântico. Estas rochas formam depósitos acamadados devido ao fluxo de lava, diques que intrudem as rochas sedimentares e soleiras que se depositam de forma concordante as estratificações das rochas sedimentares (Machado *et al.*, 2005). Nos locais mais espessos da bacia as rochas vulcânicas alcançam os 2000 metros desde o contato com o Botucatu até o topo da coluna. As litologias do Serra Geral são geralmente classificadas como basaltos toleíticos, porém ocorrem porções de rochas mais diferenciadas em menor quantidade, como andesitos que ocupam cerca de 7% do volume de rocha. E ácidas como riodacitos e riolitos, porém não atingem 3% do volume de rochas (Machado *et al.*, 2005).

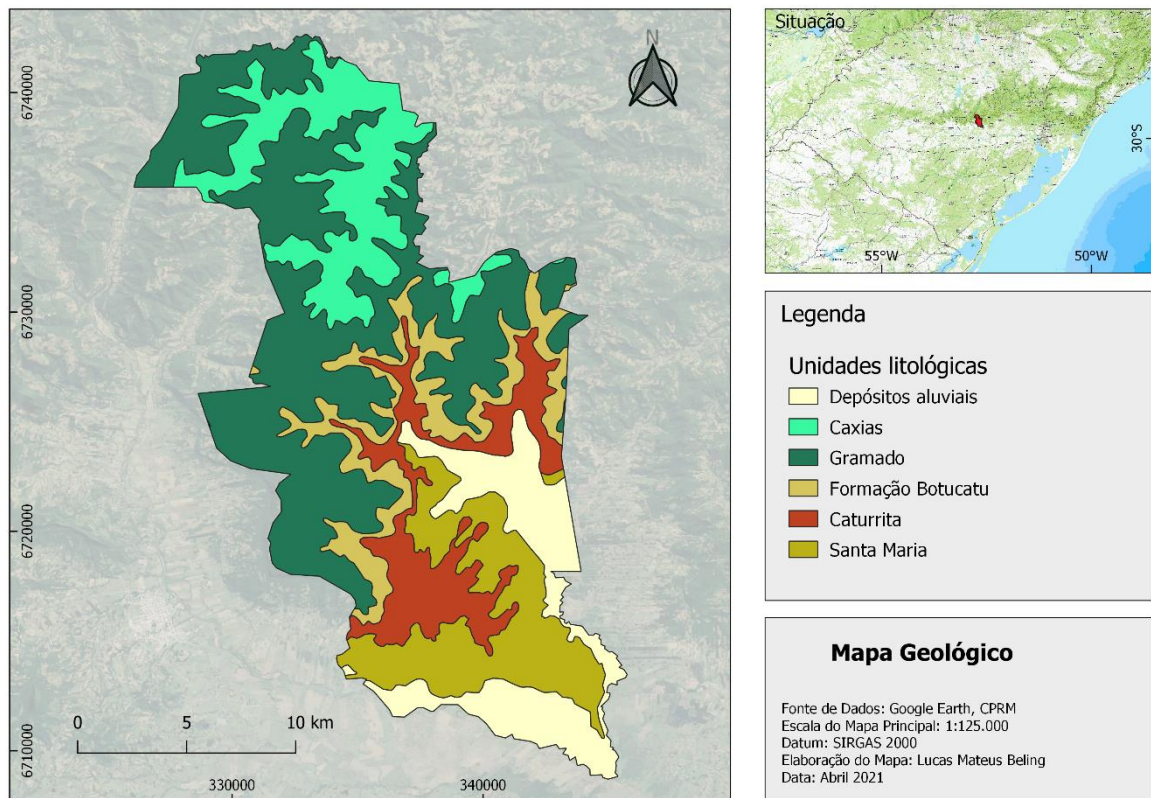
Na área de estudo, representada pelos litotipos da Formação Serra geral são descritas as rochas das fácies Caxias e Gramado. A fácies Caxias é caracterizada por rochas intermediárias a ácidas, riodacitos e riolitos, com textura esferulítica em alguns casos. No topo ocorrem disjunções colunares que gradam para uma estrutura maciça na base da litologia, possui mineralizações de calcedônia e ágata cristalizados em vesícula, na sua estrutura também ocorrem dobras de fluxo. Estes, caracterizam os derrames mais espessos da Formação Serra Geral (Wildner, 2004). A fácies Gramado é composta por basaltos de textura fina a média com fenocristais de plagioclásio euédricos. Podem ser encontrados diques de areia e intercalações com dunas (Botucatu) com derrames geralmente tabulares e vesículas preenchidas por zeólitas (Wildner, 2004) (Figura 3).

Na área mais plana do município encontram-se os depósitos aluviais recentes, formados basicamente por areia e sedimentos finos transportados por rios e riachos.

4.3 Província Hidrogeológica Paraná com ênfase na área de estudo

Os aquíferos são uma fonte importante de recursos hídricos para muitas regiões, no Rio Grande do Sul grande parte dos poços tubulares estão alocados em aquíferos fraturados. Na metade norte do estado estes poços estão alocados principalmente nas vulcânicas da Formação Serra Geral, mas sabe-se do grande potencial das formações sedimentares abaixo, principalmente a Formação Botucatu.

Figura 3: mapa geológico do município de Vale do Sol.



Fonte: modificado de CPRM, 2017-2021.

Segundo (Tolman, 1937), uma província hidrogeológica é uma região de características gerais semelhantes com relação as principais ocorrências de águas subterrâneas. O município de Vale do Sol está inserido na Província Paraná, que tem como seu aquífero mais importante o Aquífero Guarani que representa cerca de 80% do potencial da província. No entanto, o Rio Grande do Sul possui a maior parte dos poços tubulares alocados nas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral (FEITOSA, 2008, p.44).

O Aquífero Guarani apresenta variações de espessura de 200 a 600 metros e tem sua maior produtividade associada a Formação Botucatu. Caracterizado como semiconfinado no topo pelas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral e confinado na base por rochas arenopéliticas (Soares *et al.*, 2007). Este aquífero tem sua hidrodinâmica fortemente influenciada por falhas, tornando seu fluxo complexo devido à grande variabilidade nas direções dos lineamentos. Algumas falhas exibem rejeitos de até 100 metros, ocasionalmente restringindo o fluxo da água (Soares *et al.*, 2007).

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 Sensoriamento remoto - imagens de satélites

O uso do Sensoriamento Remoto a partir de dados de satélites constitui um método largamente aplicado atualmente, ele é definido como a obtenção de informações de uma área, objeto ou fenômeno sem o contato direto com ele. A aquisição destes dados é realizada por sensores embarcados em satélites que orbitam a Terra. Os sensores remotos captam a energia emitida pelos objetos na superfície terrestre e a partir destas informações geram imagens. Todos os objetos produzem algum tipo de energia eletromagnética.

Os sensores remotos são classificados como passivos e ativos, o primeiro corresponde a imageadores que apenas captam a radiação emitida pelos corpos, sem qualquer emissão de energia externa. Já os sensores ativos carregam uma fonte de energia que é emitida sob o alvo, sendo posteriormente analisada a energia refletida por ele. Os sensores também apresentam diferenças quanto aos comprimentos de banda que detectam (ultravioleta, infravermelho, raios-x, etc). E ainda ocorrem discrepâncias na resolução espacial alcançada por cada sensor, sendo os mais modernos os que possuem maior nível de pixels por área, resultando em imagens de qualidade superior.

Dentre os principais produtos utilizados o projeto *LandSat* é o pioneiro e mais conhecido, sendo utilizado desde o final da década de 80 por diferentes instituições de pesquisa. No Brasil, instituições como o INPE e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) consistem nas principais fontes de fornecimento de dados desta natureza.

5.1.2 Histórico

O sensoriamento remoto tem origem com o surgimento das câmeras fotográficas, que são considerados os primeiros sensores remotos. O desenvolvimento dos primeiros aviões permitiu a obtenção de fotografias aéreas com diferentes objetivos, como levantamentos de recursos naturais e, principalmente, objetivos militares. É fato que conflitos sempre trouxeram avanços tecnológicos, não sendo diferente para o sensoriamento remoto. Durante a Segunda Guerra Mundial foram desenvolvidos os primeiros sensores remotos capazes de detectar o espectro infravermelho. Essa nova tecnologia permitiu que aviões de reconhecimento detectassem posições inimigas camufladas entre a vegetação.

Durante a corrida espacial entre Estados Unidos da América (EUA) e a extinta União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) os primeiros satélites foram lançados em órbita.

No início o objetivo principal dos sensores embarcados nos satélites e foguetes era a aquisição de dados meteorológicos, porém logo se percebeu o potencial da tecnologia para aquisição de dados da superfície terrestre. O primeiro imageamento voltado para geologia foi realizado na missão GT-4 do programa *Gemini* que tirou fotos da superfície da Terra com uma câmera de 80 mm (Novo, 2001). As missões *Apollo* também foram de suma importância para a evolução das técnicas de sensoriamento remoto, tendo sido durante uma missão deste programa feitas as primeiras imagens aéreas multiespectrais.

O Projeto *Landsat* foi idealizado pela Agência Espacial Norte Americana - NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e teve início na década de 60. O primeiro satélite da série tinha uma resolução espacial de 80 metros. Atualmente o projeto já está em sua oitava edição, sendo que o sensor pancromático do último satélite lançado tem resolução espacial de 15 metros. O avanço das tecnologias tornou o lançamento de satélites em órbita menos complexo se comparado à década do lançamento do primeiro *Landsat*.

5.1.3 Principais agências e produtos

Atualmente as agências espaciais públicas e privadas de diferentes países, assim como consórcios, têm satélites em órbita. Um exemplo é ESA que oferece, dentre os principais produtos, os dados obtidos pelos satélites *Sentinel*. Esta série de satélites consiste nas missões *Sentinel 1*, *Sentinel 2*, *Sentinel 3*, *Sentinel 4*, *Sentinel 5 e 5P*.

A missão *Sentinel – 2*, idealizada pela ESA em conjunto com *Global Monitoring for Environment and Security* (GMES), gera dados desde 2015 (ESA, 2020). A missão é composta por dois satélites idênticos, *Sentinel - 2A* e *2B*, operando simultaneamente a 180° um do outro. A bordo dos satélites estão sensores multiespectrais com um total de 13 bandas sendo seis delas no infravermelho de ondas curtas e no *Red Edge*, quatro no espectro visível e infravermelho termal e três destinadas para correções atmosféricas. A resolução espacial varia de acordo com as bandas de imageamento, o conjunto de sensores do espectro visível e infravermelho termal geram imagens com 10 metros de resolução. O conjunto responsável pelo infravermelho de ondas curtas e *Red Edge* geram imagens com 20 e 60 metros de resolução espacial respectivamente. A resolução temporal do conjunto também é de ótima qualidade, gerando imagens de uma determinada região a cada cinco dias.

O projeto *Landsat* é provavelmente o satélite mais procurado quando se trata de projetos envolvendo sensoriamento remoto, além de serem gratuitos, os dados produzidos por ele apresentam boa qualidade. O *Landsat-8* foi lançado em novembro de 2013 com dois sensores

embarcados, *Operational Terra Imager* (OLI) e *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). O sensor OLI gera imagens com 9 bandas diferentes, entre elas o espectro visível, infravermelho proximal e pancromático, este último com resolução espacial de 15 metros. O sensor TIRS fica responsável pelas imagens no espectro infravermelho termal, imagens estas que possuem 100 metros de resolução espacial. Além da geologia, as imagens deste satélite são utilizadas em diversas outras áreas (agricultura, gestão ambiental, planejamento urbano, etc).

A NASA, em conjunto com a *National Imagery and Mapping Agency* (NIMA), lançaram o *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) no início do ano 2000. O objetivo da missão foi produzir dados de elevação de terreno em toda a superfície terrestre, porém a resolução espacial das imagens é baixa, 30 metros no território dos EUA e 90 metros no restante do mundo. O satélite *Advanced Land Observing Satellite* (ALOS), por meio de um sensor *radar* fornece os mesmos dados com uma resolução espacial realçada (12,5 metros) no sensor pancromático (Embrapa, 2020). Lançado em 2006 pela *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA) as imagens produzidas pelo ALOS fornecem dados muito superiores para produção de MDTs com melhor nível de detalhe. O sensor *Palsar* é um imageador de radar, que opera com resolução variável entre 1 e 100 metros de tamanho de pixel. Essa flexibilidade permite a obtenção de produtos para estudos regionalizados ou mais locais, de acordo com a necessidade do autor.

O Brasil, em parceria com a China, detém o programa *China-Brazil Earth-Resources Satellite* (CBERS) ou Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres em uma tradução para o português. O projeto conta com seis lançamentos e seu início se deu com a parceria entre o INPE e a *Chinese Academy of Space Technology* (CAST) no ano de 1988. O lançamento do último satélite do programa ocorreu em dezembro de 2014 e foi nomeado como CBERS – 4. Embarcados neste satélite estão quatro sensores, Câmera Pancromática e Multiespectral (PAN), Câmera Multiespectral Regular (MUX), Imageador Multiespectral e Termal (IRS) e Câmera de Campo Largo (WFI).

O programa CBERS trouxe muitos avanços de caráter técnico-científico para ambos os países, para o Brasil especialmente em questões ambientais. Os dados fornecidos pelo satélite auxiliam o Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES) e (DETER). O PRODES mede a taxa anual de desmatamento da floresta para criação de políticas públicas de mitigação dos danos causados à floresta. O DETER possui a função de gerar alertas rápidos sobre alterações na cobertura florestal para fins de fiscalização pelos órgãos competentes.

5.2 Dados hidrogeológicos e formas de disponibilização em formato digital

Os dados hidrogeológicos do Brasil podem ser obtidos no site da CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais). A CPRM conta com o site SIAGAS (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas) onde é possível adquirir as informações de todos os poços de captação de água registrados do território nacional. Segundo SIAGAS (2021), até a data de 09/04/2020, haviam 336582 poços cadastrados no Brasil. O portal detém as principais informações de cada um dos poços, como localização, descrição litológica, profundidade do poço, vazão, entre outras informações.

Os sistemas de informações hidrogeológicas produzidas pela CPRM buscam uma integralização das informações obtidas em todo o território nacional. Tais informações auxiliam a gestão dos recursos e informam as principais utilizações dos recursos hídricos subterrâneos. Os dados também fornecem subsídio para pesquisa e elaboração de trabalhos e projetos que buscam melhorar o setor, visto que a água é essencial para o desenvolvimento das regiões.

Tabela 1: Tabela com o número de poços nos estados brasileiros.

Total por região									
Norte		Nordeste		Centro-oeste		Sudeste		Sul	
UF	Nº de poços	UF	Nº de poços	UF	Nº de poços	UF	Nº de poços	UF	Nº de poços
AM	1736	PI	8401	MT	435	SP	7435	RS	2999
RR	135	CE	17634	MS	334	RJ	194	SC	1999
AC	0	PE	4317	GO	712	ES	71	PR	12
PA	2156	AL	324	DF	1	MG	4065		
RO	445	SE	151						
AP	0	BA	8238						
TO	283	MA	1736						
		PB	2370						
		RN	1846						

Fonte: Adaptado de CPRM, 2020.

No portal SIAGAS estão cadastrados todos os poços outorgados existentes no Brasil porém, é importante se levar em conta o número expressivo de poços clandestinos. No Rio Grande do Sul o órgão ao qual compete a responsabilidade de registrar e conceder as outorgas de poços tubulares é a Secretaria de Meio Ambiente e Infraestrutura (Sema). Além das águas subterrâneas, a instituição também monitora diversas questões ambientais, do meio rural e de infraestrutura em geral. Junto a CPRM e a Diretoria de Recursos Hídricos (DRH), foi

confeccionado um mapa hidrogeológico do estado do RS na escala de 1:750000 com o objetivo de fornecer subsídios para alocação de poços tubulares e informações para trabalhos futuros.

5.4 Aplicação de sensoriamento remoto em estudos hidrogeológicos

Com a crescente evolução dos estudos hidrogeológicos ao longo do tempo, informações a partir de dados de sensoriamento remoto e trabalhos de campo se complementam e possibilitam obter resultados satisfatórios. Diferentes metodologias aplicadas a estes dados vêm sendo atualmente desenvolvidas contribuindo para a evolução das técnicas e do conhecimento.

Em estudos anteriores como Silva (2007) utilizaram-se técnicas de sensoriamento remoto integrando dados obtidos em mapeamento geológico e aquisições geofísicas aplicados à hidrogeologia. Especificamente foram estudadas a influência das estruturas rúpteis presentes nas rochas cristalinas da área na hidrodinâmica do aquífero. Com os resultados obtidos (relevo e densidade de fraturas) o autor definiu as zonas de maior potencial hidrogeológico..

Estudos aplicando sensoriamento remoto e geoprocessamento com ênfase na hidrogeologia são amplamente empregados em outros países. YOUSIF *et al* (2018) realizou um projeto no Egito aliando ferramentas SIG aos estudos de campo, análises em lâminas delgadas e análises químicas para caracterização do potencial de três aquíferos distintos. O trabalho resultou na caracterização hidrogeológica do local, assim como a geologia das rochas que hospedam os aquíferos e a química das águas.

A exploração de recursos hídricos de lençóis freáticos (água subterrânea) é uma alternativa para o abastecimento em regiões secas e nesse contexto Adeyeye *et al* (2018), alia o mapeamento geológico ao sensoriamento remoto em um estudo na Nigéria. Para o modelamento do potencial hidrogeológico o autor utiliza oito mapas temáticos sobrepostos (solos, densidade de drenagens, densidade de lineamentos, elevação, declividade, litologia, proximidade do contato geológico e proximidade de drenagens). A estes dados foram atribuídos pesos para posterior geração do mapa de potencial hidrogeológico. Respectivamente as informações de declividade e o modelo digital de elevação ocorrem com o maior peso, seguidos por geologia, lineamentos, proximidade com o contato, densidade de drenagens, proximidade entre drenagens e solos.

A metodologia de análise espacial com base em múltiplos critérios também é aplicada em Kaliraj, *et al* 2013. Neste o autor utiliza o método para a identificação de zona de recarga de aquífero. O trabalho foi aplicado em uma área no sul da Índia e teve como resultado o mapa indicando os potenciais de recarga de aquíferos na área estudada.

6 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização dos objetivos propostos, foram definidas 3 etapas com respectivos métodos e técnicas empregadas. Estes, consistem basicamente em:

6.1 Compilação e geração de base de dados:

Tais dados foram divididos em dois grupos

- Dados indiretos: uso de imagens de satélites e bases de dados vetoriais obtidos através de *websites* como o INPE, CPRM, IBGE, Embrapa e *Alaska Satellite Facility (ASF)*. As informações de terreno (topografia) utilizadas foram do satélite *Alos Palsar*. O sensor deste satélite provém dados úteis na confecção de mapas de declividade e de elevação. Demais bases de dados vetoriais que serão abordadas foram extraídas de Embrapa e CPRM e correspondem aos limites territoriais, dados geológicos, de solos, entre outros.

- Dados diretos: obtidos através dos poços tubulares instalados na área, disponíveis no portal SIAGAS. Nesta base de dados estão compiladas as informações dos poços tubulares instalados no município, contendo informações como profundidade do furo, nível estático e dinâmico, vazão, perfil geológico, entre outros. Além destes dados, serão realizadas verificações de campo em afloramentos na área de estudo para observação da geologia em geral. Esta verificação será feita em sete afloramentos conhecidos pelo autor onde será realizada a coleta de medidas, obtenção de amostras e fotos para integração com a base de dados indireta.

6.2 Integração de dados e geração de mapas

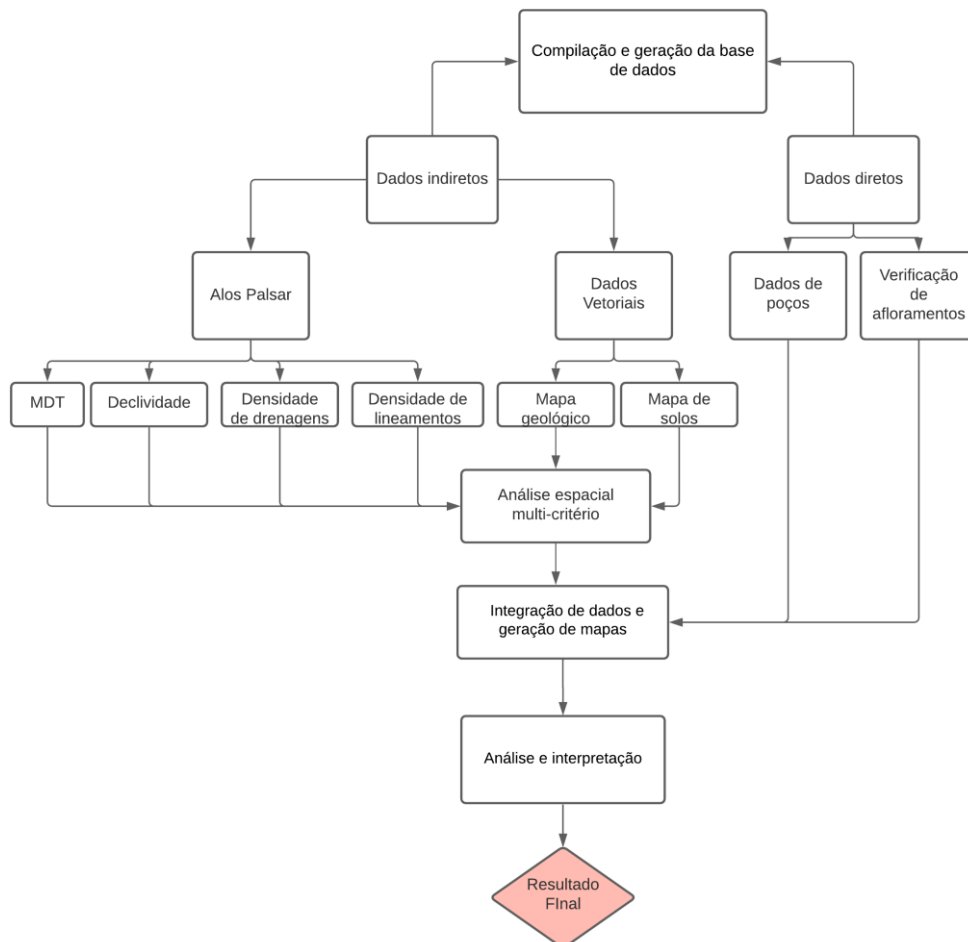
Para o geoprocessamento e integração das bases de dados foi utilizado o *QGIS 3.10*. Nele foram produzidos os mapas temáticos de declividade, modelo digital de elevação, mapa de densidade de drenagens e lineamentos, além da manipulação de dados vetoriais como *shapefiles* de solos, litologias e limites territoriais.

A partir de análise espacial multicritério os dados gerados foram submetidos a pesos atribuídos a sua respectiva relevância para acúmulo de água em subsuperfície. Estes pesos foram atribuídos entre 0 e 1, sendo que a soma total destes deve ser igual a 1. Posteriormente, utilizou-se um complemento específico do *Qgis (Weighted Multi-Criteria Analysis – WMCA)* para geração do mapa de potencial hidrogeológico a partir da ponderação destes dados. Os pesos atribuídos a cada dado foram baseados em trabalhos de metodologias semelhantes (Adeyeye, *et al* 2018) e (Kaliraj, *et al* 2013).

6.3 Análise e interpretação

As áreas de maior potencial hidrogeológico foram definidas através do processamento dos dados indiretos obtidos. Este produto apresenta os locais com maior peso combinado de todos os mapas temáticos processados, a partir deste dado o mapa temático com a indicação destes locais é produzido. Após isso, são comparadas informações diretas para validação dos resultados, ou seja, verificar se os locais apontados como de melhor potencial realmente apresentam tais características com base na vazão dos poços tubulares e geologia da área. Para melhor ilustrar as rotinas de trabalho é apresentado o fluxograma da Figura 4:

Figura 4: fluxograma de atividades durante a elaboração do trabalho.



Fonte: autor.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

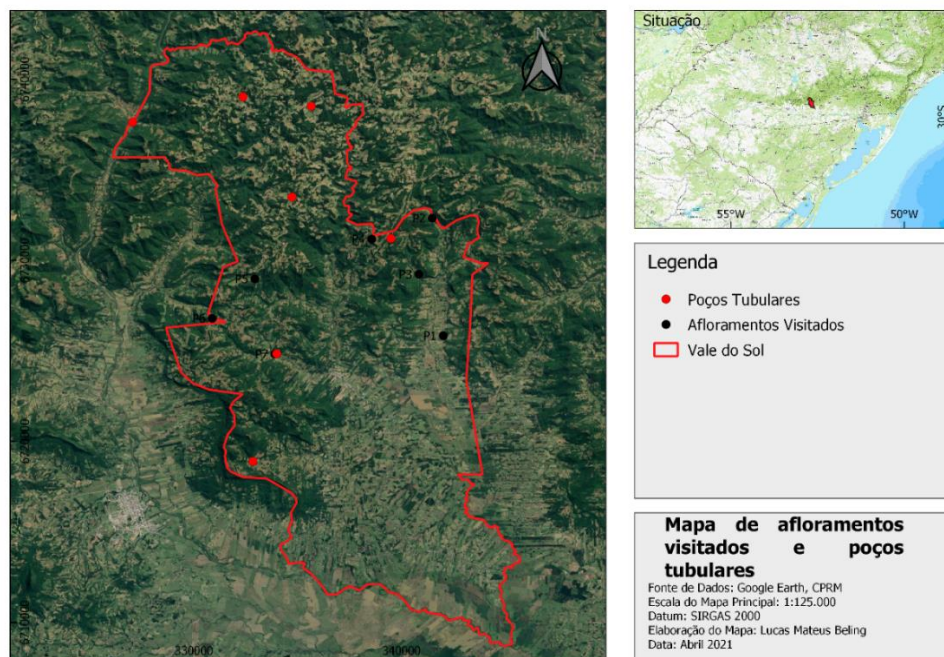
Para a caracterização do potencial hidrogeológico no município de Vale do Sol

determinou-se apresentar os dados diretos. Estes consistem em informações retiradas de poços tubulares fornecidos pelo SIAGAS e na verificação de unidades litológicas em sete afloramentos da área. Os dados indiretos consistem em informações adquiridas na internet (imagens de satélite e dados vetoriais). Por fim, os resultados e interpretações obtidos a partir da integração das bases de dados diretas (geológicas e hidrogeológicas) com as informações remotas (indiretas) servem como subsídios para correlação com os poços tubulares em operação no município a fim de validar as informações obtidas na fase de análise espacial. Estes dados são apresentados em um mapa temático final compilando todas as informações obtidas durante o desenvolvimento do trabalho

7.1 Dados diretos

Os dados diretos fornecem ao trabalho informações coletadas em campo, ou seja, um suporte de dados físicos e parametrização para os resultados e aferições indiretas. Além deste, as fichas técnicas dos poços tubulares auxiliam para a melhor caracterização da área. Para melhoria dos resultados finais esta etapa consiste em importante fator na validação do resultado e redução de subjetividade dos resultados obtidos (Figura 5).

Figura 5: mapa de pontos descritos e poços tubulares analisados no estudo.



Fonte: autor e adaptado de CPRM, 2020.

7.1.1 Dados de poços tubulares

As informações dos poços tubulares oferecem informações da hidrogeologia como nível estático (NE), nível dinâmico (ND), vazão e tipo de aquífero. Na área do município estão instalados um total de 14 poços tubulares. No entanto, apenas 7 destes apresentam informações completas. Os poços apresentam vazões entre 4,5 e 9 m³/h, entretanto, o poço localizado na localidade de Alto da Boa Vista (identificação 6299) possui uma vazão de 30 m³/h. A litologia onde o poço está alocado é o basalto caracterizando, desta forma, um aquífero fissural. O mesmo está localizado em uma elevação de 211 metros e pode-se interpretar que está associado a influência dos aquíferos porosos abaixo. A Tabela 2 apresenta as informações hidrológicas dos 7 poços tubulares deste estudo.

Tabela 2: informações hidrológicas de poços tubulares.

Identificação	vazão (m ³ /h)	Elevação (m)	NE (m)	ND (m)	Cota ND (m)	Tipo de aquífero
6299	30	211	0	17,25	193,75	Fissural
6300	9	99	9,14	37,75	61,25	Poroso
6302	6	484	3,12	40	444	Fissural
6304	13,073	487	9,04	45,92	441,08	Fissural
6305	8,6	496	9,15	35,37	460,63	Poroso
24639	9	62	18,50	21,48	40,52	Fissural
24641	4,5	483	10,22	212	271	Fissural

Fonte: adaptado de SIAGAS, 2020.

7.1.2 Verificação de afloramentos na área

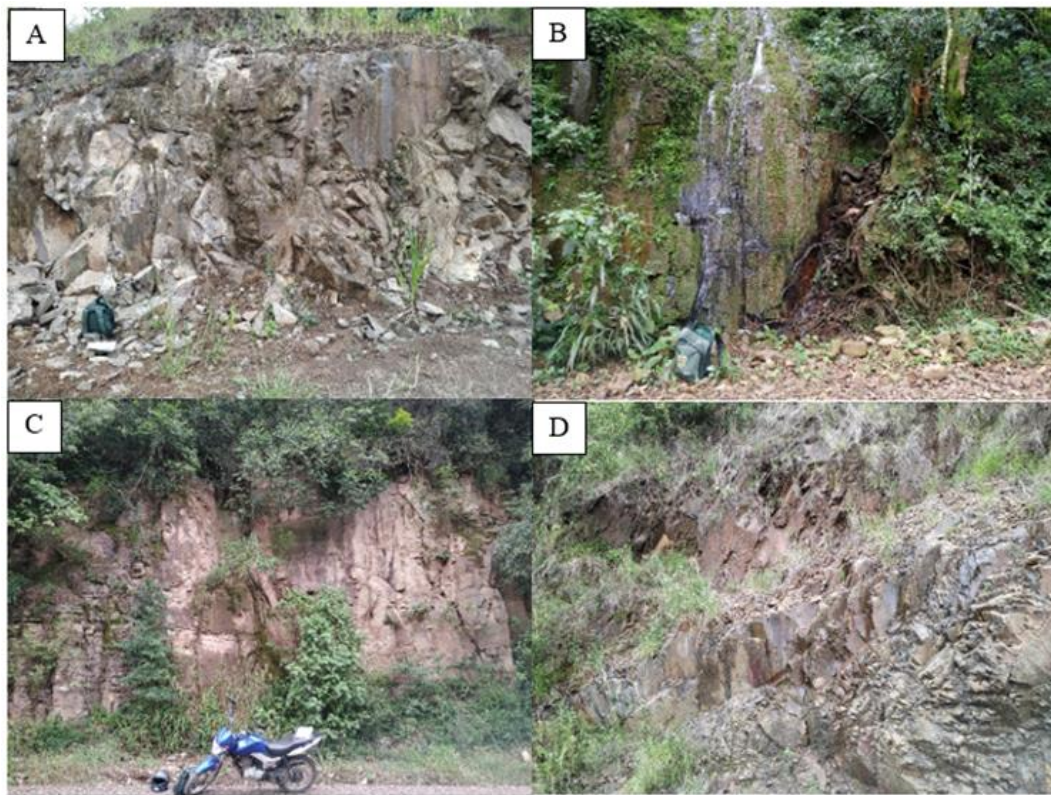
As investigações em campo fornecem importantes informações para a caracterização hidrogeológica local e têm o objetivo de validar as afirmações sobre a geologia das áreas descritas anteriormente. Foram descritos um total de sete afloramentos.

Os afloramentos identificados como pontos 3, 4, 5 e 6 pertencem a mesma unidade litológica (Figura 6).

- Ponto 3 ocorre um afloramento em pedreira com extensão de cerca de 50 metros, a rocha no local é fortemente fraturada, pois trata-se de um local de extração de cascalho.
- Ponto 4 o afloramento ocorre em um curso d'água e o mesmo também apresenta elevado grau de fraturamento. Suas dimensões são de cerca de 10 metros. Ocorre neste local uma estrutura típica de disjunções colunares, porém, devido às características do afloramento, esta estrutura é de difícil visualização.

- Ponto 5 é localizado em um corte de estrada. Neste é possível identificar uma direção preferencial de foliação NW-SE compatível com o mapa de lineamentos.
- Ponto 6 afloramento situado em uma pedreira. Neste a rocha é extremamente fraturada sendo a presença de estruturas preferenciais muito sutis. Além disso, possui uma dimensão de cerca de 100 metros. Em geral, as rochas destes afloramentos apresentam coloração cinza claro nas superfícies alteradas, porém nas superfícies frescas a coloração se dá em tons de cinza escuro.

Figura 6: foto mosaico dos pontos 3, 4, 5 e 6. A) Afloramento e pedreira. B) Afloramento em corte de estrada. C) Afloramento em corte de estrada com estrutura acamadada. D) Afloramento em pedreira com dobra de fluxo.



Fonte: autor, 2021.

As amostras coletadas nestes afloramentos apresentam características como coloração e estrutura semelhantes. A coloração cinza escuro (melanocráticas) é predominante nas amostras onde ocorre uma textura holocristalina determinada a partir de lupa. A mineralogia essencial é composta por piroxênio e plagioclásio cálcico visualizados devido a coloração e hábito dos minerais na amostra (Figura 7). Os afloramentos dos Pontos 3, 4, 5 e 6 correspondem à basaltos pertencentes a Fácies Gramado.

O afloramento verificado no Ponto 2 localiza-se em um corte de estrada com extensão de vários quilômetros. Apresenta uma rocha fortemente fraturada com estruturas superficiais

Figura 7: fotos das amostras de mão da Fácies Gramado, com textura média a esquerda (afloramento A) e textura fina a direita (afloramentos B, C e D).



Fonte: autor, 2021.

associadas a abertura da estrada. Não são observadas estruturas associadas a zonas de falha ou cisalhamento em decorrência do grau de fraturamento apresentado, portanto, classifica-se como maciça (Figura 8).

Figura 8: fotos do afloramento da Fácies Caxias em corte de estrada



Fonte: autor, 2021.

As amostras de mão do Ponto 2 apresentam características distintas dos Pontos 3, 4, 5 e 6. Estas amostras apresentam uma coloração avermelhada (mesocrática) com estrutura muito influenciada por vesículas e amígdalas preenchidas por minerais de SiO_2 (Figura 9). A textura é holocristalina, pois a mesma apresenta matriz vítrea acompanhada por fenocristais. A

mineralogia essencial é composta por plagioclásio e quartzo. Estas características são associáveis aos riodacitos da Fácies Caxias.

Figura 9: amostra de mão de riodacito pertencente a Fácies Caxias.



Fonte: autor, 2021.

Os afloramentos identificados como Pontos 1 e 7 correspondem a rochas sedimentares da região. Ocorrem nas regiões de baixos topográficos, basicamente posicionados na porção sul do município. Devido a cobertura vegetal e ao perfil de solo mais espesso nessas regiões, os afloramentos destas rochas são escassos.

O Ponto 1 ocorre (Figura 10) em corte de estrada com elevado grau de alteração, fraturamento elevado e coloração avermelhada, com dimensão de cerca de 100 metros. A granulometria da rocha é de areia muito fina argilosa composta por quartzo e argilominerais, provavelmente provenientes de ambientes de baixa energia. Esta rocha foi classificada como um arenito fino de matriz argilosa. É encontrada menores altitudes entre todos os pontos e apresentam características semelhantes as fácies mais finas da Formação Caturrita.

No Ponto 7 ocorre em um corte de estrada, é observada uma coloração acinzentada e um grau de alteração e fraturamento elevado com dimensões de 3x2 metros. A amostra de mão tem coloração esbranquiçada com intercalações de cor rosa. É composta por areia fina selecionada e grau de arredondamento e esfericidade, com mineralogia representada basicamente por quartzo. Não foi possível identificar estruturas como bandeamentos ou estratificações, provavelmente devido ao grau de alteração do afloramento. Como a altitude deste afloramento

Figura 10: foto do afloramento no Ponto 1 e amostra de mão.



Fonte: autor, 2021.

situa-se acima do Ponto 1 e não ocorre argila, pode-se afirmar que ela possui descrição semelhante à da Formação Botucatu (na coluna estratigráfica ocorre logo acima da Formação Caturrita) correspondente a um arenito fino.

Figura 11: foto do afloramento descrito no Ponto 7 (esquerda) e amostra coletada (à direita).



Fonte: autor, 2021.

7.2 Dados indiretos

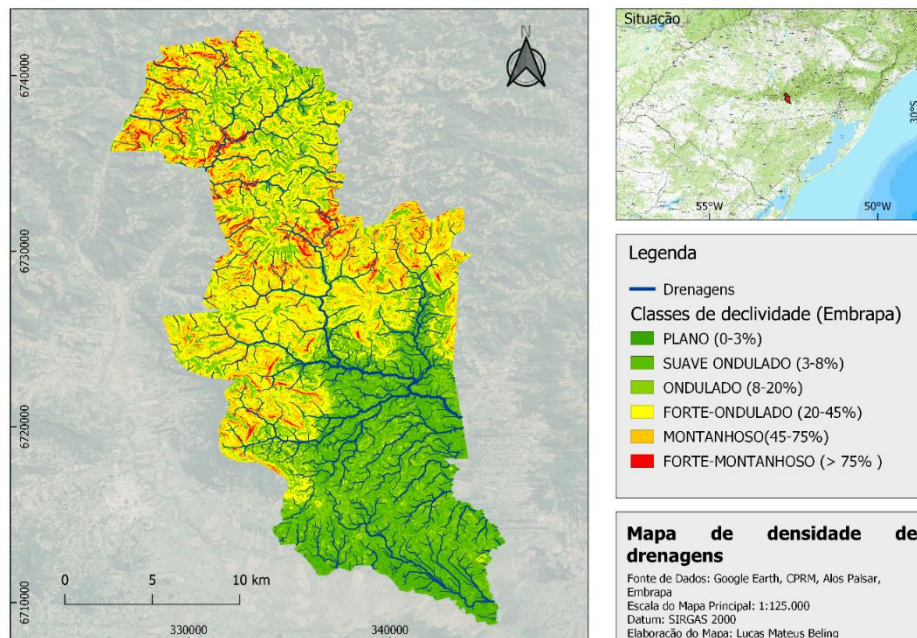
Informações obtidas por diferentes sensores oferecem informações relevantes para estudos prévios em áreas de interesse. Possuem, como vantagem, a rapidez na aquisição e maior área de cobertura quando comparados aos dados diretos. No estudo apresentado foram gerados um total de seis mapas temáticos utilizando dados vetorizados da CPRM e Embrapa, além de imagens de satélite provenientes da missão *Alos Palsar*. Os dados vetorizados são

correspondentes aos seguintes produtos gerados: i) mapas de solos e ii) litologias e os dados matriciais do satélite Alos Palsar forneceram informações para: i) Mapas de declividade (MDE - Modelo digital de elevação); ii) Mapa de densidade dos lineamentos e iii) Mapa de densidade das drenagens.

7.2.1 Mapa de declividade e drenagens

A declividade é um fator importante na determinação do fluxo natural da água. A declividade é a relação entre diferença de distância horizontal e altura entre dois pontos. Quando o relevo é acidentado e apresenta grandes diferenças de elevação em curtas distâncias a declividade é maior e vice-versa, com essa informação sabe-se que áreas de menor declividade tem melhores condições de acúmulo de recursos hídricos. Foi gerado o mapa de declividade de acordo com as normas de classes da Embrapa (1979), onde as classes de declive são separadas de acordo com variações de declividade do terreno expressas em porcentagem. Foi utilizado a banda pancromática do satélite *Alos Palsar* NEB-01006 (ALOS-DPFT-E01).

Figura 12 : mapa de declividade e drenagens do município.



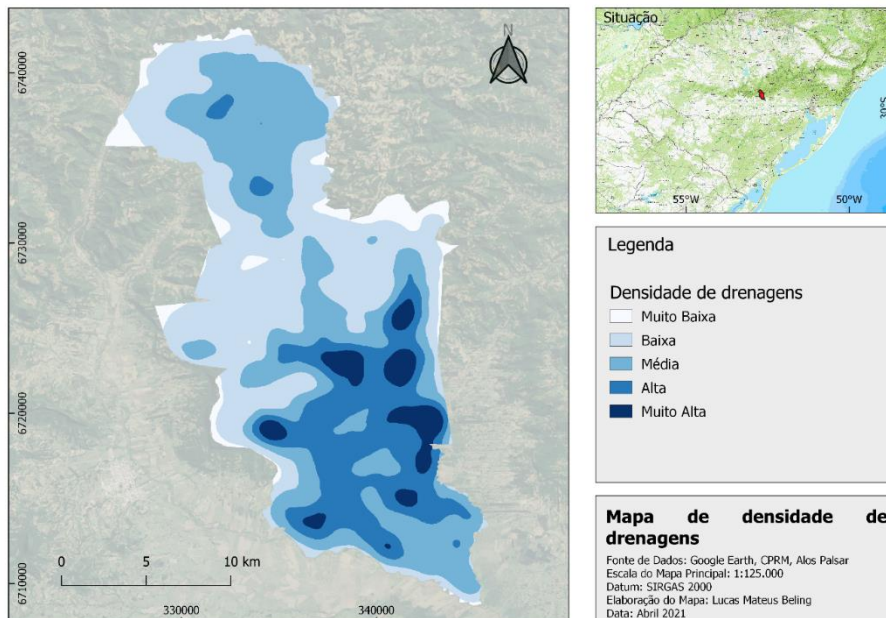
Fonte: confeccionado pelo autor utilizando dados *Alos Palsar* e classes Embrapa (1979).

Na porção norte do município observa-se uma maior variação de declividade que corresponde a suave ondulado (3 a 8 %) até forte-montanhoso (>75%). Na porção sul apresenta valores mais amenos, entre planos (0 a 3%) e ondulados (8 a 20%).

As drenagens caracterizam o recurso hídrico superficial, sendo elas alimentadas por precipitação meteórica e também pelos aquíferos, com isso, conclui-se que as áreas com maior concentração de drenagens indicam maior potencial para água subterrânea. Ocorre maior concentração de drenagens na porção sul do município, indicando que as declividades mais amenas estão relacionadas a maior concentração destas.

A partir da análise das drenagens e do padrão de declive da área de estudo é possível determinar duas direções preferenciais de fluxo que coincidem com as direções dos lineamentos estruturais, esse fato indica que estas ocorrem encaixadas nessas estruturas. A partir desses elementos, é reforçada a importância destas estruturas nos aquíferos possibilitando também a ocorrência de nascentes que alimentam as drenagens. Com o processamento das imagens de satélite e aplicações do *Saga GIS* para hidrogeologia, é possível delimitar as drenagens além das nascentes e pontos de intersecção de drenagens. Estes dados pontuais indicam a densidade de drenagens, através disso são utilizadas ferramentas de mapa de densidade de pontos e interpolação (método discreto) para a geração de um mapa de densidade de drenagens (Figura 13).

Figura 13: mapa de densidade de drenagens.



Fonte: Autor, 2021.

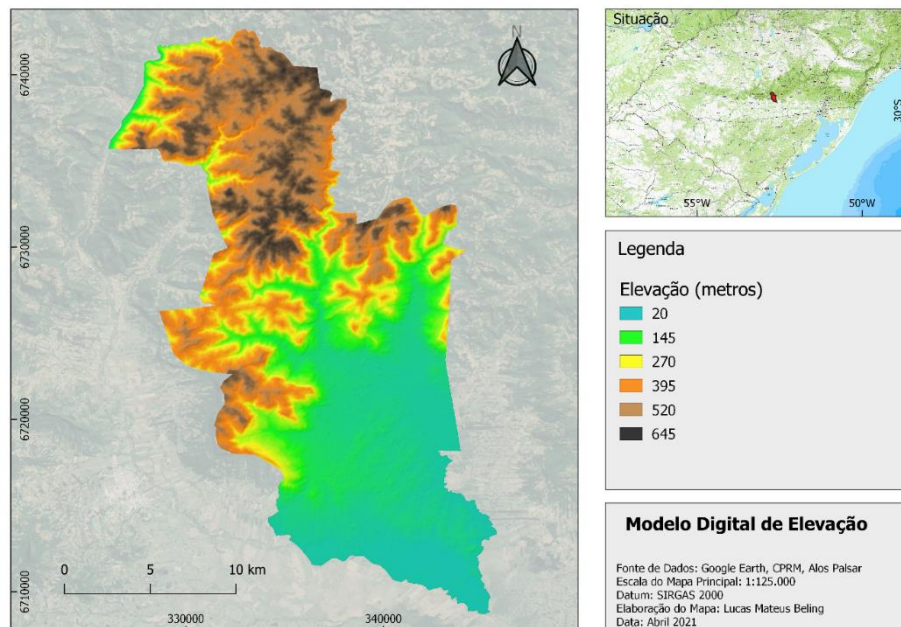
Como já indicado no mapa de declividade, ocorre maior concentração de drenagens na metade sul do município. Nota-se uma forte concentração nas imediações do Arroio Francisco Alves e seus afluentes sendo este um dos principais cursos d'água da área. Na metade norte não

ocorrem grandes concentrações de drenagens, provavelmente devido as características do terreno neste local.

7.2.2 Modelo Digital de Elevação

O modelo digital de elevação indica as altitudes médias em relação ao nível do mar de um ponto e possibilitam representar graficamente a variação topográfica de uma determinada área. Da mesma maneira que a declividade, esta informação indica o comportamento do fluxo das águas em relação a principal força controladora das mesmas (gravidade). Ocorre uma grande variação na topografia do município com cotas entre 20 até 645 metros de altitude. Este fato pode ser explicado pela posição do município, inserido na interseção do planalto da serra geral e a depressão central, classificado como escarpa da Formação Serra Geral. Na metade sul do município ocorrem as menores altitudes, com valores próximos a 20 metros, não ultrapassando muito esta elevação. Na metade norte ocorre maior variação nas elevações apresentadas, com locais que ultrapassam os 600 metros de elevação. A Figura 14 corresponde ao MDE produzido a partir dos dados do satélite *Alos Palsar EB-01006 (ALOS-DPFT-E01)*:

Figura 14: modelo digital de elevação do município.

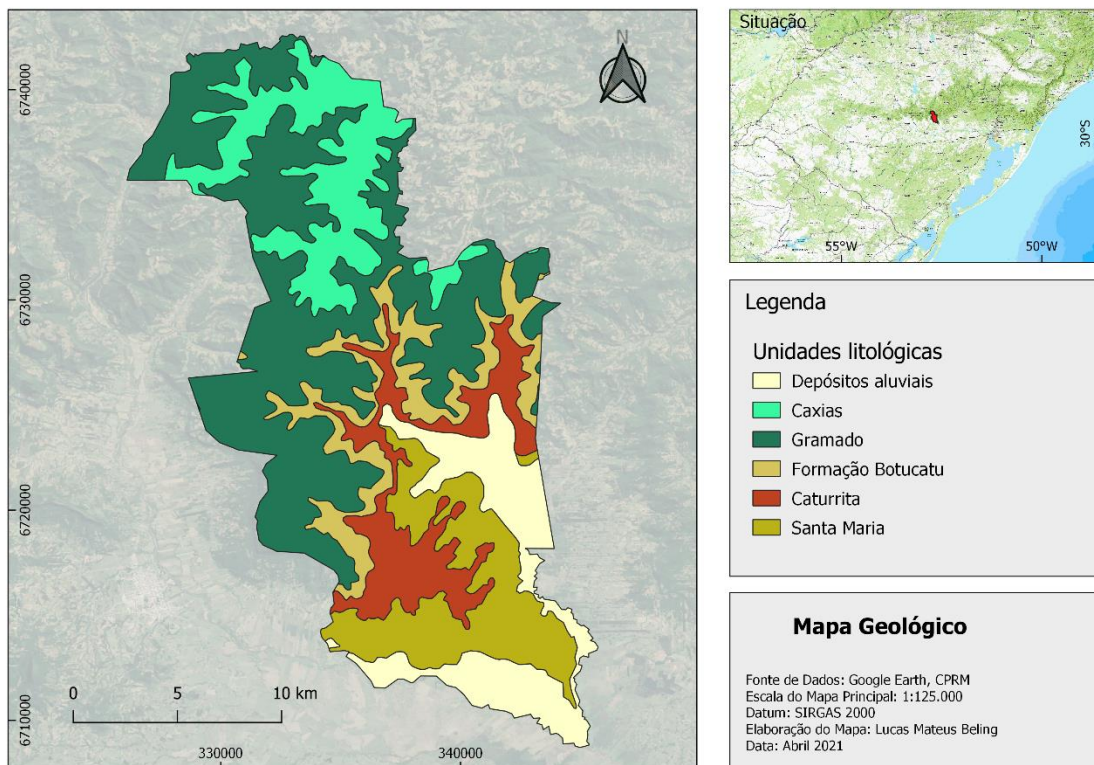


Fonte: autor, 2021.

7.2.3 Mapa geológico

A litologia tem papel fundamental na caracterização hidrogeológica de uma área de interesse pois elas determinam o tipo de aquífero e respectivas características. Na área ocorrem rochas sedimentares, vulcânicas e depósitos aluviais, indicando a presença de aquíferos porosos e fissurais. Na literatura, os aquíferos porosos em geral, são apresentados como os de maior potencial quando comparados aos fissurais. Na região ocorre uma visível transição (limite) entre a geologia da metade sul e a metade norte do município. A norte predominam as rochas vulcânicas e ao sul as sedimentares e depósitos aluviais. Os depósitos aluviais se apresentam como áreas de alto potencial aquífero semelhantes as rochas sedimentares que oferecem fácil escoamento/permeabilidade recarregando, desta maneira, o aquífero abaixo. Estes depósitos ocorrem nas regiões de baixos topográficos, indicando a presença de rochas sedimentares logo abaixo, ou seja, aquíferos porosos. Porém, a capacidade dos aquíferos fissurais na área não pode ser subvalorizada, pois sabe-se que grande parte do estado depende da água proveniente destes a exemplo do município de Vale do Sol. O mapa geológico da área ilustra a variação entre litologias no município:

Figura 15: mapa geológico do município de Vale do Sol

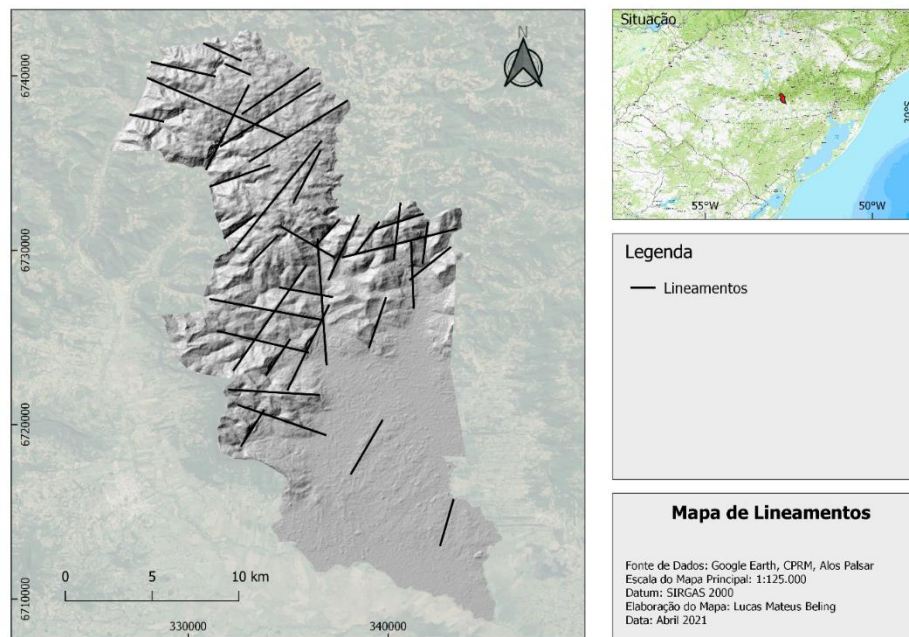


Fonte: adaptado de CPRM, 2017-2021.

7.2.4 Mapa de lineamentos

Os lineamentos são importantes estruturas controladoras dos aquíferos, delimitando as direções de fluxo e conectividade entre corpos d'água subterrâneos, locais com maior densidade destas feições tendem ao maior acúmulo de água subterrânea. Especialmente nos aquíferos de domínio fissural, as estruturas rúpteis são as responsáveis por acumular o recurso, enquanto que a conectividade entres estas estruturas é responsável pelo seu fluxo. No município é perceptível uma densidade de lineamentos nas rochas vulcânicas ao norte, principalmente próximo ao contato com as rochas sedimentares. As principais direções de lineamentos observadas no mapa interpretado são SW-NE e NW- SE (Figura 16). Correspondem ao mapa de lineamentos obtido pelo processamento das imagens *Alos Palsar* EB-01006 (ALOS-DPFT-E01):

Figura 16: mapa de lineamentos.

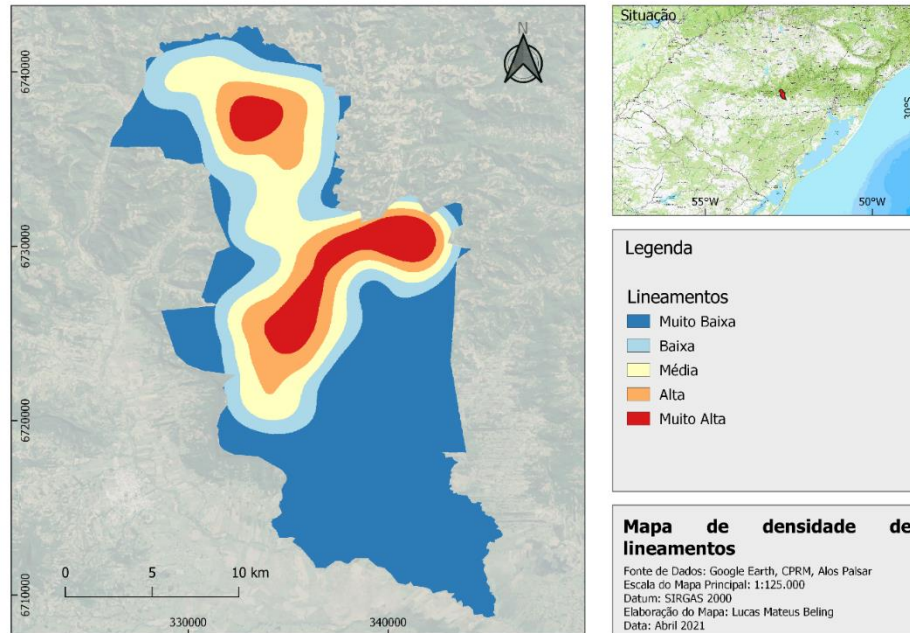


Fonte: autor, 2021.

A partir dos dados obtidos através da interpretação de lineamentos foi gerado um mapa de densidade de lineamentos para demarcar os locais com maior acúmulo destas feições. Como os lineamentos são dados lineares, estes são convertidos em dados pontuais equidistantes para representá-las e, posteriormente, utilizar ferramentas de interpolação (método discreto). Neste caso as maiores densidades de lineamentos ocorrem na porção norte do município, muito provavelmente devido ao tipo de terreno e litologia presente no local. Já na metade sul não

ocorre grande concentração destas feições, fato que provavelmente está associado a característica mais plana do relevo (Figura 17).

Figura 17: mapa de densidade de lineamentos.

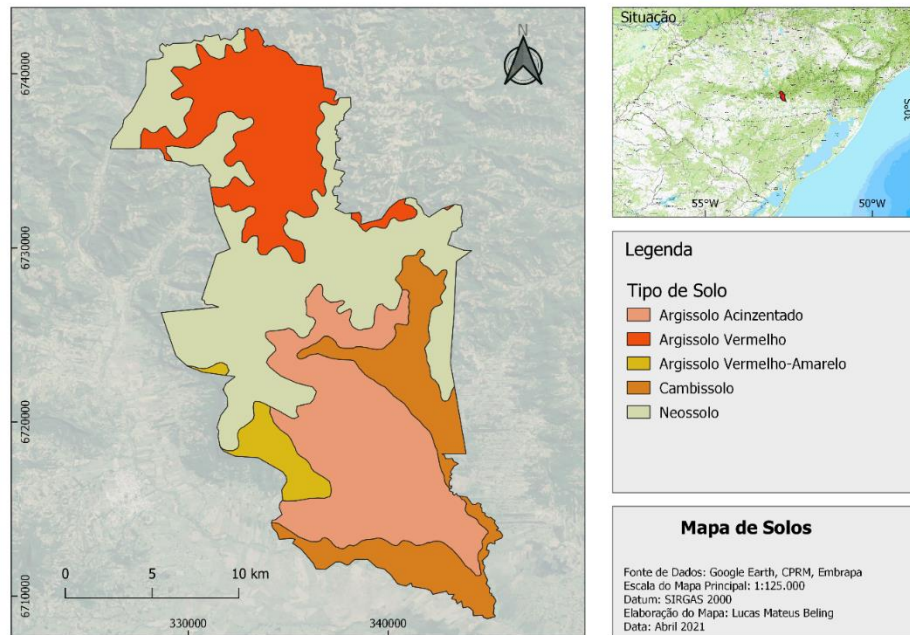


Fonte: autor, 2021.

7.2.7 Mapa de solos

Os solos possuem um papel fundamental para a recarga dos aquíferos. Quanto maior a permeabilidade e capacidade de drenagem destes, maior a facilidade para a recarga do aquífero. Ocorrem na área três tipos de solos principais, os argissolos, neossolos e cambissolos, todos com suas próprias características. Seguindo as classificações da Embrapa (2006), os argissolos são caracterizados pela sua granulometria mais fina, espessuras médias a altas, moderado potencial de drenagem e associados, geralmente, a ambientes montanhosos. Os neossolos são solos bastante variáveis, podendo ser pouco ou muito espessos e de boa ou má drenagem, as ocorrências também são variáveis (relevos montanhosos ou planos). Da mesma maneira que os neossolos, os cambissolos são muito variáveis, porém apresentam um maior potencial de drenagem. No mapa de solos ocorre uma predominância de argissolos (Figura 18) provavelmente fruto da decomposição e transporte de rochas vulcânicas e sedimentares de textura fina.

Figura 18: mapa de solos do município.



Fonte: adaptado de Embrapa (2006).

7.3 Parâmetros do comportamento hidrogeológico – Classificação

Para melhor compreensão e caracterização dos dados previamente apresentados utilizou-se o método denominado de Análise Espacial. Esta metodologia consiste na atribuição de pesos para cada parâmetro que impacta diretamente no comportamento hidrogeológico (Saaty, 1990). Os fatores que influenciam diretamente na área de estudo são: i) as variações de relevo (MDE); ii) classes de declividade; iii) unidades litológicas; iv) tipos de solo; v) densidades de lineamentos e vi) drenagens.

Os parâmetros de cada mapa temático são ranqueados com valores de 0 a 10 em ordem crescente de importância. Este método é conhecido em estudos remotos e é descrito pormenorizadamente em estudos (Adeyeye, *et al* 2019 e Kaliraj, *et al* 2013). Na Tabela 3 encontram-se as categorias em relação ao peso estabelecido, critérios e seus respectivos rankings.

Para a variação de relevo e declividade foram considerados pesos mais elevados (0,25) devido a atuação da força gravitacional em áreas de declive e relevo acentuado. Em seguida, na hierarquia de pesos têm-se as unidades litológicas (0,2) onde os depósitos aluviais aparecem com o maior *ranking* pela sua capacidade de drenagem, seguidas pelas rochas sedimentares. A Formação Botucatu é classificada com um *ranking* mais alto entre as sedimentares, pois esta

Tabela 3: pesos de cada categoria e ranking dos seus critérios.

Categoria	Peso	Critério	Rank
Variações de relevo (MDE)	0,25	0-20 m	10
		20-152 m	8
		152-416 m	6
		416-548 m	4
		548-618 m	2
Classes de declividade	0,25	Plano	10
		Suave-Ondulado	8
		Ondulado	6
		Forte-Ondulado	4
		Montanhoso	2
Unidades litológicas	0,2	Fácies Caxias	4
		Fácies Gramado	4
		Formação Botucatu	8
		Formação Caturrita	6
		Formação Santa Maria	6
		Depósitos Aluviais	10
Densidade de lineamentos	0,12	Muito Baixa	1
		Baixa	3
		Média	5
		Alta	8
		Muito Alta	10
Densidade de drenagens	0,10	Muito Baixa	1
		Baixa	3
		Média	5
		Alta	8
		Muito Alta	10
Tipos de solo	0,08	Argissolos	5
		Cambissolos	10
		Neossolos	8

Fonte: adaptado de Adeyeye, *et al* 2018 e Kaliraj, *et al* 2013.

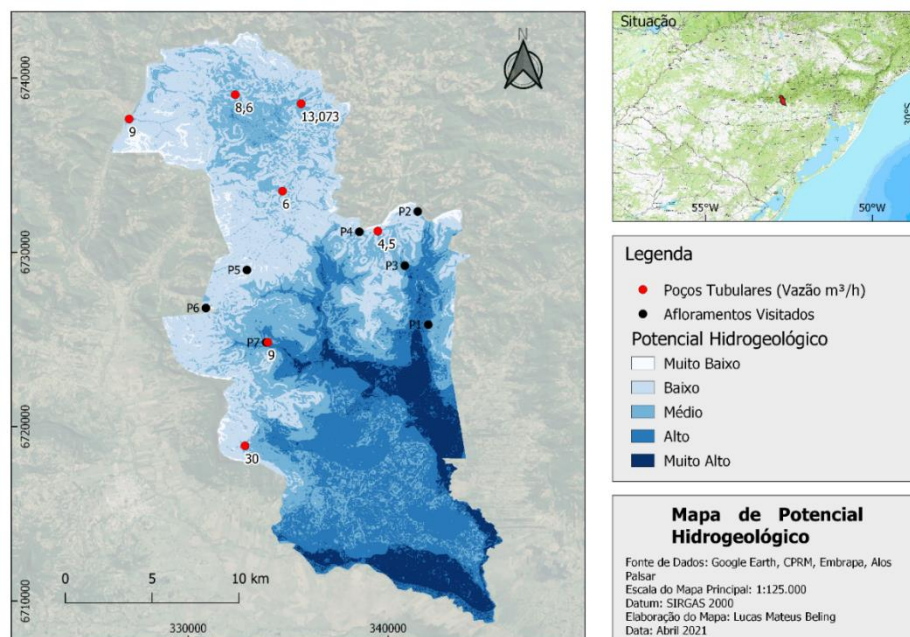
área, é a que possui a granulometria mais grossa, ou seja, maior porosidade. Em seguida no *ranking* ocorrem as rochas vulcânicas com seus aquíferos fissurais.

A densidade de lineamentos recebeu peso 0,12. Estas, são importantes no controle dos aquíferos. Os locais identificados com maior densidade de lineamentos recebem maior *ranking*. Da mesma maneira, os locais com maior densidade de drenagem têm maior potencial para água subterrânea, recebendo assim maior rank. Por último o mapa de solo, recebendo o menor peso (0,08) pois o mesmo se limita a capacidade de drenagem.

7.4 Integração dos resultados

A classificação dos parâmetros que impactam diretamente no comportamento hidrogeológico tem por objetivo a geração de um produto que indique as áreas de maior potencial hidrogeológico no município de Vale do Sol. A partir do complemento WMCA do *Qgis* para a análise espacial baseada em múltiplos critérios, obteve-se um resultado integrado através da ponderação dos mapas temáticos a partir dos valores a eles atribuídos conforme a relevância para o acúmulo de água subterrânea. Este resultado, após o processamento, foi comparado aos dados diretos obtidos para geração de um resultado integrado em dados diretos e indiretos (Figura 19):

Figura 19: mapa de potencial hidrogeológico integrado a informações diretas.



Fonte: autor, 2021.

Na Figura 19 observa-se a importância da declividade e da topografia para o acúmulo de água subterrânea. As regiões de menor altitude apresentam os maiores potenciais para instalação de poços tubulares na área. Além disso, as regiões com depósitos aluviais e rochas sedimentares também favorecem o acúmulo deste bem. Já os lineamentos não influem de maneira tão significativa quanto os dados anteriores, assim como os solos.

O poço tubular posicionado na porção SW do município tem vazão de 30 m³/h e localiza-se em uma área de alto potencial hidrogeológico. De acordo com SIAGAS (2004) a

litologia predominante são basaltos que ocorrem até 42 metros de profundidade. Conclui-se que o aquífero é fraturado, mas sofre influência da Formação Botucatu logo abaixo recarregando-o pela interconectividade entre poros (arenito) e fraturas.

Observa-se a influência das rochas para hidrogeologia, no mapa os locais de maior potencial se localizam próximos às rochas de origem sedimentares encontradas. Nas regiões de rochas vulcânicas o potencial para água subterrânea é naturalmente menor, porém, ocorre algum acúmulo nas regiões de maior densidade de lineamentos. Esse fato é esperado visto que nos aquíferos fissurais a água se concentra nas estruturas como falhas e fraturas, pois a porosidade dessas rochas é muito baixa. No entanto, a Fácies Caxias apresenta elevado grau de amígdalas e vesículas, que poderiam criar algum tipo de porosidade, favorecendo-a em comparação a Fácies Gramado (mais maciça).

É possível definir, analisando o mapa, que ocorrem três domínios principais quanto ao potencial hidrogeológico. De acordo com o resultado ocorre uma região de baixo potencial ao norte da área do município onde o mapa apresenta as cores mais claras. Porém a maior parte dos poços tubulares da região encontram-se alocados nesta região, com vazões que variam entre 4,5 e 13,073 m³/h. Na região centro-oeste e central do município ocorrem tons mais fortes de azul, indicando um potencial maior em relação ao primeiro domínio, onde estão alocados dois poços tubulares de vazão 9 e 30 m³/h. Por fim, no sudeste e extremo sul ocorrem os tons de azul mais fortes, ou seja, denota um alto potencial para água subterrânea.

8 CONCLUSÕES

A integração de informações diretas como o uso de informações de poços tubulares e verificação de afloramentos em campo, assim como a classificação de parâmetros que impactam no potencial hidrogeológico mostraram-se uma metodologia satisfatória no auxílio a indicação de áreas alvo de maior acúmulo de água subterrânea.

Foram reconhecidos no mapa de potencial hidrogeológico três domínios principais relativos à probabilidade de acúmulo de água. Um fator que prejudica a metodologia é a escassez de dados diretos dos poços tubulares, principalmente nos locais onde o mapa indica alto potencial hidrogeológico. A zona caracterizada por alto potencial coincide principalmente com regiões de baixa altitude, alta densidade de drenagens e presença de depósitos aluviais. O domínio do médio potencial ocorre em regiões onde o relevo é ondulado, forte ondulado e levemente mais afastado das maiores densidades de drenagens. Nas rochas ígneas este domínio ocorre de forma mais acentuada em locais de maior densidade de drenagens. O domínio de

baixo potencial é marcado pelo relevo montanhoso, menor densidade de drenagens e predomínio de rochas vulcânicas. Os fatores negativos aplicados a essas características não agregam grande potencial hidrogeológico a estas áreas.

Para trabalhos futuros recomenda-se um estudo detalhado das unidades litológicas da Fácies Caxias identificando o potencial para acúmulo de água por porosidade. Além disso, determinar se há conectividade entre poros que permita o fluxo deste recurso e aproveitamento do mesmo. A caracterização da profundidade do lençol subterrâneo através da geofísica (métodos elétricos) consistiria em outro critério de abordagem indireta para a análise litológico e estruturas condicionantes. Complementarmente, recomenda-se uma etapa de mapeamento mais detalhada com descrições litológicas e estruturais a fim de eliminar subjetividades e incrementar a caracterização destes aquíferos.

9 REFERÊNCIAS

ADEYEYE, O. A.; IKPOKONTE, E. A.; ARABI, S. A. **GIS-based groundwater potential mapping within Dengi area, North Central Nigeria**. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, Nigéria, v. 22, n. 2, p. 175-181, dez./2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.04.003>>. Acesso em: 5 mai. 2020.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Programa Nacional de Hidrologia**. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Apresentacao/Programa-Nacional-de-Hidrologia-293.html>. Acesso em: 8 mai. 2020.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **SIAGAS - Sistema de Informações de Águas Subterrâneas**. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/index.php>. Acesso em: 8 mai. 2020.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **SUREG/PA - Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul - Escala 1:750.000**. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Sobre/Equipe-e-Enderecos/SUREG%7CPA---Mapa-Hidrogeologico-do-Rio-Grande-do-Sul---Escala-1%3A750.000-114.html>. Acesso em: 8 mai. 2020.

CPRM. **MAPA GEOLÓGICO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia_basica/cartografia_regional/mapa_rio_grande_sul.pdf. Acesso em: 12 abr. 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Alos**. Disponível em: https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao_alos.html. Acesso em: 7 mai. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **SRTM**. Disponível em: https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao_srtm.html. Acesso em: 7 mai. 2020.

EUROPEAN SPACE AGENCY. **Sentinel - 2**. Disponível em: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>. Acesso em: 7 mai. 2020.

FEITOSA, F. A. C. *et al.* **Hidrogeologia** : Conceitos e Aplicações . 3. ed. Rio de Janeiro : CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2008.

FREITAS, M.A. **Avaliação do potencial hidrogeológico de terrenos cristalinos através de técnicas de geoprocessamento**. Porto Alegre. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia. Área de Sensoriamento Remoto aplicado à Geologia, 1998.

HARTMANN, Léo Afraneo. A história natural do Grupo Serra Geral desde o Cretáceo até o Recente . **Ciência e Natura**, Santa Maria - RS, v. 36, n. 1, p. 173-182, mai./2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5902/2179460X13236>>. Acesso em: 18 mai. 2020.

HOFFMANN, Jorn. **The future of satellite remote sensing in hydrogeology**. Hydrogeology Journal, Germany, v. 13, n. 13, p. 247-250, fev./2005. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10040-004-0409-2>>. Acesso em: 18 mai. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES. **LANDSAT**. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat>. Acesso em: 7 mai. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES. **Sobre o CBERS**. Disponível em: <http://www.cbbers.inpe.br/sobre/index.php>. Acesso em: 7 mai. 2020.

KALIRAJ et al. **Identification of potential groundwater recharge zones in Vaigai upper basin, Tamil Nadu, using GIS-based analytical hierarchical process (AHP) technique**. Arabian Journal of Geosciences, Tamil Nadu, India, v. 7, n. 1, p. 1385-1401, jan./2013.

LANGER, M. C. *et al.* **Formação Caturrita: Triássico, Jurássico ou ambos?**. In: VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA DE VERTEBRADOS, 2012, Recife. Anais... Recife: Sociedade Brasileira de Paleontologia, 2012. P. 47.

MACHADO, F. B. *et al.* **As rochas intrusivas da formação serra geral na porção leste da bacia do paraná no estado de são paulo: aspectos petrográficos e geoquímicos – resultados preliminares**. Revista Geociências, São Paulo, v. 24, n. 1, p. 5-17, 2005. Disponível em: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/9736/9096>. Acesso em: 29 out. 2020.

MILANI, E. J. *et al.* **Bacia do Paraná**. Boletim de Geociências - Petrobras, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 265-287, jan./2007. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/265291564_Bacia_do_Parana>. Acesso em: 18 mai. 2020.

MILANI, Edison J.; RAMOS, Victor A.. **Orogenias paleozóicas no domínio sul-ocidental do gondwana e os ciclos de subsidência da bacia do paraná**. Revista Brasileira de Geociências, Rio de Janeiro - RJ, v. 28, n. 4, p. 473-484, dez./1998. Disponível em: <<http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/11243/10706>>. Acesso em: 18 mai. 2020.

NOVO, E. M. L. D. M; PONZONI, Flávio Jorge. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 1. ed. São José dos Campos - SP: [s.n.], 2001. p. 3-68.

PINTO, Marcelo Lima. **Arcabouço tectônico da Bacia do Paraná, uma nova abordagem com base em dados de métodos potenciais**. Orientador: Profa. Dra. Roberta Mary Vidotti. 2019. 96 p. Tese (Doutorado em Geociências) - UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, Brasília, 2019. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/35343>. Acesso em: 29 out. 2020.

QGIS. **Análise Espacial (Interpolação)**. Disponível em: https://docs.qgis.org/2.14/pt_BR/docs/gentle_gis_introduction/spatial_analysis_interpolation.html. Acesso em: 10 out. 2019.

Hartmann, *et al* 2004. **Carta aberta da comissão brasileira de estratigrafia, 1., 2004, Porto Alegre, RS**. Anais [...]. Porto Alegre, RS: Campus do Vale / Universidade Federal do

Rio Grande do Sul, 2004. 75 p. Disponível em: http://cbe-sbg.org.br/DOCS/Historicos/Reuniao_aberta_CBE_2004.pdf. Acesso em: 28 out. 2020.

SAATY, Thomas L.. **Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process**, f. 240. 1990. 479 p.

SEMA - SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA. **Outorga de Águas Subterrâneas**. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/outorga-de-aguas-subterraneas>. Acesso em: 8 mai. 2020.

SILVA, F.H.F. **Estudo geológico–estrutural e sensoriamento remoto como contribuição a hidrogeologia de terrenos cristalinos no Distrito de Juá, CE**. Orientador: Profa. Dra. Iramaia Furtado Braga. 2007. 113 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007. DOI <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/1426>. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/1426/1/2007-dis-fhfsilva.pdf>. Acesso em: 29 out. 2020.

Silva, R. C.; Carvalho, I. S.; Fernandes, A. C. Pegadas de dinossauros do Triássico (Formação Santa Maria) do Brasil. **Asociación Paleontológica Argentina**, Buenos Aires, v. 45, n. 4, p. 783-790, nov./2008. Disponível em: http://sigep.cprm.gov.br/propostas/Sitio_Fossilifero_Predebon_QuartaColonia_RS_Art_2_A_meghiniana.pdf. Acesso em: 19 mai. 2020.

SOARES, A. P. *et al.* **Compartimentação estrutural da bacia do paraná: a questão dos lineamentos e sua influência na distribuio do sistema aquifero guarani**. Geociencias, São Paulo, v. 26, n. 4, p. 297-311, 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/289660380_Structural_compartments_of_the_Parana_Basin_Lineaments_and_influence_on_Guarani_Aquifer_system. Acesso em: 29 out. 2020.

Soares, A. P.; Soares, P. C.; Holz, M. **Correlaes Estratigráficas Conflitantes no Limite Permo-Triássico no Sul da Bacia do Paraná: O Contato Entre Duas Sequências e Implicaes na Configurao Espacial do Aquifero Guarani**. Pesquisas em Geociências, Porto Alegre, RS, v. 35, n. 2, p. 115-133, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.22456/1807-9806.17942>. Acesso em: 28 out. 2020.

SOARES, Paulo César. **Divisão estratigrafica do mesozoico no estado de São Paulo**. Revista Brasileira de Geociências, Rio Claro, SP, v. 5, n. 4, p. 229-251, 1975. Disponível em: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/12417/11977>. Acesso em: 29 out. 2020.

SOARES, Paulo Cesar. **Tectnica sinsedimentar cíclica na Bacia do Paraná - Controles**. 1991. 141 p. Dissertao (Tese para concurso ao cargo de professor Titular no Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná - Curitiba) - Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná - Curitiba, Curitiba, PR, 1991. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/282155022_Tectonica_sinsedimentar_ciclica_na_Bacia_do_Parana_-_Controles. Acesso em: 28 out. 2020.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY. **Landsat Missions**. Disponível em: <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8>. Acesso em: 7 mai. 2020.

YOUSIF, M. *et al.* **Utilizing the geological data and remote sensing applications for investigation of groundwater occurrences, West El Minia, Western Desert of**

Egypt. NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics, Egypt, v. 7, n. 2, p. 318-333, mai./2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.nrjag.2018.07.002>>. Acesso em: 15 mai. 2020