

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL  
CAMPUS CERRO LARGO/RS  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**RENATA NASCIMENTO PEREIRA**

**ESTUDO DA VULNERABILIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO  
MUNICÍPIO DE SANTA ROSA/RS**

**CERRO LARGO/RS**

**2021**

**RENATA NASCIMENTO PEREIRA**

**ESTUDO DA VULNERABILIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO  
MUNICÍPIO DE SANTA ROSA/RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Mario Sergio Wolski  
Coorientador: Prof. Dr. Jair João Daniel Junior

**CERRO LARGO/RS**

**2021**

## **Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS**

Pereira, Renata Nascimento

Estudo da Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas no município de Santa Rosa/RS / Renata Nascimento Pereira. -- 2021.

63 f.:il.

Orientador: Prof. Dr. Mario Sergio Wolski

Co-orientador: Prof. Dr. Jair João Daniel Junior

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -

Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de

Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária, Cerro Largo, RS, 2021.

1. Índice de Vulnerabilidade. 2. Contaminação. 3. Água Subterrânea. I. Wolski, Mario Sergio, orient. II. Daniel Junior, Jair João, co-orient. III. Universidade Federal da Fronteira Sul. IV. Título.

**RENATA NASCIMENTO PEREIRA**

**ESTUDO DA VULNERABILIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO  
MUNICÍPIO DE SANTA ROSA/RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Este trabalho de conclusão foi defendido e aprovado pela banca em: 13/05/2021

**BANCA EXAMINADORA**



---

Prof. Dr. Mario Sergio Wolski – UFFS  
Orientador



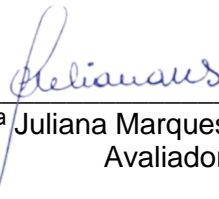
---

Prof. Dr. Jair João Daniel Junior  
Coorientador



---

Prof. Dr. Márcio Antônio Vendruscolo – UFFS  
Avaliador



---

Prof.ª Dr.ª Juliana Marques Schontag – UFFS  
Avaliadora

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, em primeiro lugar a Deus, por te me abençoado e guiado ao longo do caminho para que eu conseguisse chegar até aqui.

A minha família maravilhosa, por não medir esforços para que eu realizasse uma graduação.

Aos meus amigos, pois essa trajetória não seria tão especial, se não tivesse eles ao meu lado.

Ao meu Orientador, Coorientador, aos demais Professores, a toda a comunidade da UFFS e Cerro Largo, serei eternamente grata,

Muito obrigada!

## RESUMO

Os recursos hídricos vêm sendo afetados de forma constante por diversos fatores. Os aquíferos, embora afigurando-se mais protegidos, também são alvos das atividades desenvolvidas em superfície terrestre. O desordenamento territorial e o uso do meio físico de forma inadequada favorecem a degradação dos recursos naturais e principalmente da qualidade das águas. Devido à importância da preservação destes ecossistemas, de conhecer a vulnerabilidade natural de aquíferos e salientar sobre os riscos de contaminação a que estes estão sujeitos, este estudo veio a ser desenvolvido. Portanto, o objetivo foi calcular, avaliar e mapear o índice de vulnerabilidade das águas subterrâneas, na área de abrangência do município de Santa Rosa, localizado no Estado do Rio Grande do Sul. Os procedimentos metodológicos adotados, iniciaram com um embasamento teórico sobre águas subterrâneas, e posteriormente, acerca das características do município. A vulnerabilidade foi determinada utilizando o Método GOD (*Groundwater hydraulic confinement, Overlying strata, Depth to groundwater table*), uma técnica simples na qual a denominação representa três parâmetros em inglês. Através da plataforma SIAGAS – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas, foram coletados dados de setenta poços de captação de águas subterrâneas, pertencentes a Santa Rosa e aplicado o Método GOD. Observou-se que a maior parte dos poços, 87,14%, estão em áreas com classe de vulnerabilidade insignificante, 10% estão em áreas de vulnerabilidade baixa e 2,86% em áreas de vulnerabilidade média, o que se justifica pelas características aquíferas e locais. Entretanto, ainda é necessária certa atenção, pois os resultados não significam que os mananciais subterrâneos não estejam susceptíveis a impactos negativos. A representação cartográfica da vulnerabilidade natural dos aquíferos se mostra um instrumento de valor, uma vez que aponta quais as regiões mais e menos apropriadas para instalação de poços de captação e até mesmo de novas atividades. O presente estudo pode servir de subsídio a órgãos gestores para a preservação destes recursos naturais locais.

Palavras-chave: Água subterrânea. Índice de Vulnerabilidade. Aquífero. Contaminação.

## ABSTRACT

Water resources have been constantly affected by several factors. Aquifers, although appearing to be more protected, are also targets of activities carried out on the earth's surface. Territorial disorder and the inappropriate use of the physical environment favor the degradation of natural resources and especially water quality. Due to the importance of preserving these ecosystems, knowing the natural vulnerability of aquifers and highlighting the risks of contamination to which they are subjected, this study was developed. Therefore, the objective was to calculate, evaluate and map the vulnerability index of groundwater in the coverage area of the municipality of Santa Rosa, located in the State of Rio Grande do Sul. The methodological procedures adopted, started with a theoretical basis on groundwater, and later, about the characteristics of the municipality. The vulnerability was determined using the Method GOD (Groundwater hydraulic confinement, Overlying strata, Depth to groundwater table), a simple technique in which the name represents three parameters in English. Through the SIAGAS platform - Groundwater Information System, data were collected from seventy groundwater captation wells belonging to Santa Rosa and the GOD Method was applied. It was observed that most of the wells, 87,14%, are in areas with insignificant vulnerability class, 10% are in areas of low vulnerability and 2,86% in areas of medium vulnerability, which is justified by the characteristics aquifer and local. However, some attention is still needed, as the results do not mean that the underground water sources are not susceptible to negative impacts. The cartographic representation of the natural vulnerability of aquifers proves to be a valuable instrument, since it points out which regions are more and less appropriate for the installation of captation wells and even new activities. The present study can serve as a subsidy to managing bodies for the preservation of these local natural resources.

Keywords: Groundwater. Vulnerability Index. Aquifer. Contamination.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Aquíferos confinados e não confinados .....	15
Figura 2 – Problema da determinação da vulnerabilidade em aquíferos multicamadas .....	19
Figura 3 – Sistemática do método GOD para avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação .....	22
Figura 4 – Descrição dos Índices de Vulnerabilidade do Método GOD .....	23
Figura 5 – Mapa de localização do município de Santa Rosa/RS .....	27
Figura 6 – Pesquisa em Região Sul, Estado do Rio Grande do Sul e Município de Santa Rosa na plataforma SIAGAS.....	31
Figura 7 – Coordenadas UTM do poço de código 4300002139.....	31
Figura 8 – Condição de confinamento do aquífero no poço 4300002139.....	32
Figura 9 – Estratos de cobertura do aquífero no poço 4300002139 .....	33
Figura 10 – Nível estático do poço 4300002139.....	33
Figura 11 – Exemplo de atribuição de notas GOD para o poço 4300020970 .....	34
Figura 12 - Exemplos de atribuição de notas para a variável O .....	35
Figura 13 – Grau de confinamento da água subterrânea dos poços de Santa Rosa/RS.....	38
Figura 14 – Ocorrência de estratos de cobertura no entorno dos poços de Santa Rosa/RS .....	40
Figura 15 – Nível Estático da água subterrânea dos poços de Santa Rosa/RS.....	42
Figura 16 – Índice de Vulnerabilidade do Aquífero à contaminação.....	44



## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Percentual dos graus de confinamento dos poços .....	37
Gráfico 2 – Percentual dos estratos de cobertura no entorno dos poços .....	39
Gráfico 3 – Percentual dos níveis estáticos dos poços .....	41
Gráfico 4 – Percentual das classes de vulnerabilidade .....	43

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1	OBJETIVOS .....	12
<b>1.1.1</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>13</b>
2.1	AVANÇOS HISTÓRICOS SOBRE O ENTENDIMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS .....	13
2.2	ÁGUAS SUBTERRÂNEAS .....	14
2.3	VULNERABILIDADE DE AQUÍFEROS À CONTAMINAÇÃO.....	16
<b>2.3.1</b>	<b>Causas de deterioração das águas subterrâneas.....</b>	<b>17</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Métodos de avaliação da vulnerabilidade de aquíferos .....</b>	<b>18</b>
2.3.2.1	Método GOD .....	20
2.4	MAPEAMENTO E GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS .....	23
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>26</b>
3.1	CARACTERIZAÇÃO/DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	26
<b>3.1.1</b>	<b>Aspectos climáticos .....</b>	<b>27</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Aspectos geomorfológicos e geológicos .....</b>	<b>28</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Aspectos pedológicos .....</b>	<b>28</b>
<b>3.1.4</b>	<b>Aspectos hidrogeológicos e hidrográficos.....</b>	<b>29</b>
3.2	OBTENÇÃO DAS VARIÁVEIS .....	30
3.3	DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE VULNERABILIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS PELO MÉTODO GOD .....	34
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>37</b>
4.1	VARIÁVEL G.....	37
4.2	VARIÁVEL O.....	39
4.3	VARIÁVEL D.....	40
4.4	ÍNDICE DE VULNERABILIDADE .....	42
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>46</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>48</b>
	<b>APÊNDICE A - DADOS DOS POÇOS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE SANTA ROSA/RS COLETADOS NA PLATAFORMA SIAGAS .....</b>	<b>52</b>

**APÊNDICE B - ATRIBUIÇÃO DE NOTAS AOS DADOS DOS POÇOS DE  
CAPTAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE SANTA ROSA/RS .....55**

**APÊNDICE C - ÍNDICES E GRAUS DE VULNERABILIDADE DAS ÁGUAS  
SUBTERRÂNEAS DE SANTA ROSA/RS .....59**

## 1 INTRODUÇÃO

As atividades antrópicas desenvolvidas nas últimas décadas têm provocado inúmeras modificações no meio terrestre e aquático. Dentro deste contexto, a fim de propiciar menores impactos, a procura por alternativas de planejamento que idealizem formas mais adequadas de uso e ocupação do espaço, deve ser constante, tanto para corpos d'água superficiais como subterrâneos (LÖBLER; SILVA, 2015).

Nas palavras de Filho (2008, p. 53), “Mais do que um recurso, a água subterrânea é uma característica essencial do ambiente natural”. A ciência das águas subterrâneas aborda o fluxo em formações geológicas saturadas e o movimento em meios parcialmente saturados, neste, a água pode ser aproveitada pela vegetação e pelo solo, oferecendo umidade e por consequência contribuindo para o ciclo hidrológico.

Os aquíferos exercem um papel imprescindível no desenvolvimento socioeconômico das cidades e do campo, bem como na sustentação de inúmeros ecossistemas. Reafirmando a importância para conjuntos como fauna e flora, desempenho de funções diretamente relacionadas à manutenção da vida, saúde e bem-estar do homem, Oliveira et al. (2018), ainda relata que é cada vez mais crescente a discussão sobre o uso sustentável destes recursos naturais.

Até meados dos anos 1970, fiava-se no raciocínio de que as águas subterrâneas estavam naturalmente protegidas da poluição e contaminação pelas camadas de solos e rochas. Contudo, com o passar dos anos, diversos estudos têm evidenciado o contrário (SILVA; ARAÚJO, 2003).

Em alguns países desenvolvidos, além do abastecimento urbano, a água subterrânea também é bastante utilizada pelas indústrias e até mesmo para a irrigação, pois é indicada como uma alternativa mais acessível em termos financeiros. No entanto, a má utilização desse recurso pode acarretar inúmeras consequências negativas do ponto de vista ambiental (REBOUÇAS, 2008).

Em decorrência da urbanização, crescimento industrial, práticas agrícolas inadequadas e outras atividades realizadas em superfície, esse recurso pode se encontrar ameaçado. Sabendo o quanto a antropização pode influenciar e promover a redução da qualidade das águas, é de grande relevância mapear a susceptibilidade dos espaços naturais frente aos riscos (NASCIMENTO; JESUS; GOMES, 2019).

Diante deste cenário, o conhecimento sobre a vulnerabilidade de aquíferos pode ser utilizado como um material de apoio à elaboração de propostas de preservação destes mananciais, agregadas a gestão de recursos hídricos, planejamento e ordenamento territorial (RIBEIRO; ROCHA; GARCIA; 2011). Conforme Foster et al. (2006), a avaliação destes

perigos é necessária para induzir a tomada de ações preventivas livrando-se de futuras contaminações e ações corretivas para controlar a ameaça de atividades passadas e presentes.

O Método GOD (*Groundwater hydraulic confinement, Overlying strata, Depth to groundwater table*) é uma das técnicas que vêm sendo empregada para determinar a vulnerabilidade dos aquíferos à contaminação. Nesta metodologia, é avaliado um agregado de características de uma dada região, e através destas, é possível conhecer o nível de vulnerabilidade local.

## 1.1 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi calcular, avaliar e mapear o índice de vulnerabilidade das águas subterrâneas do município de Santa Rosa, localizado no Estado do Rio Grande do Sul, através do emprego do método GOD.

### 1.1.1 Objetivos específicos

- I. Elaborar uma planilha de dados sobre os poços de captação de águas subterrâneas registrados no município, com as características dos pontos de estudo e suas localizações.
- II. Determinar a classificação de vulnerabilidade de cada um dos pontos de estudo através da metodologia GOD.
- III. Espacializar as informações utilizando ferramentas de Sistema de Informações Geográficas (SIG).

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura foi fragmentada em quatro sessões. A primeira corresponde ao início dos estudos sobre águas subterrâneas. Em seguida, a segunda seção apresenta alguns conceitos e explicações sobre estes mananciais. A terceira parte introduz sobre o assunto de maior interesse, a vulnerabilidade. E a quarta sessão, diz respeito ao mapeamento e gestão dos recursos hídricos.

### 2.1 AVANÇOS HISTÓRICOS SOBRE O ENTENDIMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

As águas subterrâneas são aproveitadas pelo homem há muito tempo, mesmo sem a compreensão da sua origem pelo mesmo. No Egito e na Pérsia, foram construídos túneis e poços a cerca de 800 a. c., sendo que um dos trabalhos mais importantes da antiguidade para coletar água subterrânea foi elaborado por estes, e era denominado *kanat* [canal], o maior sistema hidráulico dos antigos (TOLMAN, 1937).

Segundo Walton (1970, *apud* FILHO, 2008, p. 5) alguns filósofos gregos acreditavam que as águas marinhas eram conduzidas por canais subterrâneos para baixo das montanhas e ascendiam até a superfície, purificadas na forma de nascentes. Reconheciam a importância da água da chuva para manter os rios, mas ainda havia dúvidas de como se dava o armazenamento subterrâneo e a sua natureza.

Foi então que Aristóteles, algum tempo depois, surgiu com uma teoria mais consistente sobre o assunto. Afirmava que tudo fazia parte de um ciclo, que os caminhos das águas entre a terra e o ar abrangiam processos como a evaporação, condensação e, que parte da chuva alimentava os rios e parte penetrava no solo, ressurgindo pelas fontes e nascentes (FILHO, 2008).

De acordo com Filho (2008), assim como o filósofo Aristóteles, outros nomes também contribuíram para o entendimento do ciclo da água, como o arquiteto romano Vitruvius e o francês Bernard Palissy. Por eles, explicou-se de forma mais clara que era o fenômeno da infiltração, o encarregado de conservar a água no subsolo, e também, a concepção da existência de um ciclo hidrológico.

Contudo, quem deu o primeiro passo, colocando em prática essa teoria foi Pierre Perrault. Pierre, através de seu experimento em uma bacia hidrográfica, demonstrou que as precipitações poderiam garantir o fluxo dos rios, umidade para as raízes das plantas e ainda

infiltrar em camadas mais profundas. Edmé Marrioté, por sua vez, confirmou o trabalho de Perrault, comprovando a teoria da infiltração (FILHO, 2008).

## 2.2 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Ainda que, toda água situada abaixo da superfície da Terra é popularmente conhecida e seja evidentemente água subterrânea, na área da hidrogeologia, o conceito é mais restrito. Nesta área de estudo, a denominação de água subterrânea corresponde apenas a parcela que circula na zona saturada, isto é, a zona localizada abaixo da superfície livre (FILHO, 2008).

Eventos como a precipitação fazem com que a água atinja o terreno, ficando retida no solo e vegetação, escoando superficialmente ou ainda infiltrando por atração gravitacional e efeitos de capilaridade. Em função dessas forças, da natureza do terreno e da atuação das plantas, a água tem a possibilidade de chegar à zona de aeração/vadosa ou na zona de saturação, o que se pode entender como fase subterrânea do ciclo hidrológico (PINTO, 2011).

A formação das águas subterrâneas ocorre pelo excedente das chuvas que atingem a superfície do solo, percolando pelas camadas e preenchendo os espaços vazios entre as rochas, tornando essa região saturada e sob pressão hidrostática. Essa reserva de água também conhecida como aquífero, são formações geológicas permeáveis que contribuem para que parte dos rios brasileiros sejam perenes (ANA, 2019). Assim, a classificação dos aquíferos pode se dar por meio da porosidade e da pressão a que estão submetidos, lembrando que alguns dos maiores aquíferos do mundo estão no Brasil, como o Guarani e o Alter do Chão (ANA, 2017).

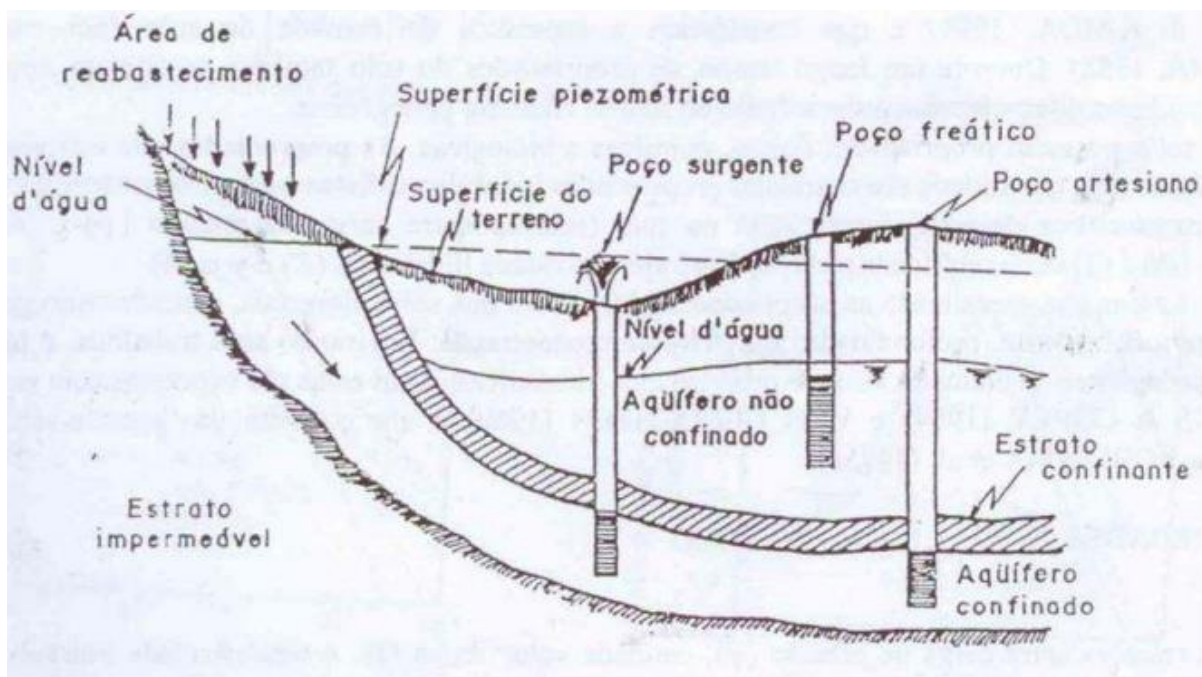
Os sistemas hidrogeológicos podem ser categorizados em aquífero, aquíclode e aquíquardo. Aquíferos são formações geológicas em que a água se movimenta em condições naturais e em vasta quantidade, diferentemente do aquíclode, pois este pode ou não conter água e em caso afirmativo, esta não tem o poder de movimentação de um lugar para outro. Já os aquíquardos, são formações geológicas de estrutura semipermeável que conduzem água em quantidades bem inferiores, se comparado aos aquíferos (CAICEDO, 2009).

A percolação da água pode variar de intensidade de acordo com o tipo de terreno. Algumas formações possuem vazios contínuos permitindo fluxo descendente da água, contudo, se houver camadas menos permeáveis, o movimento é mais demorado ao passo de preencher as lacunas e formar zonas saturadas, conhecidas também como lençóis subterrâneos. E, se este permite sua utilização por ter escoamento vantajoso, recebe o nome de aquífero. Quando o lençol subterrâneo contém uma face livre, recebe o título de lençol freático. Caso estiver sob pressão entre estruturas impermeáveis denomina-se lençol artesianos ou cativo. Ainda, existem

os lençóis suspensos, estes estão situados em cotas mais superiores, na subsuperfície sobre camadas menos permeáveis (PINTO, 2011).

Caicedo (2009), traz outras características e denominações para a mesma temática. Este, relata que a classificação depende da presença ou ausência da linha d'água. Aquíferos confinados se formam quando a elevação da superfície piezométrica está sobre a superfície do terreno enquanto os não confinados a superfície piezométrica serve como fronteira superior, conforme a Figura 1.

Figura 1 – Aquíferos confinados e não confinados



Fonte: Todd (1967) adaptado por Caicedo, 2009.

Quanto à geologia do Brasil, existem dois tipos principais de domínios aquíferos de porosidade/permeabilidade intersticial primária, os depósitos aluviais e dunas e as rochas sedimentares. No primeiro, os aquíferos são geralmente livres, rasos, conseqüentemente mais vulneráveis. Já nas bacias sedimentares, é mais comum a ocorrência de rochas extensas e consolidadas, predominando os aquíferos confinados e menos vulneráveis. Ressaltando, nestas bacias se encontram os maiores potenciais de água subterrânea do país em termos de reserva e recarga (REBOUÇAS, 2009).



### 2.3 VULNERABILIDADE DE AQUÍFEROS À CONTAMINAÇÃO

A circulação da água e o deslocamento de contaminantes da superfície terrestre para os aquíferos comumente ocorre em regime lento, podendo levar um longo período de tempo para que o impacto de um evento de poluição por um contaminante persistente se torne perceptível. No momento em que for notória a poluição da água subterrânea, há chances de grande parte do aquífero estar comprometido (FOSTER et al., 2006).

Vários fatores passam por alterações devido as atividades desenvolvidas na superfície dos terrenos, um destes é o mecanismo de recarga dos aquíferos. A taxa, a frequência e a qualidade da recarga são afetadas, isto acontece particularmente nos locais de climas áridos, mas também pode estar sujeito a regiões úmidas (FOSTER et al., 2006).

A dependência que os diversos fins e atividades têm com as águas subterrâneas, atesta ser mais vantajoso estabelecer programas efetivos para sua proteção, do que para a posterior remediação. Com a crescente degradação dos recursos hídricos subterrâneos, tem ficado popular o desenvolvimento e uso de técnicas de mapeamento de vulnerabilidade à contaminação de aquíferos, funcionando como uma ferramenta cartográfica de proteção (HIRATA; FERNANDES, 2008).

Porém, deve haver uma compatibilização entre a antropização e a capacidade do terreno em suportar ambientalmente, pois como se sabe, as áreas rurais e urbanas são ocupadas com a presença de várias atividades potencialmente poluentes (HIRATA; FERNANDES, 2008).

A vulnerabilidade nesse contexto pode ser entendida como a “[...] susceptibilidade intrínseca do meio aquífero em ser adversamente afetado por uma carga contaminante antrópica [...]”, e, pode ser definida através de um conjunto de aspectos e características. Esse conceito é apenas um dos três existentes, mas, é o mais aceito e utilizado por hidrogeólogos, administradores de recursos hídricos e outros autores do meio técnico-científico (HIRATA; FERNANDES, 2008).

Conforme Hirata e Fernandes (2008), quando falamos em vulnerabilidade, uma das questões analisadas são as características dos materiais que recobrem a zona saturada, pois estas são capazes de degradar e barrar hidraulicamente a aproximação de contaminantes vindo da superfície. Segundo Rebouças (2008), esses materiais pelos quais a água percola servem como um filtro e um reator biogeoquímico de depuração, protegendo a água de agentes que deterioram a sua qualidade.

Já a expressão perigo de contaminação de aquífero, de acordo com Foster et al. (2006), significa a probabilidade de o manancial subterrâneo conter concentrações de contaminantes

acima do valor assentado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) para a qualidade da água potável. A avaliação do perigo de contaminação, também chamado de risco, pode ser realizada considerando a interação entre a carga contaminante presente ou futura aplicada ao subsolo e a vulnerabilidade do aquífero a contaminação.

Então, existe a possibilidade de uma área ter alta vulnerabilidade e nenhum perigo de poluição, por não possuir carga contaminante significativa. Esta carga é passível de alteração ou controle, contudo a vulnerabilidade é fundamentalmente definida levando em conta o quadro hidrogeológico natural (FOSTER et al., 2006).

O Conselho Nacional de Pesquisa norte-americano, NRC (1993 *apud* FOSTER et al., 2006, p. 17) publicou em sua revisão três leis da vulnerabilidade das águas subterrâneas:

- Toda água subterrânea é vulnerável, em maior ou menor grau, à contaminação
- A incerteza é inerente a qualquer avaliação de vulnerabilidade à contaminação
- Os sistemas mais complexos de avaliação da vulnerabilidade apresentam o risco de obscurecer o óbvio e tornar distintas as sutilezas.

O trabalho de Nofal *et al.* (2018), reafirma que a vulnerabilidade é uma indicação da probabilidade relativa de ocorrer uma contaminação e que nenhuma água subterrânea é invulnerável.

### **2.3.1 Causas de deterioração das águas subterrâneas**

Existem diversas causas que podem reduzir a qualidade dos mananciais subterrâneos, sucintamente algumas delas estão descritas neste tópico.

A falta de saneamento básico, destacando-se a ausência de coleta ou disposição correta de resíduos, vazamento de tanques de combustíveis, uso e ocupação do meio físico e métodos de irrigação pouco eficientes são alguns dos fatores coniventes com a degradação dos aquíferos. Uma obra de captação mal construída para extração da água, também pode vir a ser um foco de contaminação, por esse motivo deve atender especificações de engenharia (REBOUÇAS, 2008).

Além da contaminação nos poços devido a projetos inadequados como descrito acima, Foster *et al.* (2006) aprofunda a explicação citando que as emissões e lixiviados das atividades urbanas/industriais e intensificação do cultivo agrícola podem causar a contaminação dos aquíferos. Alguns dos contaminantes observados nestes casos são os microrganismos patógenos, metais pesados, alguns pesticidas, entre outros.

A intrusão salina também é um possível problema de deterioração da qualidade de reservas, onde a contaminação se dá pelo cloreto de sódio e algumas vezes por contaminantes persistentes gerados antropicamente. Ocorre por excesso de extração da água subterrânea salina a qual tende a fluir para o aquífero de água doce (FOSTER et al., 2006).

E ainda pode ocorrer a contaminação natural, o que está associada com a evolução química da água subterrânea e a dissolução de minerais, causadas principalmente por fluoreto e ferro solúvel (FOSTER *et al.*, 2006).

### **2.3.2 Métodos de avaliação da vulnerabilidade de aquíferos**

As bases metodológicas utilizadas para descobrir o grau/nível de vulnerabilidade de aquíferos, segundo Hirata e Fernandes (2008, p. 412), tem de “traduzir o comportamento dos contaminantes em subsuperfície”. No entanto, há um impasse em conciliar a complexidade da interação entre poluentes e a hidrogeologia local, junto das simplificações necessárias para que o método seja “aplicável, reproduzível e confiável”.

Existe uma divergência de opiniões em relação às formas de avaliação, alguns autores sustentam o uso de sistemas mais simples e generalistas, gerando mapas de vulnerabilidade geral [para todos os contaminantes]. Já outros estudiosos, pensam em amparar a complexidade dos espaços inserindo uma gama de variáveis em seus métodos, porém a soma ou multiplicação da incerteza da informação de muitos fatores aumenta a probabilidade de resultados errôneos. O mesmo pode acontecer quando há dados mais detalhados e poucos pontos (HIRATA; FERNANDES, 2008).

A seleção de um modelo para determinação da vulnerabilidade pode exigir cautela e ser um tanto difícil, uma vez que conforme o modelo pode surgir resultados significativamente diferentes (THAPA, 2018).

Outra questão crítica é a comparação entre os métodos, porque não há um único conceito amplamente aceito e quase todos geram índices de vulnerabilidades relativos (HIRATA; FERNANDES, 2008).

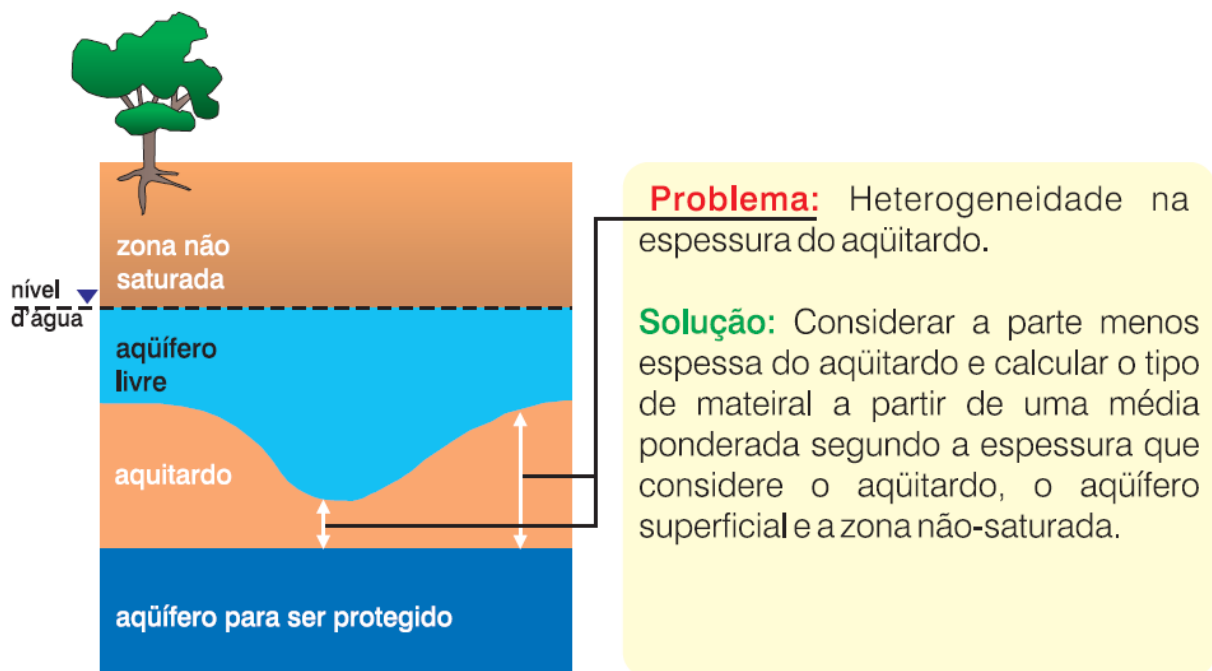
De acordo com Kapelinski *et al.* (2018), existem diversos métodos para indicar o índice de vulnerabilidade de aquíferos, mas as suas eficácias dependem da disponibilidade de dados.

O fato de poder trabalhar com dados qualitativos e consequentemente com grandes intervalos de valores, caracteriza-se por ser uma vantagem dos métodos de vulnerabilidade. Segundo Hirata e Fernandes (2008, p. 414), aparentemente as metodologias se ajustam a carência ou ausência de “[...] dados hidráulicos e físico-químicos detalhados”, e até a

complexidade geológica é superada por informações mais gerais e homogêneas para toda a área. Os métodos cartográficos são indicados para aplicação em escalas e regiões maiores, e também para investigar várias atividades juntas.

Contudo, apesar deste ajuste dos métodos, citado anteriormente, ainda existem limitações. A exemplo tem-se os aquíferos multicamadas, como na Figura 2, em que há diferentes espessuras para cada litologia e na qual é proposto calcular o tipo de material através de uma média ponderada (HIRATA; FERNANDES, 2008).

Figura 2 – Problema da determinação da vulnerabilidade em aquíferos multicamadas



Fonte: Foster et al (2002) modificado por Hirata e Fernandes, 2008.

Nota: Figura recortada pela autora.

Há uma dificuldade em pressupor os trajetos preferenciais dos poluentes pela heterogeneidade dos materiais, o que faz com que muitas sistemáticas simplifiquem e generalizem a hidrogeologia a grupos litológicos (HIRATA; FERNANDES, 2008).

São necessários pesquisas que adentrem mais profundamente nessa temática para compreender sobre a variação dos parâmetros hidráulicos e saber de forma tridimensional as características geológicas que controlam o fluxo de água nestes aquíferos. Posteriormente essas informações poderiam ser agregadas as metodologias (HIRATA; FERNANDES, 2008).

A estratificação, apesar de ser fundamental para as formações sedimentares e vulcânicas, muitas vezes é vista como uma dificuldade para o mapeamento de vulnerabilidade.

É uma característica em que os estratos de cobertura possuem propriedades muito diferentes, como a permeabilidade, dando origem a aquíferos suspensos ou a aquíferos não confinados cobertos, quando ocorre acima do lençol freático regional (FOSTER et al., 2006).

E, ainda de acordo com Foster et al. (2006), como as propriedades precisam ser consideradas, é necessário usar valores limites das mesmas ou optar por médias ponderadas. O mesmo ocorre quando a estratificação acontece abaixo do lençol freático regional, surgindo os aquíferos semiconfinados. Para este caso, os autores também sugerem algumas soluções, podendo recorrer então a procedimentos descritos em suas obras.

Certas condições hidrogeológicas também se caracterizam como limitações no mapeamento da vulnerabilidade. A título de exemplo, quando o aquífero é muito explorado pode ocorrer uma variação na profundidade do lençol, ainda assim esse efeito não é tão significativo para algumas metodologias (FOSTER *et al.*, 2006).

#### 2.3.2.1 Método GOD

O Método GOD de avaliação da vulnerabilidade de aquíferos à contaminação foi criada por Stephen Foster no ano de 1987. Posteriormente, o autor continuou desenvolvendo outros trabalhos nesta área em conjunto com Ricardo Hirata, e o método passou a ser bastante explorado na América Latina e no Caribe na década de 1990 (HIRATA; FERNANDES, 2008).

É uma das técnicas mais utilizadas pela simplicidade de conceitos e aplicação, e sua denominação é um acrônimo de três parâmetros em inglês. A letra **G** significa o confinamento do aquífero (*Groundwater hydraulic confinement*), **O** é a composição da zona não saturada e seu grau de fraturamento (*Overlying strata*) e por fim, a letra **D** expressa a profundidade do nível da água ou da base da camada confinante (*Depth to groundwater table*) (HIRATA; FERNANDES, 2008, grifo nosso).

Para determinar a vulnerabilidade em questão, duas propriedades dos materiais sobrejacentes ao aquífero são observadas, o nível de acessibilidade hidráulica da zona saturada e a capacidade de atenuação. Sendo assim, haverá um evento de contaminação caso o poluente consiga penetrar pela camada confinante chegando a zona saturada e/ou se o mesmo for quimicamente persistente com concentração que supere a capacidade de atenuação imposta pelos estratos de cobertura (HIRATA; FERNANDES, 2008).

Estes dois fatores hidrogeológicos, conforme Foster *et al.* (2006, p. 19) “não podem ser medidos diretamente e dependem, por sua vez, da combinação de outros parâmetros”. Parâmetros esses como a condutividade hidráulica vertical, teor de umidade, grau de

confinamento, mineralogia dos estratos, distribuição granulométrica dos sedimentos e fissuras seriam ideais para descrever os fatores, mas a disponibilidade destes dados é um tanto difícil.

As informações geralmente fornecidas ou encontradas, segundo Foster *et al.* (2006), são o tipo de confinamento da água subterrânea, a profundidade até o lençol freático ou teto do aquífero confinado, grau de consolidação/fissuração dos estratos e características litológicas.

Visto que a natureza composicional da zona não saturada deve ser considerada, foi feita uma simplificação dessa lista e ainda que no sentido qualitativo a maioria dos parâmetros citados acima são abrangidos. Assim, de acordo com Foster *et al.* (2006), o método GOD tem em conta as seguintes variáveis:

- **G** - Grau de confinamento da água subterrânea;
- **O** - Ocorrência de estratos de cobertura da zona vadosa ou camada confinante, em termos da característica litológica e do grau de consolidação;
- **D** - Distância até o lençol freático ou até o teto do aquífero confinado.

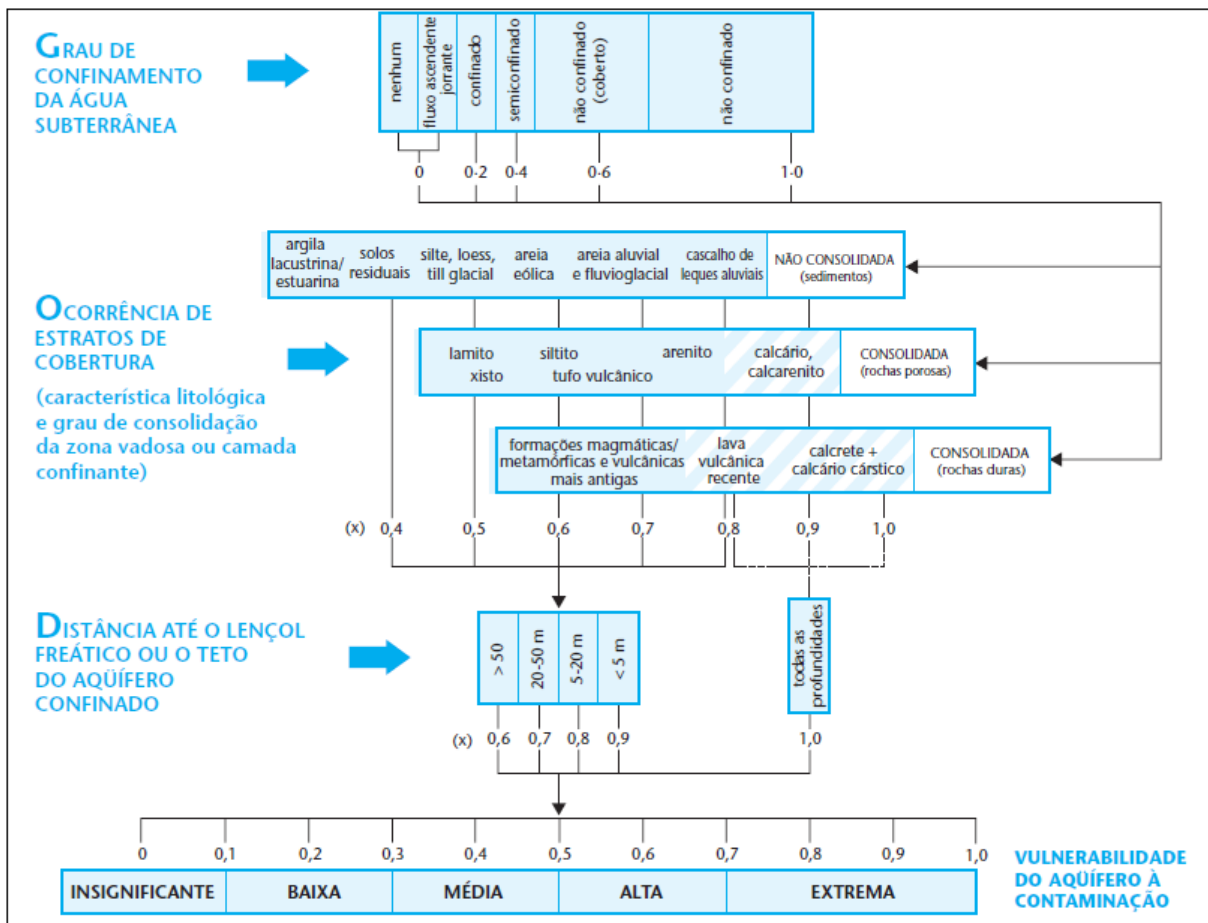
E, de forma mais aprofundada, esta metodologia envolve três estágios:

- I. Identificar o tipo de confinamento e enquadrar este parâmetro na escala 0,0 – 1,0.
- II. Especificar os estratos de cobertura, em termos de grau de consolidação (provável presença ou não de permeabilidade por fissuras) e de litologia (tipo de rocha) e enquadrar este parâmetro na escala 0,4 – 1,0.
- III. Estimar a profundidade até o lençol freático (para aquíferos livres) ou profundidade do primeiro nível principal de água subterrânea (aquíferos confinados) e enquadrar este parâmetro na escala 0,6 – 1,0.

Estas três variáveis podem ser encontradas no SIAGAS – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas, plataforma eletrônica criada pelo Serviço Geológico do Brasil – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). O SIAGAS é um sistema de armazenamento de informações formado por uma base de dados de poços constantemente atualizada e de módulos onde é possível realizar consulta, pesquisa, extração e geração de relatórios. Foi desenvolvido a partir do mapeamento e pesquisa hidrogeológica em todo país e serve de subsídio para o planejamento e gestão dos recursos hídricos (SIAGAS, 2020).

Para enquadrar as variáveis G, O e D em uma escala, há uma sistemática criada pelos autores do método, onde cada característica indica uma nota/pontuação diferenciada. Esta sistemática, mostrada na Figura 3, sofreu algumas alterações em relação ao esquema original, devido às experiências adquiridas com a aplicação do Método GOD em outros trabalhos (FOSTER *et al.*, 2006).

Figura 3 – Sistemática do método GOD para avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação



Fonte: FOSTER et al. (2006).

Porém, para a variável O em específico, por vezes é necessário um passo adicional. Quando um determinado local possui mais de um tipo litológico, não conseguimos enquadrar exatamente em uma nota da sistemática. Então, segundo Camargo *et al.* (2012), faz-se uma média ponderada para encontrar a nota do parâmetro O, como na Equação 1, considerando o peso de cada estrato de cobertura e sua espessura.

$$O = \frac{E_1 \times O_1 + E_2 \times O_2 + E_n \times O_n}{\Sigma E} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde as letras  $O_1$ ,  $O_2$ ,  $O_n$  se referem as notas de cada ocorrência litológica, de acordo com a sistemática, e  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_n$  aos valores das suas respectivas espessuras. O somatório E no denominador representa a soma das espessuras, as quais devem ser consideradas até o nível do lençol freático ou até o teto do aquífero confinado.

Por fim, a o Índice de Vulnerabilidade (IV) do aquífero à contaminação em um determinado local é o produto da pontuação atribuída aos três parâmetros, como demonstra a Equação 2 (FOSTER et al., 2006).

$$IV = G \times O \times D \quad (\text{Equação 2})$$

O IV pode variar em uma escala de 0,0 a 1,0 e classificar-se em insignificante, baixa, média, alta ou extrema vulnerabilidade. A definição correspondente de cada classe está descrita no Quadro 1 (FOSTER et al., 2006).

Figura 4 – Descrição dos Índices de Vulnerabilidade do Método GOD

Grau de Vulnerabilidade	Definição	Índice
Insignificante	Camadas confinantes sem percolação significativa, exceto em zonas de fraturas (sais e nitratos).	0 - 0,1
Baixa	Somente vulnerável a contaminantes persistentes em longo prazo, quando contínua e amplamente lançadas e lixiviadas (sais e nitratos).	0,1 - 0,3
Média	Vulnerável a alguns poluentes quando continuamente lançados e lixiviados (sais, nitratos e hidrocarbonetos).	0,3 - 0,5
Alta	Vulnerável a muitos poluentes, exceto os pouco móveis e persistentes (hidrocarbonetos, compostos aromáticos, bactérias, vírus e sais minerais).	0,5 - 0,7
Extrema	Vulnerabilidade a muitos poluentes, com o rápido impacto em muitos cenários de contaminação (pesticidas, metais pesados, hidrocarbonetos, compostos aromáticos, bactérias, vírus, sais e nitratos).	0,7 - 1,0

Fonte: Adaptado de FOSTER et al., (2006).

## 2.4 MAPEAMENTO E GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Foster *et al.* (2006, p. 15), em seu guia técnico de proteção da qualidade da água subterrânea, destaca primordialmente que “O mapeamento da vulnerabilidade do aquífero à contaminação normalmente é o primeiro passo na avaliação do perigo de contaminação da água subterrânea e na proteção de sua qualidade, em escala municipal ou estadual”.

Os mapas de vulnerabilidade auxiliam nesta avaliação, porém são mais direcionados aos despejos de substâncias que ocorrem na superfície do solo, não sendo utilizados para contaminantes ou poluentes despejados abaixo do subsolo [como em vazamentos de tanques subterrâneos, lixiviação de aterro de resíduos sólidos com retirada da zona vadosa] ou para contaminantes mais densos que a água [como alguns solventes orgânicos, fases não aquosas densas (DNAPLs)], ou até mesmo quando a água subterrânea é de qualidade naturalmente baixa



[geralmente salina] e pouco profunda. Os dois primeiros exemplos provavelmente resultarão em um alto risco de contaminação, independente de qual seja a vulnerabilidade. Para os três casos é preciso de controle ou mapeamento específico (FOSTER et al., 2006).

Quando falamos em mapas, o termo vulnerabilidade pode ser segmentado em quatro categorias. A vulnerabilidade relativa se dá quando as unidades de um mapa são classificadas uma em relação a outra, sem um significado absoluto. Considera-se vulnerabilidade absoluta, na condição de cada índice ser associado a um grupo ou somente a um contaminante, com cada unidade possuindo um significado em si. Já, quando é diretamente focada a um certo contaminante, atividade ou classe de contaminantes é definida como específica. E por fim, se for direcionada a todas as atividades ou classes é dita vulnerabilidade geral ou universal (HIRATA; FERNANDES, 2008).

Como os sistemas de aquíferos e o comportamento dos diferentes contaminantes existentes na atualidade, se dão de forma complexa, um único mapa de vulnerabilidade não explicaria claramente essa relação. Uma opção seria a construção de mapas de vulnerabilidade específica para cada poluente ou contaminante, grupos destes ou para cada tipo de atividade humana presente. O resultado disso poderia ser um atlas onde estariam reunidas todas essas cartas (HIRATA; FERNANDES, 2008).

Segundo Hirata e Fernandes (2008), cada uma das análises de vulnerabilidade, nesse sentido, deve ser realizada de forma relativa, pois a hidrogeologia de cada espaço é única.

As técnicas digitais de cartografia de vulnerabilidade conforme Vrba e Zaporozec (1994 *apud* HIRATA e FERNANDES, 2008, p. 422) têm otimizado o tempo de produção de mapas, a qualidade e precisão na definição das classes de vulnerabilidade, quando é sabido sobre o movimento de contaminantes, e além disso, tem permitido atualizar de forma rápida os mapas existentes com informações novas, possibilitando a agregação destes no cotidiano de planejamento local e regional.

Alguns países da América do Norte e da Europa se apoiam na Cartografia da Vulnerabilidade de Aquíferos ou na fixação dos Perímetros de Proteção de Poços (PPP) para a elaboração de programas de proteção dos mananciais subterrâneos. A técnica PPP demarca zonas em torno do poço onde a ocupação humana deve ser restrita. Já a cartografia de vulnerabilidade é mais ampla e flexível, apropriada para regiões maiores ou onde a geologia é muito complexa (HIRATA; FERNANDES, 2008).

Todas as técnicas possuem suas limitações e com relação a proteção total das águas subterrâneas, a cartografia como título de exemplo, não é detalhada o bastante para proporcionar a proteção efetiva dos poços. É essencial enfatizar que a mesma não substitui os

estudos com detalhes, mas pode ser uma etapa inicial de grande significância. Logo, uma alternativa para planejamentos regionais ou municipais é o uso coordenado e integrado de diferentes estratégias ou métodos (HIRATA; FERNANDES, 2008).

Para situações de uso do solo com atividades potencialmente contaminantes já instaladas, a construção de mapa de vulnerabilidade geral se mostra um caminho favorável, em conjunto com a delimitação das zonas de captura [região de recarga que contribui diretamente para um poço] nos poços onde os usos da água são para fins mais importantes (HIRATA; FERNANDES, 2008).

Em áreas de ocupação territorial futura, os mapas podem nortear o estabelecimento de exigências ambientais e níveis de restrição para as atividades/empreendimentos. Deve-se ter um controle da ocupação de locais mais sensíveis a contaminação e proteção dos mananciais utilizados para abastecimento (HIRATA; FERNANDES, 2008).

O mapeamento é um material de subsídio que identifica onde há um maior perigo de contaminação, apontando quais regiões são mais prioritárias para ações por parte dos órgãos de controle ambiental. Podem ser vistos como uma ferramenta de auxílio, com a finalidade de guiar para locais que necessitam de estudos mais aprofundados, monitoramento e controle das atividades e dirigir a estas áreas recursos técnicos e financeiros (HIRATA; FERNANDES, 2008).

Geralmente os mapas de vulnerabilidade são produzidos em escalas menores que 1:100.000, mas podem variar segundo o objetivo e a escala de trabalho (HIRATA; FERNANDES, 2008).

### 3 METODOLOGIA

O presente trabalho consiste em uma pesquisa básica de caráter descritivo, desenvolvido a partir de um estudo bibliográfico e documental, baseado sobretudo em dados secundários. Os procedimentos metodológicos adotados, iniciaram com um embasamento teórico sobre águas subterrâneas. Posteriormente, a pesquisa foi aprofundada, direcionada para a temática vulnerabilidade e norteada a uma determinada localidade, o município de Santa Rosa, no Rio Grande do Sul.

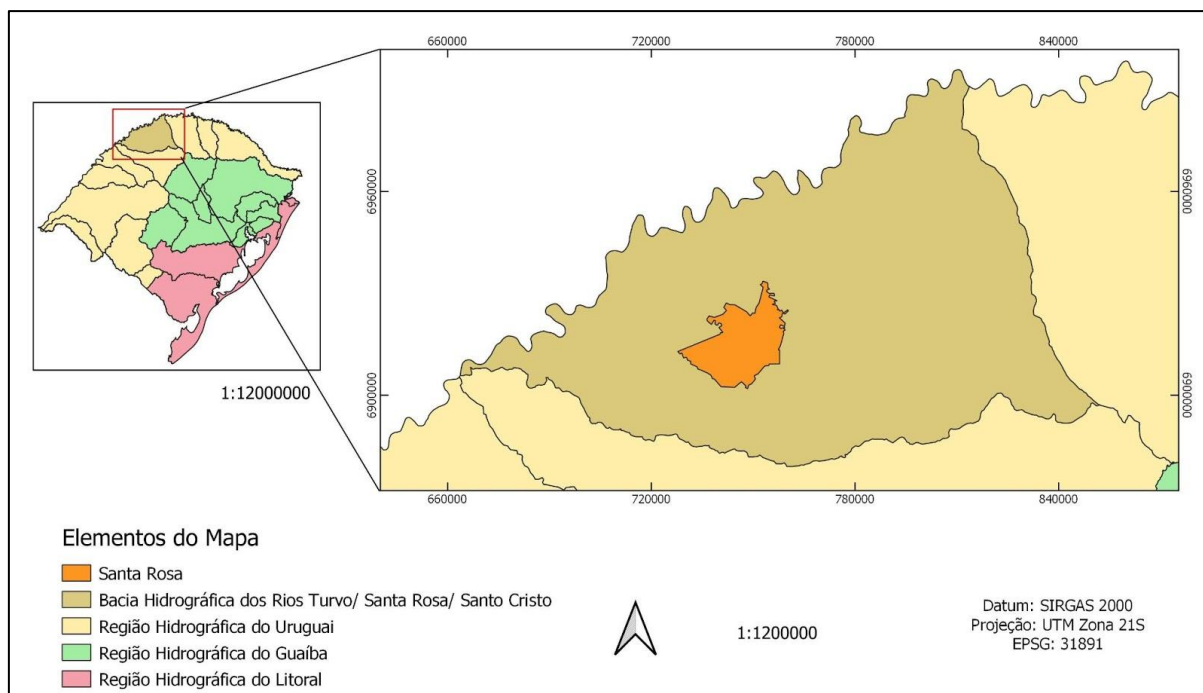
Neste sentido, a primeira etapa foi descrever sobre a caracterização do município de estudo por meio de uma revisão de literatura. Na sequência, pela plataforma SIAGAS, foram coletados dados dos poços de captação de águas subterrâneas pertencentes ao município, empregando amostragem não probabilística, devido a coleta ser baseada em critérios pré-definidos e não necessitar da estatística para determinar o tamanho da amostra. E assim, foi construída uma base de dados utilizando o aplicativo Microsoft Excel 2016<sup>®</sup>.

Em seguida, estes dados foram trabalhados mediante a aplicação do Método GOD de avaliação de vulnerabilidade de aquíferos à contaminação. As informações foram analisadas por meio de abordagem quantitativa, a qual é apoiada em recursos matemáticos, buscando traduzir as informações em números para classificação e avaliação. As mesmas foram espacializadas com o auxílio do programa QGIS 3.10.13, para uma melhor visualização e os resultados foram interpretados por meio de gráficos e mapas.

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO/DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Santa Rosa é um município brasileiro, localizado na Região Sul, mais especificamente no Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, coordenadas 27° 52' 12'' S e 54° 28' 46'' W. De acordo com o IBGE (2020), abrange uma área de 489,380 km<sup>2</sup>, está situado nos biomas Mata Atlântica e Pampa, e possuía para 2020 uma população estimada de 73.575 habitantes. Além disso, segundo a Fepam (2004), o município pertence à Região Hidrográfica do Uruguai e está totalmente inserido na Unidade 30 (U-30) - Bacia Hidrográfica dos Rios Turvo, Santa Rosa e Santo Cristo, como mostra a Figura 5.

Figura 5 – Mapa de localização do município de Santa Rosa/RS



Fonte: Autora (2021).

As principais atividades econômicas desenvolvidas na Bacia U-30 estão ligadas a pecuária e agricultura, com destaque para suinocultura, bovinocultura de leite, a produção de trigo, soja e milho. O ramo industrial é direcionado para o gênero alimentício e mecânico. Em função destas atividades socioeconômicas da região, há perspectivas de aumentar a demanda por água (FEPAM, 201-?).

### 3.1.1 Aspectos climáticos

O clima, de acordo com a classificação de Köppen, se enquadra na categoria Cfa, temperado, do tipo mesotérmico úmido com verões quentes. As chuvas são bem distribuídas ao longo do ano e praticamente homogêneas em toda a Bacia U-30, com uma estimativa média de precipitação em torno de 1.760 mm, não existindo uma estação de seca definida. Já o regime térmico apresenta grandes oscilações, na região de estudo, a temperatura média durante o verão chega a 25°C, e no inverno caem bruscamente em alguns meses (FEPAM, 2004).

A insolação e a evaporação, são outros elementos que caracterizam o clima. Considerando dados de algumas estações, a estimativa de insolação média mensal é de

aproximadamente 203 horas e a evaporação média anual é de 1450 mm. Os dois elementos são mais acentuados no verão, período em que o volume evaporado excede o precipitado (FEPAM, 2004).

### **3.1.2 Aspectos geomorfológicos e geológicos**

Santa Rosa está inserida no compartimento morfológico do Planalto Meridional, mais especificamente no Planalto Santo Ângelo e Planalto Rio Iguaçu - Rio Uruguai, com unidades de relevo plano a suave e relevo suave/moderado a acentuado, nos quais são possíveis identificar coxilhas e pequenos morros (UFRGS, 2010).

Estes aspectos geomorfológicos estão relacionados também às características geológicas locais. O município está em uma área de formação geológica denominada Serra Geral, constituída por rochas magmáticas, principalmente basaltos resultantes do extravasamento de lavas vulcânicas. A Formação Serra Geral, por sua vez, é um compartimento que cobre uma porção da Bacia do Paraná, um macro espaço geológico composto de rochas ígneas e sedimentares (FEPAM, 2004).

As composições litológicas variam em diferentes profundidades e horizontes, mas o substrato geológico de Santa Rosa é composto por rochas basálticas de composição química básica a andesitos de filiação toleítica (FEPAM, 2004). O andesito é uma rocha ígnea e extrusiva, que em geral possui textura porfirítica, com grãos grandes e pequenos misturados, contém sílica, feldspato, e outros minerais, com coloração escura (WINGE, 2001).

O basalto também é classificado como uma rocha ígnea e extrusiva, formada pelo rápido resfriamento e consolidação do magma. Possui estrutura maciça, textura granular fina e frequentemente afanítica, composição química básica, como a sílica e outros minerais e apresenta uma coloração escura (IGC, 201-?).

### **3.1.3 Aspectos pedológicos**

De acordo com o IBGE (2002), no município de estudo predominam dois tipos de solos, o LRd2 - latossolo roxo distrófico (latossolos vermelhos) e o Ce2 - cambissolo eutrófico (cambissolos háplicos). Os latossolos vermelhos, segundo a Embrapa (2018), são constituídos por material mineral, são muito intemperizados e em alguns horizontes possuem saturação por base menor que 50% [distrófico]. O LRd2, em específico, tem por característica ser um solo

álico, com alto teor de alumínio, de textura muito argilosa e relevo suave ondulado (IBGE, 2002).

Já os solos do tipo Ce2 são uma associação complexa de cambissolos constituídos por material mineral e saturação por base menor que 50 % e maior ou igual a 50% [eutrófico]. Estes solos se apresentam com textura argilosa e muito argilosa, pedregosidade em alguns locais, relevo fortemente ondulado e montanhoso, tendo como substrato o basalto (IBGE, 2002).

### **3.1.4 Aspectos hidrogeológicos e hidrográficos**

Segundo o IBGE (2015), em relação ao domínio hidrogeológico, Santa Rosa está situada em uma área de Aquíferos Fissurais. Este domínio é caracterizado por ser um sistema aquífero fraturado independente, composto principalmente por rochas vulcânicas, como o basalto, do período Cretáceo, que pertencem a Formação Serra Geral, Grupo São Bento.

Machado e Freitas (2005) complementam, ressaltando que o Sistema Aquífero Serra Geral I, além de apresentar porosidade predominantemente por fraturas e litologias basálticas, também é composto por solos argilosos, sendo um dos sistemas que faz fronteira superior ao Sistema Aquífero Guarani.

Quanto a hidrografia, como já citado anteriormente, Santa Rosa pertence a Bacia U – 30, sendo esta, uma das dez unidades hidrográficas que fazem parte da Região Hidrográfica do Uruguai, que compreende a porção norte, noroeste e oeste do território sul-rio-grandense (FEPAM, 201-?).

A U-30, além de Santa Rosa, abrange outros 54 municípios total ou parcialmente e drena uma área de 10.757 km<sup>2</sup>. Esta bacia é fragmentada em oito sub-bacias, uma delas abrange os rios de menor dimensão e vazão, e as outras sete drenam rios de grande porte. Destas sete sub-bacias, três fazem parte do município de estudo, são elas as sub-bacias do Rio Santa Rosa, do Rio Santo Cristo e do Rio Amandaú (FEPAM, 2004).

A sub-bacia do Rio Santa Rosa abrange 25,09% do município de Santa Rosa, drena uma área de 1.399,59 km<sup>2</sup> e tem uma rede de drenagem de 1.022,67 km, sendo que somente o rio principal tem 185,14 km de extensão. Seus principais afluentes são o Lajeado Quaraim, o Lajeado Tigre, o Rio Cascavel, o Lajeado das Tunas, o Lajeado Capim e o Lajeado dos Ramos (FEPAM, 2004).

A sub-bacia do Rio Santo Cristo abrange 64,11% do município de Santa Rosa, drena uma área de 898,10 km<sup>2</sup> e tem uma rede de drenagem de 716,29 km, sendo que somente o rio principal tem 121,73 km de extensão. Seus principais afluentes são o Arroio Três Lajeados, o

Lajeado Monjolo, o Lajeado Castor, o Lajeado dos Patos, o Rio Tuparendi e o Arroio Pessegueiro. Este último drena a cidade de Santa Rosa, que é o maior conglomerado urbano da Bacia U-30. E ainda, toda a área urbana de Santa Rosa está inserida na sub-bacia do Rio Santo Cristo (FEPAM, 2004).

A sub-bacia do Rio Amandaú abrange 10,80% do município de Santa Rosa, drena uma área de 541,44 km<sup>2</sup> e tem uma rede de drenagem de 452,96 km, sendo que somente o rio principal tem 83,80 km de extensão. Seus principais afluentes são o Arroio Capoeira, Arroio Dúvida, Lajeado Caçador e Arroio Cristal (FEPAM, 2004).

### 3.2 OBTENÇÃO DAS VARIÁVEIS

A coleta dos dados dos poços de captação de águas subterrâneas foi realizada em 04 de abril de 2021, na plataforma SIAGAS, através de uma pesquisa geral selecionando a Região Sul, o Estado do Rio Grande do Sul e o Município de Santa Rosa.

Até a referida data estavam catalogados 101 poços, como mostra a Figura 6, e destes, apenas 70 continham os três dados essenciais que tornam viável a aplicação do Método GOD. São eles a condição que se encontra a água subterrânea, a litologia local e o nível estático da água. Cada um dos poços foi tratado como um ponto do município a ser estudado e os que não continham alguma destas variáveis foram descartados e não incluídos no estudo.

Quanto ao nível estático, é importante destacar que em muitos registros não se encontram disponíveis os valores da profundidade até o topo do aquífero, então usou-se os valores de nível estático para suprir estes dados.

Além das três informações do método GOD, as coordenadas do Sistema Universal Transverso de Mercator (UTM), também foram relevantes, pois possibilitaram realizar a espacialização dos dados. Estas quatro informações foram coletadas dos setenta poços em que estavam disponíveis e posteriormente trabalhadas.

Figura 6 – Pesquisa em Região Sul, Estado do Rio Grande do Sul e Município de Santa Rosa na plataforma SIAGAS

The screenshot shows the 'PESQUISA GERAL' (General Search) interface of the SIAGAS platform. The search criteria are set to: Superior Esquerdo (Latitude 1: S, Longitude 1: ), Inferior Direito (Latitude 2: S, Longitude 2: ), Região: Sul, Estado: Rio Grande do Sul, and Município: Santa rosa. The search results table is as follows:

Código do Ponto	UF	Município	Localidade
4300002139	RS	Santa rosa	BAIRRO CRUZEIRO
4300002189	RS	Santa rosa	SAIDA P/SANTO CRISTO
4300005589	RS	Santa rosa	BAIRRO INDUSTRIAL
4300012456	RS	Santa rosa	RINCAO DOS ROCHA

Fonte: adaptado de SIAGAS (2020).

Para demonstrar como foram coletados os dados, a título de exemplo, foi selecionado o primeiro poço em que o número de identificação é 4300002139 (Figura 4). Após, é aberta outra guia, como na Figura 7, onde na aba Gerais coletamos as coordenadas planas UTM.

Figura 7 – Coordenadas UTM do poço de código 4300002139

The screenshot shows the 'Dados Gerais' (General Data) tab for well 4300002139. The data is as follows:

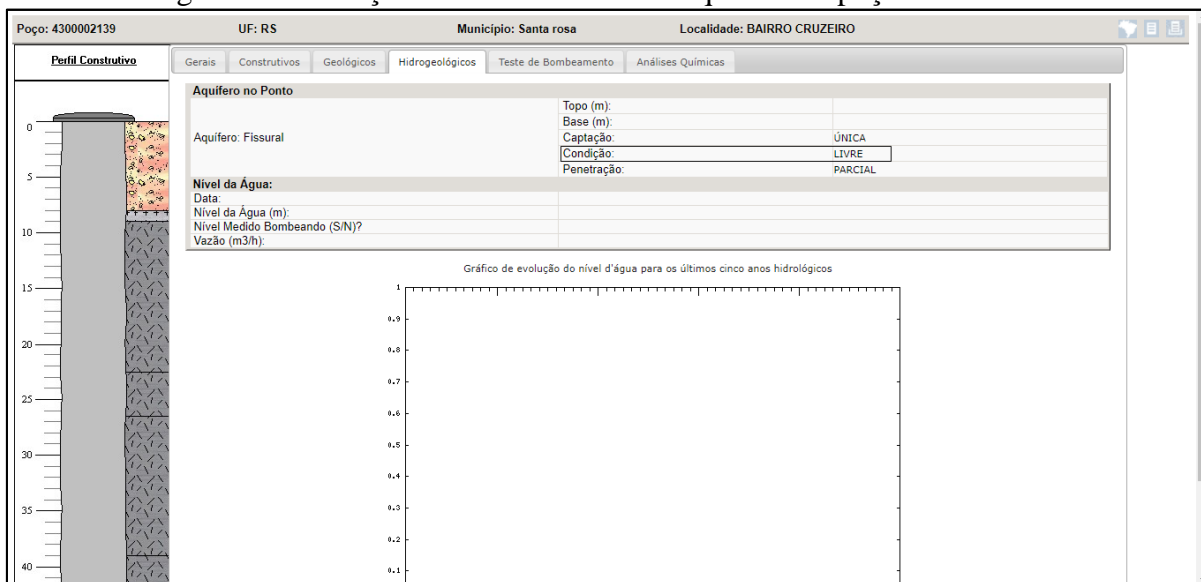
Nome:	COR-CRU-01 G 0312 CRU 1
Data da Instalação:	16/12/1954
Proprietário:	CORSAN - COMPANHIA RIOGRANDENSE DE SANEAMENTO
Natureza do Ponto:	Poço tubular
Uso da Água:	Abastecimento urbano
Cota do Terreno (m):	315.00
Localização:	
Localidade:	BAIRRO CRUZEIRO
UTM (Norte/Sul):	6916100
UTM (Leste/Oeste):	751600
Latitude (GMMSS):	275122
Longitude (GMMSS):	542641
Bacia Hidrográfica:	Rio Uruguai
Subbacia Hidrográfica:	Rios Uruguai, da Varzea e outros
Situação:	
Data:	06/03/1998
Situação:	Equipado

Fonte: adaptado de SIAGAS (2020).



A seguir, partimos para as variáveis do método, na aba Hidrogeológicos, como mostra a Figura 8, há dados sobre o aquífero naquele ponto. O mesmo está na condição livre, então este é o grau de confinamento da água subterrânea, ou seja, a variável G.

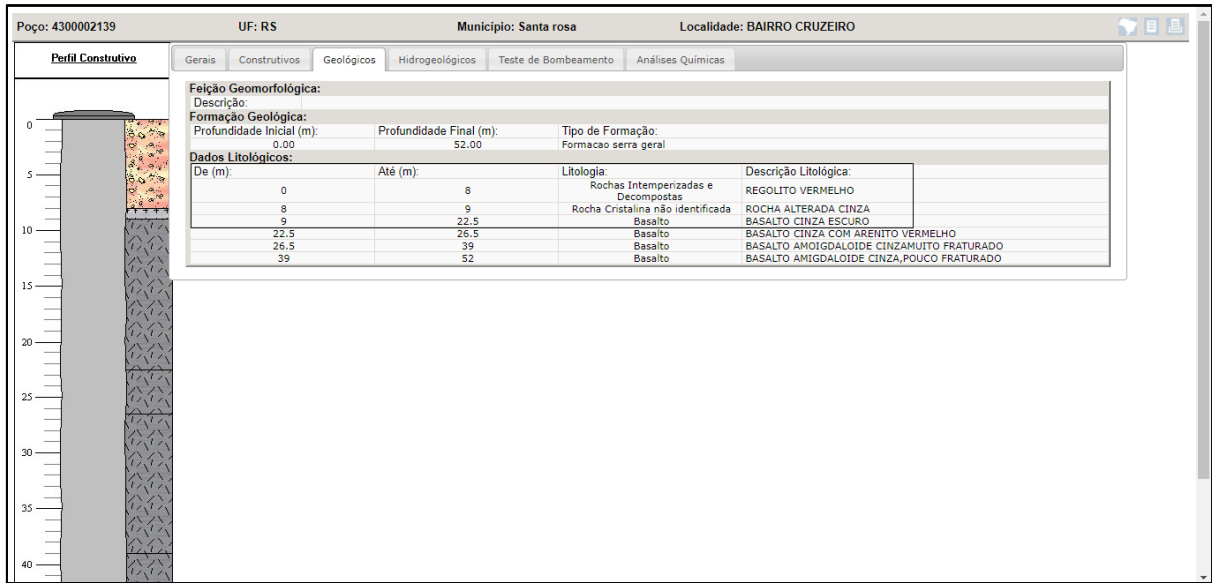
Figura 8 – Condição de confinamento do aquífero no poço 4300002139



Fonte: adaptado de SIAGAS (2020).

A variável O, a qual representa as características litológicas das camadas, é coletada na aba Geológicos, como mostra a Figura 9 e deve ser analisada até o nível estático (NE) da água dentro do poço. Neste caso, como veremos na Figura 10, o nível estático deste poço está em uma profundidade de 20,40 metros da superfície do terreno, então as camadas de cobertura devem ser consideradas até este nível. São elas, rochas intemperizadas e decompostas, rocha cristalina não identificada e basalto.

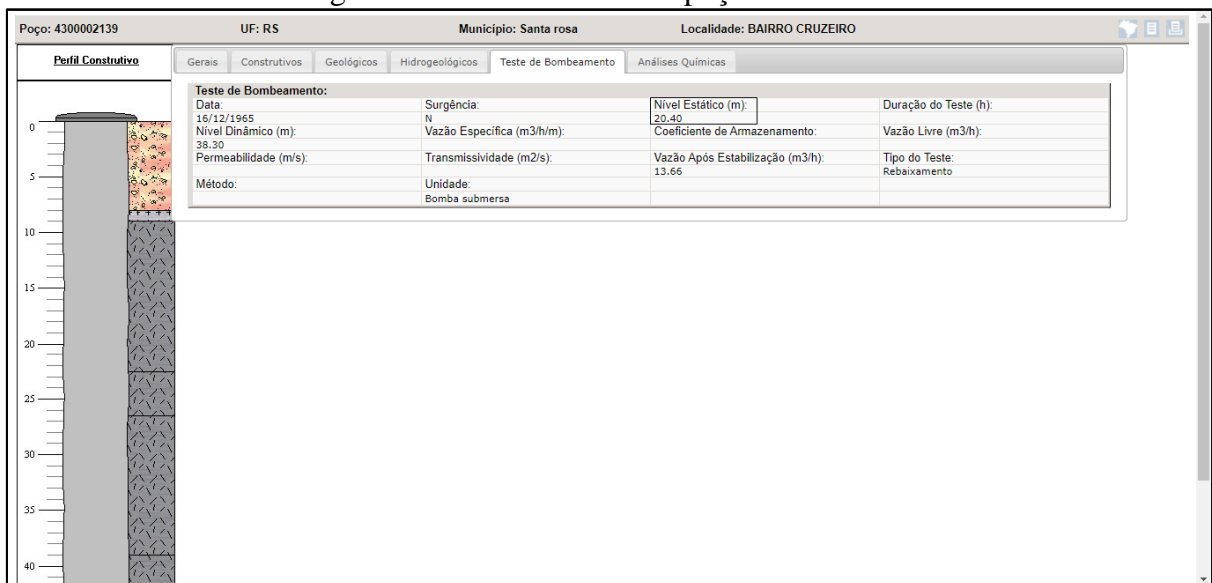
Figura 9 – Estratos de cobertura do aquífero no poço 4300002139



Fonte: adaptado de SIAGAS (2020).

E por último, na aba Teste de Bombeamento, Figura 10, está a informação para a variável D, que significa a profundidade até o nível da água quando a mesma está em equilíbrio, ou seja, o nível estático. O nível estático é a distância da superfície do terreno até a água no interior do poço. O termo estático se refere a água estar em repouso, sem efeito de bombeamento (CPRM, 1998). No poço em questão o nível estático se encontra a 20,40 metros de profundidade, como já citado anteriormente.

Figura 10 – Nível estático do poço 4300002139



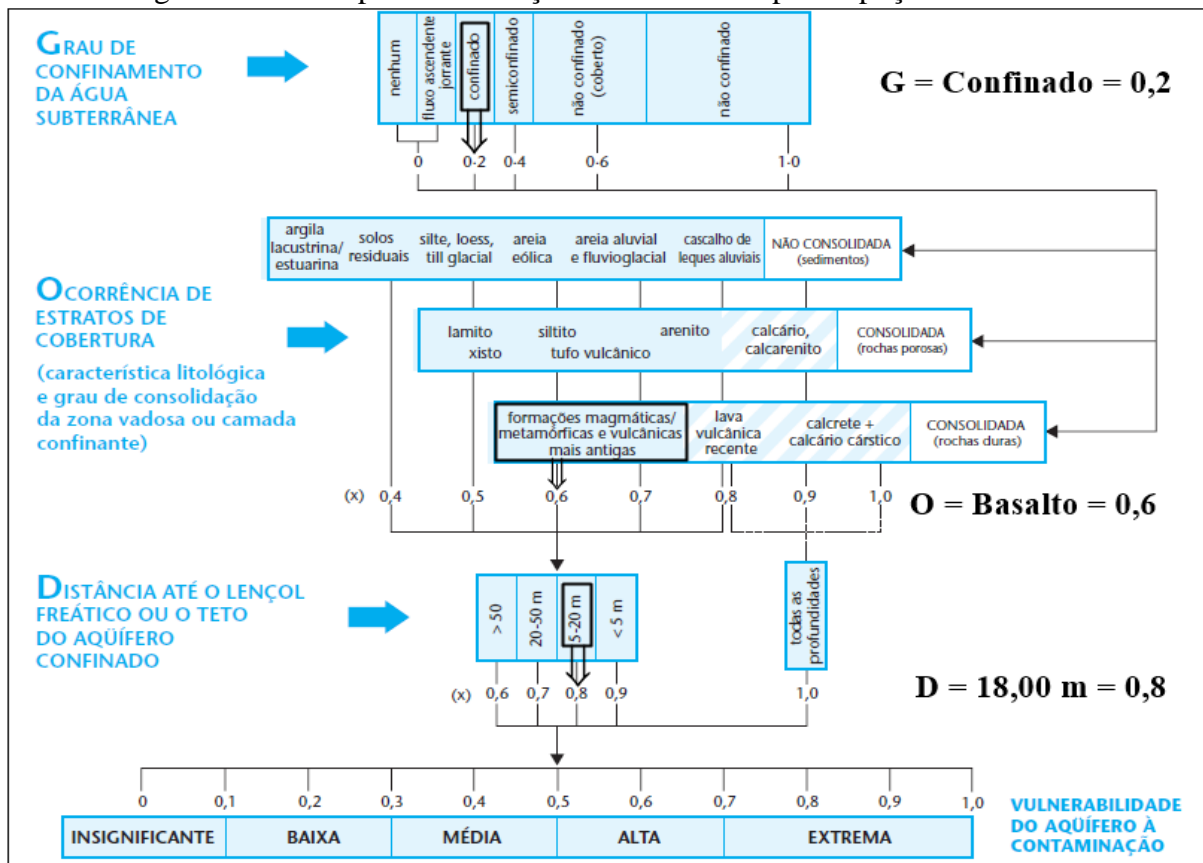
Fonte: adaptado de SIAGAS (2020).

Deste modo, foi elaborado um banco de dados no aplicativo Microsoft Excel 2016, com os códigos dos poços, os dados necessários para a aplicação do método e as coordenadas UTM, como exposto no Apêndice A.

### 3.3 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE VULNERABILIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS PELO MÉTODO GOD

Conhecida as características do local onde estão instalados os poços, podemos atribuir notas às mesmas de acordo com a sistemática GOD. Destaca-se novamente que o método escolhido leva em conta três variáveis, como o próprio nome expõe. A letra G corresponde ao grau de confinamento do aquífero, o qual pode ser enquadrado em uma escala de notas de 0,0 a 1,0. A letra O equivale aos estratos de cobertura na qual a escala varia de 0,4 a 1,0. E a letra D representa a distância até o lençol freático ou teto do aquífero confinado, com escala variando de 0,6 a 1,0. A título de exemplo, a Figura 11 ilustra esta etapa para o poço de código 4300020970.

Figura 11 – Exemplo de atribuição de notas GOD para o poço 4300020970

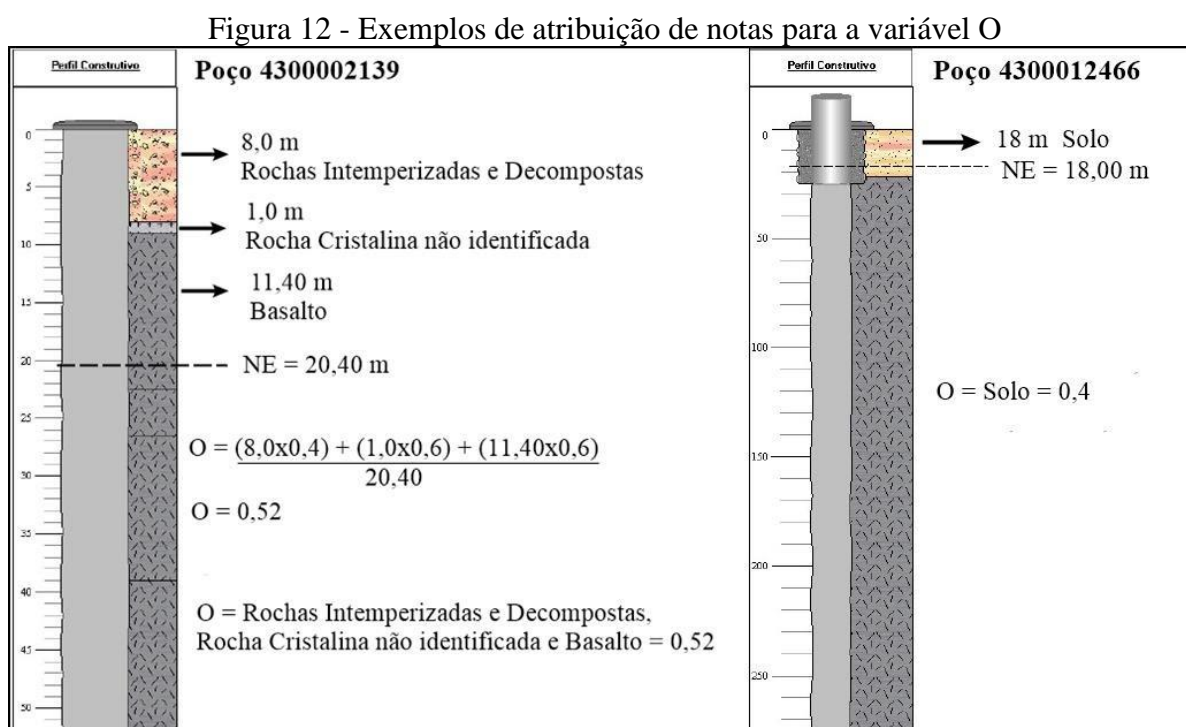


Fonte: Adaptado de FOSTER *et al.* (2006).

Para alguns poços em específico, adotou-se algumas considerações adicionais para enquadrá-los em escalas. Em relação a variável G, os poços que constam no SIAGAS como livres e que contém mais de um tipo litológico, no método, foram enquadrados como aquíferos não confinados cobertos, nota 0,6. Já os que constam como livres e tem apenas um estrato de cobertura são enquadrados como não confinados, nota 1,0.

Na variável O, exclusivamente para os poços que apresentam mais de um tipo litológico, foi realizada uma média ponderada entre as camadas litológicas e as suas respectivas espessuras, de acordo com a Equação 1 do item 2.3.3. Ressaltando novamente que o somatório das espessuras deve ser sempre o valor do nível estático, visto que as camadas devem ser consideradas até o mesmo.

Para exemplificar, selecionamos dois poços em que os números de identificações são 4300002139 e 4300012466 respectivamente, como mostra a Figura 12. No poço 4300002139 foi feita a média ponderada pois tem três tipos litológicos diferentes. Já para o poço 4300012466 não foi necessário, pois até o nível estático só há um tipo litológico que é a camada de solo.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Logo, no Apêndice B estão dispostos os códigos dos poços, as características do local onde os mesmos se encontram com as suas respectivas notas. Após o enquadramento dos parâmetros G, O e D em suas devidas escalas, foi realizada a multiplicação das três notas

atribuídas a estes, e desta forma, calculados os Índices de Vulnerabilidade da água subterrânea à contaminação. Por fim, de acordo com os resultados, pode ser feita a classificação de cada um dos pontos, onde estão localizados os poços, em um grau de vulnerabilidade (Apêndice C).

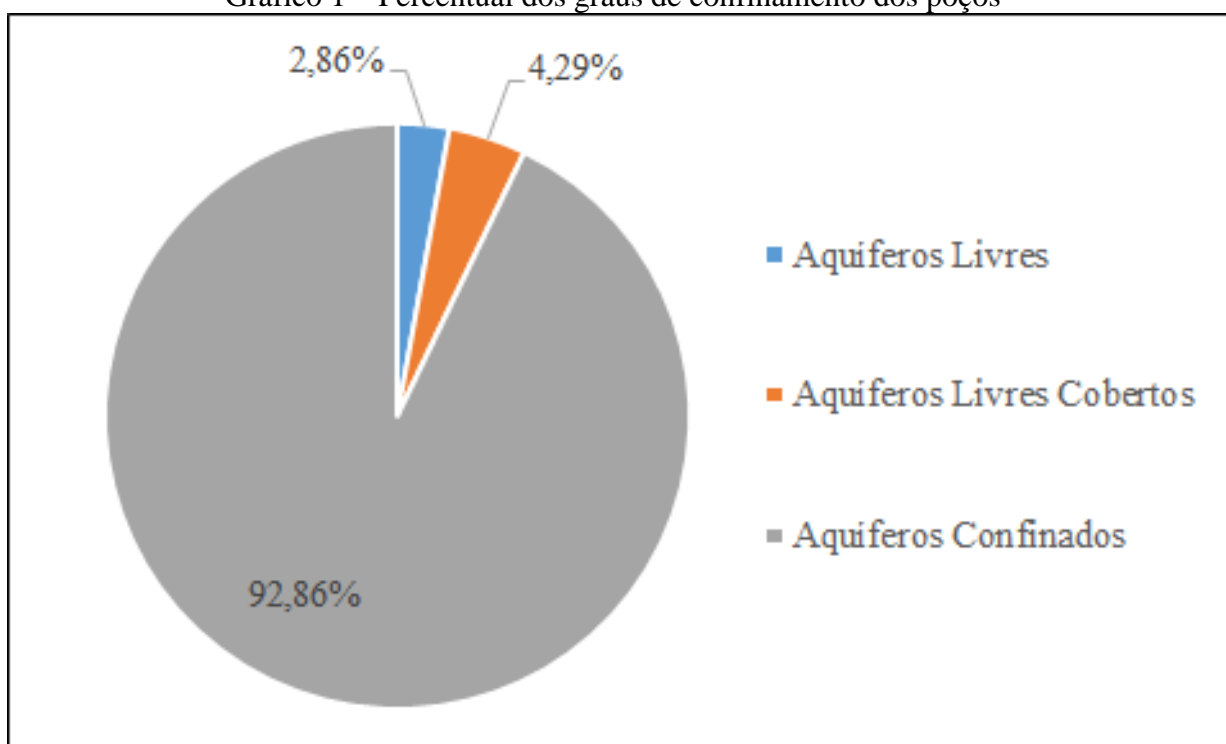
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados foram trabalhados e os resultados dos Índices de Vulnerabilidade da água subterrânea à contaminação, de cada um dos pontos, com suas respectivas classificações em grau de vulnerabilidade, estão expostos no Apêndice C.

### 4.1 VARIÁVEL G

Conforme as notas da variável G expostas no Apêndice C, podemos observar que foram constatados três graus diferentes de confinamento da água subterrânea. Dos 70 poços de estudados, 65 estão em aquíferos confinados, 3 em aquíferos livres cobertos e 2 em aquíferos livres. Em percentual, estes números equivalem a 92,86%, 4,29% e 2,86% respectivamente, como mostrado no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Percentual dos graus de confinamento dos poços

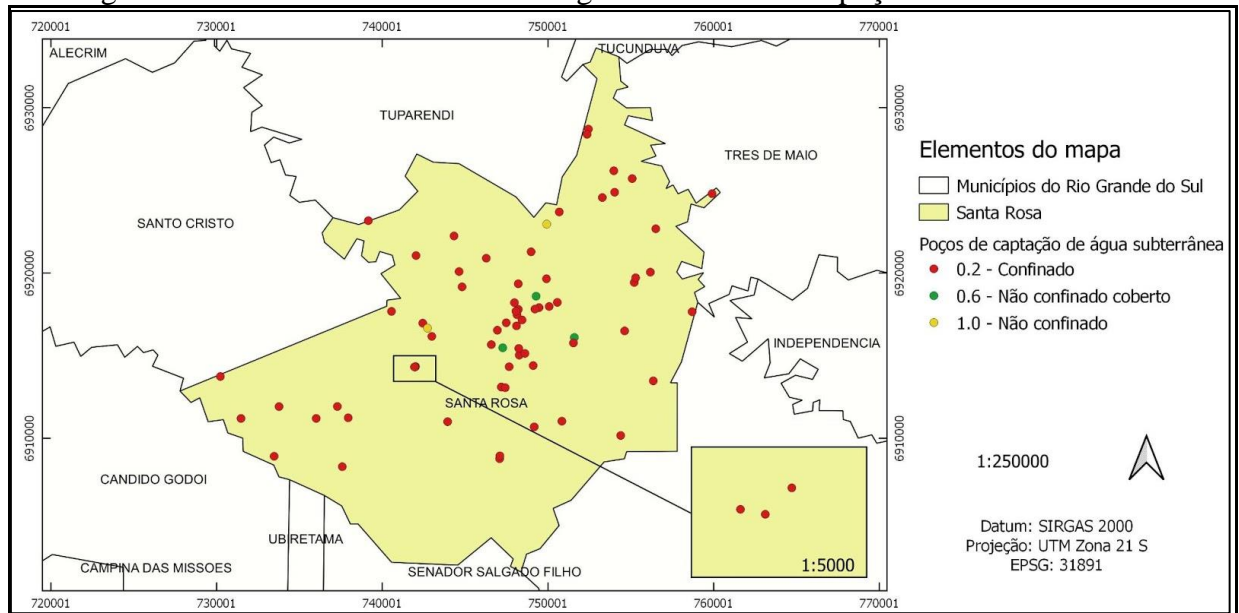


Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Um mesmo aquífero pode se comportar de forma confinada em algumas regiões e livres em outras. Observando o mapa da Figura 13, os pontos onde os aquíferos se encontram na

condição confinado estão dispersos em todas as direções, enquanto os aquíferos livres e os livres cobertos estão mais presentes na região central e norte do município.

Figura 13 – Grau de confinamento da água subterrânea dos poços de Santa Rosa/RS



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Os aquíferos confinados são constituídos por uma formação geológica permeável, completamente saturada de água e limitados entre materiais geológicos impermeáveis ou semipermeáveis. A água captada em um poço de aquífero confinado tende a ascender acima do topo devido à pressão exercida pelas camadas, superior à atmosférica. Geralmente, esta água provém de infiltrações em altos topográficos, nas áreas de afloramento, onde as rochas aparecem na superfície, ou de forma indireta, através de outras rochas (ABAS, [201-?]).

Já os aquíferos livres, também são constituídos por uma formação geológica permeável, porém esta se encontra parcialmente saturada, na qual a base pode ser impermeável ou semipermeável, e o topo ou limite superior, é o próprio lençol freático em equilíbrio com a pressão atmosférica. Estes aquíferos são aflorantes e a recarga acontece de forma direta com a infiltração das águas das chuvas em toda a superfície e fissuras de rochas subjacentes (ABAS, [201-?]).

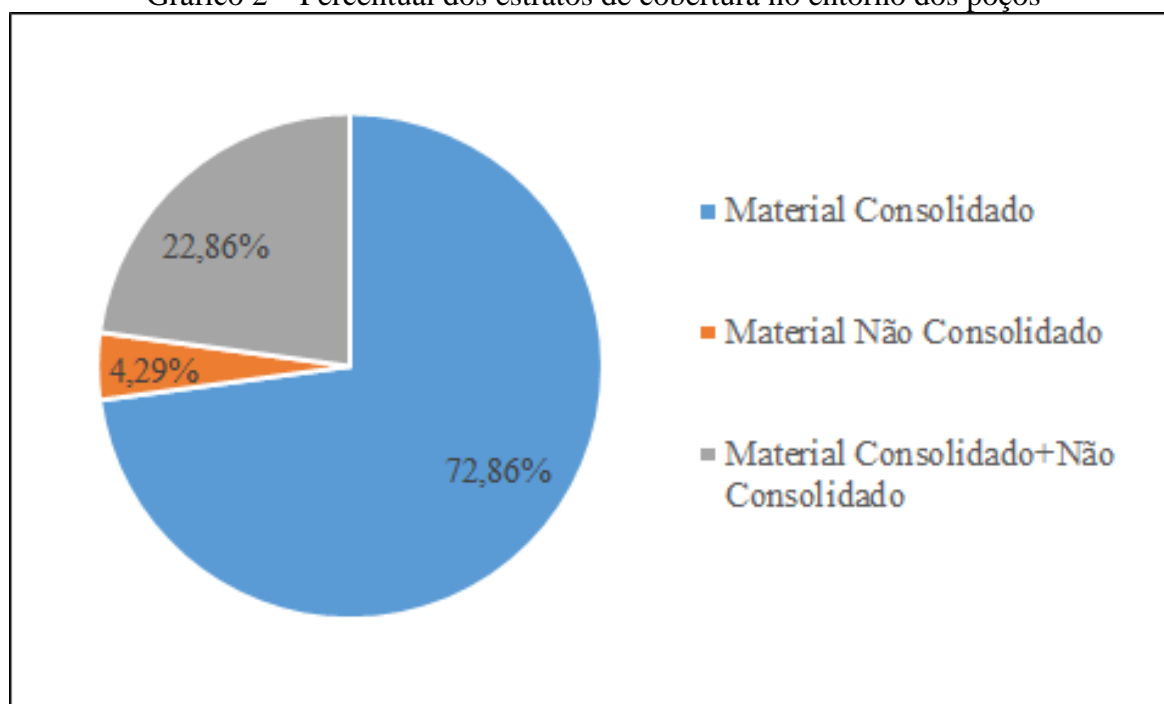
Os aquíferos livres são os que apresentam os maiores problemas de contaminação, pois ocorrem próximo da superfície (ABAS, [201-?]). Os confinados, comumente ocorrem em profundidade maiores, e segundo Rebouças (2008), estão relativamente mais seguros frente a agentes de poluição, tanto pelas camadas mais impermeáveis, quanto pela filtração e reações biogeoquímicas que ocorrem na zona vadosa.

## 4.2 VARIÁVEL O

Em relação a variável O, o Apêndice C traz diferentes notas para os estratos de cobertura. Foram constatados estratos consolidados e não consolidados, e por vezes, as duas ocorrências em um mesmo local. Dos 70 poços estudados, até seus níveis estáticos particulares, 51 contém estratos consolidados, 3 contém estratos não consolidados e 16 contém um agregado destes dois materiais.

Em percentual, 72,86% dos poços estão localizados em áreas de coberturas consolidadas, contendo em seu entorno camadas basálticas e rochas cristalinas não identificadas, 4,29% em áreas de cobertura não consolidadas, com rochas intemperizadas e decompostas, solo argiloso e solo não especificado, e 22,86% estão em áreas mistas, como mostrado no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Percentual dos estratos de cobertura no entorno dos poços

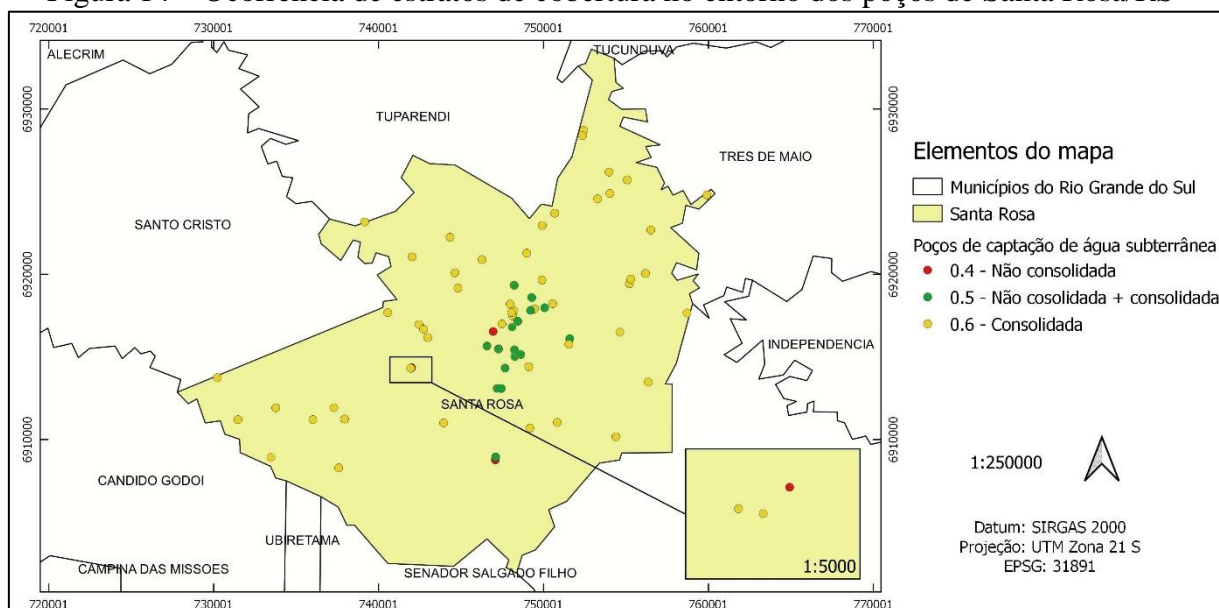


Fonte: Elaborado pela autora (2021).

No mapa da Figura 14, a parte litológica também foi dividida e representada em três categorias. Os poços rodeados por cobertura não consolidada e cobertura mista estão instalados no centro-sul do município. Já os consolidados, se encontram por toda a localidade.



Figura 14 – Ocorrência de estratos de cobertura no entorno dos poços de Santa Rosa/RS



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

A Província hidrogeológica do Paraná, tem como aquífero mais importante o Botucatu, um aquífero poroso, e em segundo lugar o Serra Geral, um aquífero fissural (MENTE, 2008). O domínio hidrogeológico de Santa Rosa é principalmente de aquíferos fissurais, que neste caso é o Aquífero Serra Geral. Como a própria designação revela e de acordo com a ABAS ([201-?], não paginado), neste domínio, a circulação da água acontece pelas “fraturas, fendas e falhas, abertas devido ao movimento tectônico” e pode ser constituído por “rochas ígneas, metamórficas ou cristalinas, duras e maciças”.

O Aquífero Serra Geral está conectado hidrológicamente ao Sistema Aquífero Guarani, que engloba várias unidades hidroestratigráficas, como o Botucatu (IBGE, 2015). Apenas um dos poços do estudo capta água do Aquífero Botucatu, de arenitos confinados. Os restantes atingem somente a Formação Serra Geral, onde estão as camadas basálticas, que apresentam poros muito pequenos e semifechados, tornando-se relativamente impermeável.

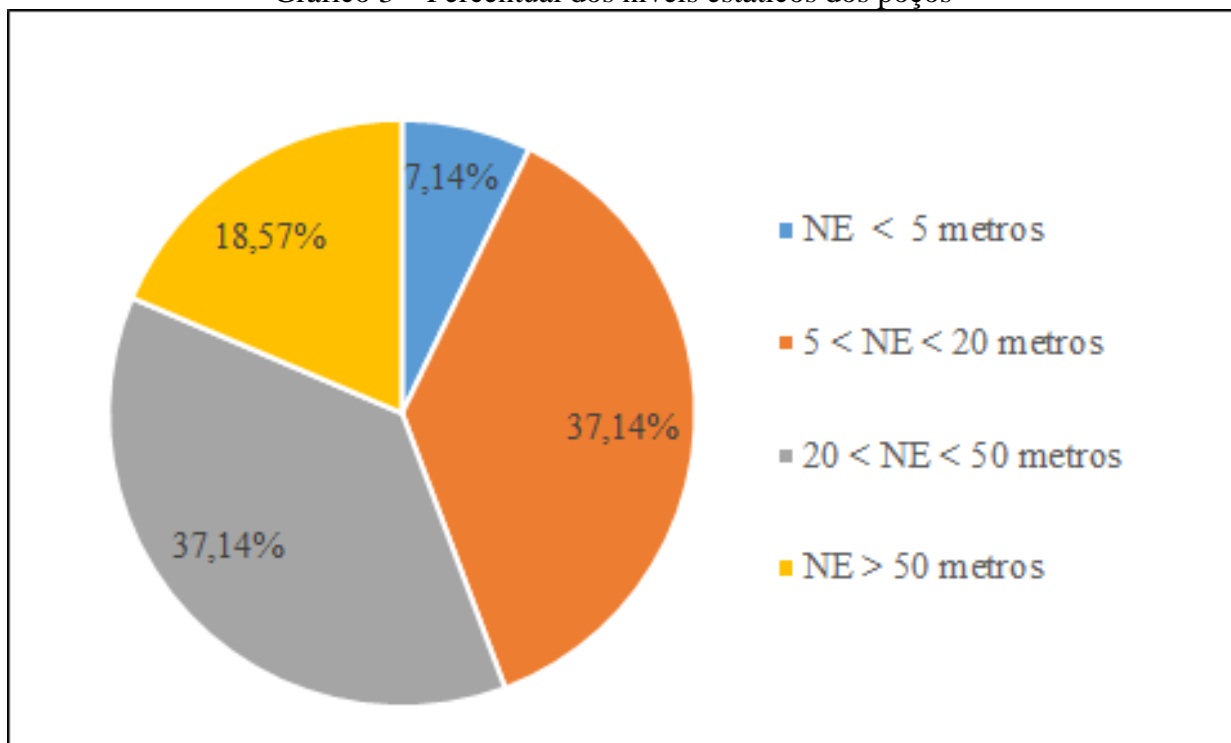
Em relação aos solos argilosos, neste caso, são solos residuais provenientes do basalto, possuem muitos microporos, mas também são pouco permeáveis. São compactos e não favoráveis à infiltração.

#### 4.3 VARIÁVEL D

No Apêndice C podemos observar que foram constatados poços com níveis estáticos de várias profundidades. Dos 70 poços estudados, verificou-se 5 poços com NE menor que 5

metros, 26 poços com NE entre 5 a 20 metros, 26 poços com NE entre 20 a 50 metros e 13 poços com NE maior que 50 metros. Em percentual, estes números equivalem a 7,14%, 37,14%, 37,14% e 18,57% respectivamente, conforme mostrado no Gráfico 3.

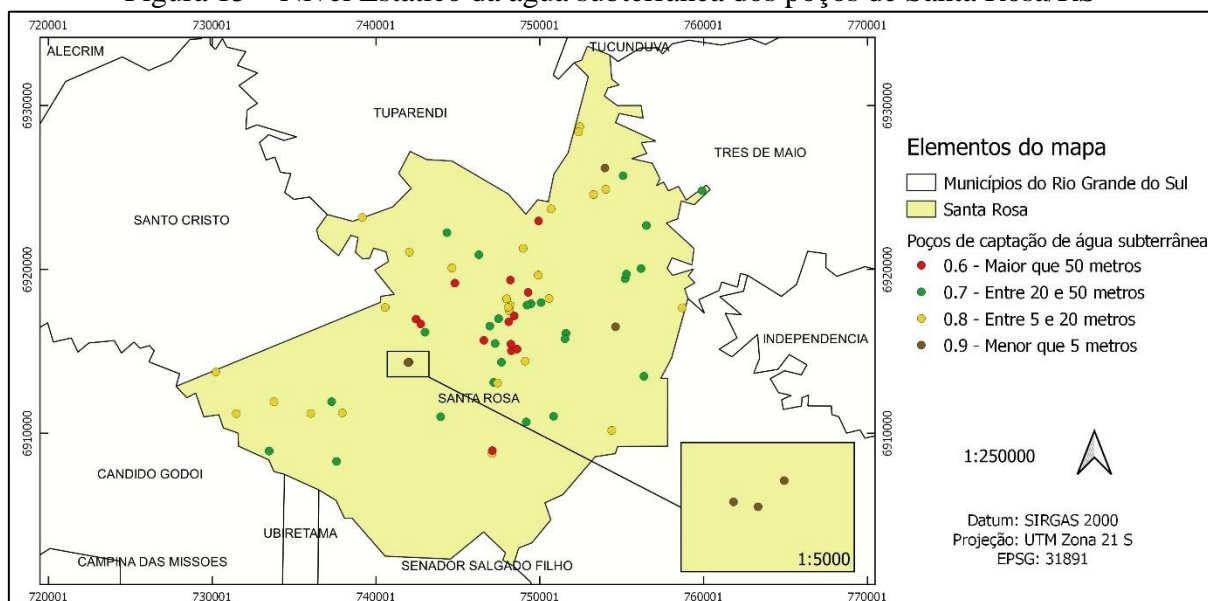
Gráfico 3 – Percentual dos níveis estáticos dos poços



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Analisando o mapa da Figura 15, as áreas com valores altos de nível estático, em vermelho, estão mais concentradas na parte central, tendendo ao norte e ao sul. E as áreas com os valores mais baixos de nível estático, em marrom, também estão situadas na parte central, mas tendem a leste e a oeste.

Figura 15 – Nível Estático da água subterrânea dos poços de Santa Rosa/RS



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

O nível estático é a profundidade da água no poço quando o mesmo não está sob efeito de bombeamento. Nos poços de aquífero livre, como a água está em equilíbrio com a pressão atmosférica, o NE é o nível do lençol freático. Nos poços de aquífero confinado, como a água está submetida a uma pressão maior pelas camadas limítrofes, o NE sempre está acima do nível freático, e também pode estar acima do nível do terreno, no caso de poços jorrantes (JUNIOR, 2007).

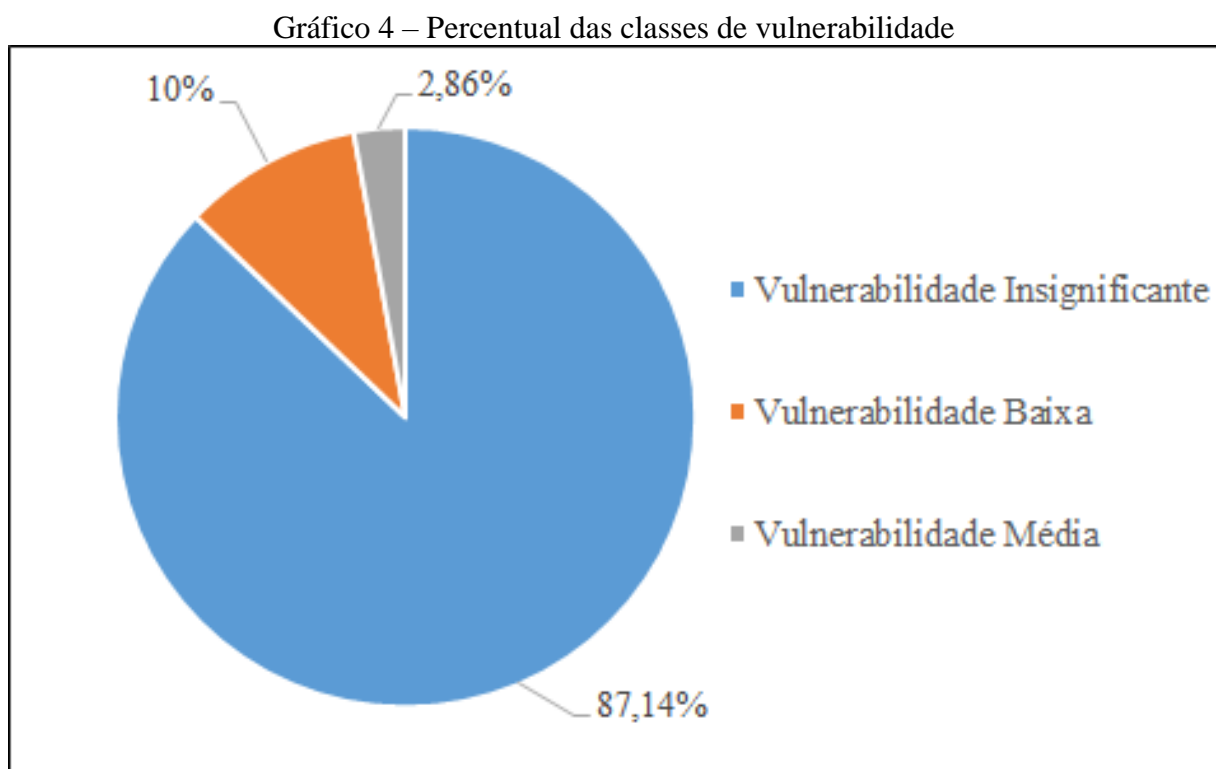
O nível estático de valor mais baixo é de 1,20 m e o mais alto de 168,50 m. Levando em conta somente esta variável, quanto maior a profundidade, mais distante a água está da superfície, e menos vulnerável de ser atingida por contaminantes. Logo, quando esta profundidade é menor, o aquífero torna-se mais vulnerável.

#### 4.4 ÍNDICE DE VULNERABILIDADE

O Índice de Vulnerabilidade do Aquífero à contaminação é o produto dos pesos atribuídos aos três parâmetros G, O e D, e varia de 0,0 - insignificante a 1,0 - extrema vulnerabilidade. Quanto mais próximo de 0,0 remete um aquífero menos vulnerável e quanto mais próximo de 1,0, mais vulnerável.

Conforme o Método GOD, Santa Rosa apresenta em seu território, três classes de vulnerabilidade. Dos 70 poços estudados, 61 pertencem à classe de vulnerabilidade insignificante, 7 pertencem à classe de vulnerabilidade baixa e 2 à classe de vulnerabilidade

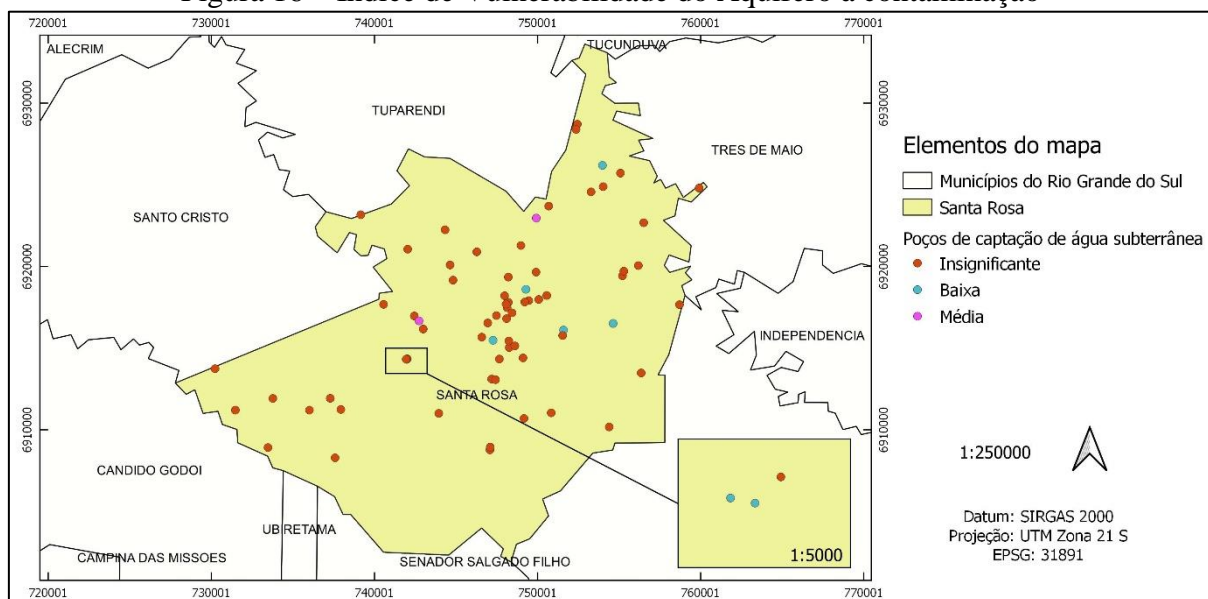
média. Em percentual, estes números equivalem a 87,14%, 10% e 2,86% respectivamente, conforme mostrado no Gráfico 4.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

A classe insignificante variou de 0,06 a 0,1, a classe baixa variou de 0,11 a 0,2 e a classe média se manteve no valor 0,36. Como muito poucos poços se classificaram com baixa vulnerabilidade, apesar de ocorrer uma variação, optou-se por caracterizá-los somente com uma coloração, para uma melhor visualização e distinção de outras classes, como pode ser observado na Figura 16.

Figura 16 – Índice de Vulnerabilidade do Aquífero à contaminação



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Enquanto os poços localizados em áreas de vulnerabilidade insignificante estão espalhados praticamente por todo o território, os poços em áreas de baixa vulnerabilidade estão concentrados mais no centro, norte e leste do município, alguns se encontram bem próximos. E as duas áreas de vulnerabilidade média estão situadas no centro e no norte do território.

A justificativa para a grande maioria dos poços serem classificados como de vulnerabilidade insignificante, deve-se ao fato de serem aquíferos confinados e se encontrarem em áreas de formações vulcânicas antigas da Serra Geral. Grande parte dos poços, pelo menos até as suas profundidades finais, estão rodeados de camadas basálticas, segundo informações do SIAGAS.

Ao contrário da classe insignificante, o número de poços rotulados como de baixa vulnerabilidade foi nitidamente inferior. Isto, devido a poucos poços conterem grau de confinamento livre coberto e valores baixos de nível estático. Dos sete poços, três têm por característica a condição livre coberto, e quatro possuem níveis estáticos variando de 1,20 m a 2,68 m.

Quanto à vulnerabilidade média, apenas dois poços se enquadraram e o que levou a este resultado foi o grau de confinamento livre dos aquíferos nestes pontos. Embora sejam apenas dois poços, deve-se atentar para o fato de que o estudo se baseou apenas em uma parcela dos poços e que há a probabilidade de haver outros que não estão registrados no sistema.

Ressalta-se que o termo insignificante, nem mesmo baixo, exclui os riscos. Segundo Chaves (2007), a vulnerabilidade natural dos aquíferos e possíveis fontes potenciais de poluição

devem ser observadas em conjunto para sondar os riscos de impactar negativamente a qualidade natural dos mananciais subterrâneos. Em função disto, se torna relevante observar determinadas atividades.

Através da ferramenta Google Earth, foram identificados 15 cemitérios próximos aos poços de estudo. Analisando os dois pontos que resultaram em média vulnerabilidade, próximo ao poço de código 4300027913, há dois cemitérios a uma distância de 3,8 km e 4,6 km. E próximo do poço 4300027913, existem mais dois a 5,0 km e 5,6 km. Segundo informações do Sistema de Outorga de Água do Rio Grande do Sul (SIOUT), este poço pertence a uma indústria de fabricação de laticínios e preparação de leite, e usa a água com a finalidade de consumo humano e limpeza geral.

Para os poços de baixa vulnerabilidade na qual se tem informação, os usos da água são para fins de abastecimento doméstico, urbano, industrial e dessedentação animal. E para os poços de classe insignificante, além dos usos já citados, também constam irrigação e lazer.

Outra questão pertinente é sobre o acesso do município ao saneamento básico, de acordo com o Instituto Trata Brasil (2019), até 2019, 70,6% da população santa-rosense não possuía coleta de esgoto. Situação está que implica em riscos de contaminação da água subterrânea por utilização de fossas construídas de forma inadequada, e outros tipos de disposições impróprias.

A deterioração dos aquíferos pode acontecer de forma direta ou indireta, por atividades humanas ou processos naturais. Os cemitérios e a questão do saneamento são exemplos e casos distintos, porém as contaminações das águas subterrâneas podem se originar de diversas fontes, como atividades industriais, agrícolas, entre outras.

Assim, a representação cartográfica da vulnerabilidade natural dos aquíferos se mostra um instrumento de valor, uma vez que aponta quais as regiões mais e menos apropriadas para instalação de poços de captação e até mesmo de novas atividades.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de vulnerabilidade dos aquíferos à contaminação é um ponto relevante para subsidiar a gestão dos recursos hídricos e as futuras ocupações, uma vez que auxilia no planejamento territorial e é um meio de prevenir a degradação da qualidade das águas. Neste sentido, esta pesquisa propôs estudar a vulnerabilidade das águas subterrâneas do município de Santa Rosa, localizado no noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, em razão de que são poucas as pesquisas nesta área.

Em suma, foi possível elaborar um banco de dados referente aos poços, contendo as variáveis necessárias para a utilização do método. Estes dados foram trabalhados e determinou-se o grau de vulnerabilidade de cada um dos pontos. A partir dos mesmos, concluiu-se que o município de Santa Rosa possui em seu território, conforme a aplicação do Método GOD, regiões classificadas como insignificante, baixa e média vulnerabilidade.

Por estar situada em uma região de aquíferos fissurais, composto por rochas vulcânicas da Formação Serra Geral e conseqüentemente confinados, a maior parte dos poços são de classe insignificante. As áreas de baixa e média vulnerabilidade são consideravelmente menores, e são classificadas desta forma pelo grau de confinamento livre, livre coberto ou níveis estáticos próximos à superfície.

Apesar da maioria dos pontos serem classificados com grau de vulnerabilidade insignificante, os riscos continuam existindo, e caso estas águas forem atingidas por alguma espécie de poluição ou contaminação, a recuperação é de extrema dificuldade e muito onerosa. Deve-se considerar também, que na grande maioria dos poços, os usos da água são para abastecimento doméstico e dessedentação animal.

Quanto ao Método GOD, pode-se dizer que o mesmo foi válido, visto que os resultados são condizentes com a litologia e demais características locais. Os pontos positivos da metodologia são a facilidade da aplicação e simplicidade dos conceitos, envolvendo apenas três parâmetros, mas bastante significativos para a temática vulnerabilidade. Em contrapartida, na plataforma SIAGAS, pouco mais de 30% dos registros, não disponibilizam alguns dados necessários para o método. E ainda, deve-se atentar para a probabilidade de existir poços que não estão registrados no sistema.

Apesar desta metodologia ser uma das mais adequadas quando há carência de dados, os aspectos citados acima se apresentam como limitações, o que pode levar a uma generalização na classificação de vulnerabilidade. Certamente a disponibilização de todos os dados dos poços catalogados, permitiria o avanço nessas pesquisas e traria mais credibilidade.

Sabendo que a contaminação pode ocorrer pela ocupação inadequada de uma área que não considera a sua vulnerabilidade, espera-se que os resultados apresentados neste trabalho possam contribuir de alguma forma na gestão destes recursos, e que induzam a elaboração de estudos complementares, como a direção do fluxo subterrâneo ou até mesmo a utilização de outras metodologias de vulnerabilidade.

Assim sugere-se que o município periodicamente realize algum tipo de monitoramento quanto ao estado das águas, principalmente onde resultou média vulnerabilidade, ou até mesmo avalie a possibilidade de criação de um programa de proteção às suas águas subterrâneas, delimitando áreas menos e mais vulneráveis e que as mesmas sejam consideradas na instalação de novas atividades.



## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Águas subterrâneas - Aquífero**. 2017. Vídeo. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/videos/aguas-subterraneas-o-que-sao-aquiferos>>. Acesso em: 13 abr. 2019.
- CAICEDO, N. L. Água subterrânea. In: TUCCI, C. E. M. (org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. cap. 8, p. 289-290.
- CAICEDO, N. L. Água subterrânea. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. cap. 8, p. 289-290. 1 figura.
- CAMARGO, A. M. *et al.* Mapeamento da Vulnerabilidade de aquíferos: Subsídio gerencial dos Recursos Hídricos Subterrâneos de Salinópolis/PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 27., ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS, 28., 2012, Bonito. **Anais eletrônicos** [...]. Bonito, 2012. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/27634>>. Acesso em: 19 nov. 2020.
- CPRM. Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais. **Ações Emergenciais de Combate aos Efeitos das Secas: Execução de Testes de Bombeamento em Poços Tubulares: Manual Prático de Orientação**. 1998. Disponível em: <[http://www.cprm.gov.br/publique/media/hidrologia/mapas\\_publicacoes/Testes\\_Bombeamento\\_Pocos\\_Tubulares.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/hidrologia/mapas_publicacoes/Testes_Bombeamento_Pocos_Tubulares.pdf)>. Acesso em: 26 ago. 2020.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018. 356 p. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/solos/sibcs>>. Acesso em: 02 fev. 2021.
- ERTEL, T.; LÖBLER, C. A.; SILVA, J. L. S. Índice de vulnerabilidade das águas subterrâneas do município de Rosário do Sul, Rio Grande do Sul. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 7, n. 7, p. 1400-1408, mar./ago. 2012. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/5962/3604>>. Acesso em: 14 set. 2019.
- FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler. **U30 – Turvo / Santa Rosa / Santo Cristo**. [201-?]. Disponível em: <[http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/bacia\\_uru\\_turvo.asp](http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/bacia_uru_turvo.asp)>. Acesso em: 02 fev. 2021.
- FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler. **Projeto Monitoramento da Qualidade das Águas na Bacia dos Rios Turvo, Santa Rosa e Santo Cristo, Região Hidrográfica do Rio Uruguai/RS, como subsídio a Gestão dos Recursos Hídricos e ao Controle Ambiental**. Programa Nacional do Meio Ambiente. 2004. Disponível em: <<http://ww2.fepam.rs.gov.br/doclics/uruguai/apresentacao/sumario01.html>>. Acesso em: 02 fev. 2021.
- MENTE, A. A água subterrânea no Brasil. In: FEITOSA, Fernando Antonio Carneiro et al. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3 ed. Rio de Janeiro: Labhid, 2008. p. 31-48.

FILHO, J. M. Evolução histórica do conhecimento. *In*: FEITOSA, F. A. C. *et al.* (org.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: Labhid, 2008. p. 5-10.

FILHO, J. M. Ocorrência das águas subterrâneas. *In*: FEITOSA, F. A. C. *et al.* (org.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: Labhid, 2008. p. 53-74.

FOSTER, S. *et al.* **Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. Tradução por Silvana Vieira. Revisão técnica por Ricardo Hirata. São Paulo, 2006.

HIRATA, R.; FERNANDES, A. J. Vulnerabilidade à poluição de aquíferos. *In*: FEITOSA, F. A. C. *et al.* (org.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: Labhid, 2008. p. 405-406.

HIRATA, R.; FERNANDES, A. J. Problema da vulnerabilidade de aquíferos multicamadas. Figura modificada de Foster et al., 2002. *In*: FEITOSA, F. A. C. *et al.* (org.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: Labhid, 2008. p. 418.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Brasil / Rio Grande do Sul / Santa Rosa**. Panorama. 2020. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/santa-rosa/panorama>>. Acesso em: 02 fev. 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa Exploratório de Solos do Estado do Rio Grande do Sul**. 2002. Mapa. Escala 1:1.000.000. Disponível em: <[https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/pedologia/mapas/unidades\\_da\\_federacao/rs\\_pedologia.pdf](https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/mapas/unidades_da_federacao/rs_pedologia.pdf)>. Acesso em: 02 fev. 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa Hidrogeológico Região Sul**. 2015. Mapa. Escala 1:1.700.000. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/geologia/15824-hidrogeologia.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 02 fev. 2021.

IGc. Instituto de Geociências - USP. **Basalto**. Rochas Ígneas. [201-?]. Disponível em: <<https://didatico.igc.usp.br/rochas/igneas/basalto/>>. Acesso em: 09 jan. 2021.

ITB. Instituto Trata Brasil. **Município Santa Rosa**. Painel Saneamento Brasil. 2019. Disponível em: <<https://www.painelsaneamento.org.br/explore/localidade?SE%5BI%5D=431720>>. Acesso em: 03 abr. 2021.

JUNIOR, B. R. A. **Elementos de Hidrologia Aplicada**. Água Subterrânea/Hidráulica de Poços. 2007. Apostila.

KAPELINSKI, F. L. *et al.* Índice de vulnerabilidade das águas subterrâneas do município de Cerro Largo/RS. **Disciplinarum Scientia**. Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 219-229, nov. 2018. Disponível em: <<https://periodicos.ufn.edu.br/index.php/disciplinarumNT/article/view/2598/2226>>. Acesso em: 14 set. 2019.

- LOBLER, C. A.; SILVA, J. L. S. Vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas do município de Nova Palma, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 10, n. 1, p. 141-152, jan./mar. 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v10n1/1980-993X-ambiagua-10-01-00141.pdf>>. Acesso em: 01 out. 2019.
- NASCIMENTO, Y. S.; JESUS, J. B.; GOMES, R. L. Vulnerabilidade das águas subterrâneas na região semiárida da Bahia, município de Tucano, pelo método GOD. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 11, n. 1, p. 123-132, mar. 2019. Disponível em: <<https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/1260>>. Acesso em: 26 set. 2019.
- NOFAL, E. H. *et al.* Groundwater: Extraction versus recharge; vulnerability assessment. **Water Science**, v. 32, n. 2, p. 287-300, ago. 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110492918300043>>. Acesso em: 14 set. 2019.
- OLIVEIRA, D. H. R.; ACORSI, M. G.; SMANIOTTO, D. A. Uso e ocupação do solo e caracterização morfométrica de microbacia na região centro-sul paranaense. **Rev. Águas Subterrâneas**, v. 32, n. 2, p. 1-10, 2018. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29114>>. Acesso em: 19 set. 2019.
- PINTO, N. L. S. Águas subterrâneas. *In*: PINTO, N. L. S. *et al.* (org.). **Hidrologia básica**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2011. cap. 6, p. 67-72.
- REBOUÇAS, A. C. Importância das águas subterrâneas. *In*: FEITOSA, F. A. C. *et al.* **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: Labhid, 2008. p. 13-27.
- RIBEIRO, D. M.; ROCHA, W. F.; GARCIA, A. J. V. Vulnerabilidade natural à contaminação dos aquíferos da Sub-bacia do Rio Siriri, Sergipe. **Rev. Águas Subterrâneas**, v. 25, n. 1, p. 91-102, 2011. Disponível em: <<https://bit.ly/2QiClgt>>. Acesso em: 19 set. 2019.
- RIFFEL, S. E.; SILVA, J. L. S. Caracterização dos Recursos Hídricos Subterrâneos no Município de Santa Rosa – RS. **Rev. Do Departamento de Geografia –USP**, v. 22, p. 3 – 28, 2011. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47217/>>. Acesso em: 09 jan. 2021.
- RIO GRANDE DO SUL. **Lei nº 15.434, de 9 de janeiro de 2020**. Institui o Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Governo do Estado do Rio Grande do Sul, 2020.
- SIAGAS. Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. **Pesquisa Geral**. Disponível em: <[http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa\\_complexa.php](http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php)>. Acesso em: 20 abr. 2020.
- SIAGAS. Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. **Apresentação**. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/apresentacao.php>>. Acesso em: 12 jan. 2020.

SILVA, R. C. A.; ARAÚJO, T. M. Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA). **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 8, n. 4, p. 1019-1028, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/csc/v8n4/a23v8n4>>. Acesso em: 03 out. 2019.

THAPA, R. *et al.* Sensitivity analysis and mapping the potential groundwater vulnerability zones in Birbhum district, India: a comparative approach between vulnerability models. **Water Science**, v. 32, n. 1, p. 44-66, maio 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110492917300085#ack0005>>. Acesso em: 14 set. 2019.

TOLMAN, C. F. **Ground Water**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1937. Disponível em: <<https://archive.org/details/in.ernet.dli.2015.1788>>. Acesso em: 14 ago. 2019.

UFRGS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Projeto IPH/PMSB – SANTA ROSA. **Plano Municipal de Saneamento Básico Participativo: Município de Santa Rosa/RS. Volume I. Diagnóstico dos Serviços de Saneamento Básico**. 2010. Disponível em: <<https://www.santarosa.rs.gov.br/index2.php>>. Acesso em: 02 fev. 2021.

WINGE, M. **Andesito**. Glossário Geológico Ilustrado. 2001. Disponível em: <<http://sigep.cprm.gov.br/glossario/index.html>>. Acesso em: 09 jan. 2021.

**APÊNDICE A - DADOS DOS POÇOS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS  
SUBTERRÂNEAS DE SANTA ROSA/RS COLETADOS NA PLATAFORMA SIAGAS**

<b>Código do poço</b>	<b>Condição</b>	<b>Dados litológicos</b>	<b>NE (m)</b>	<b>UTM (N/S)</b>	<b>UTM (L/O)</b>
4300002139	Livre	Rocha ID, Rocha CNI, Basalto	20,40	6916100	751600
4300002189	Livre	Solo argiloso, Basalto	25,00	6915475	747275
4300009589	Confinado	Solo, Basalto	28,50	6913099	747188
4300012466	Confinado	Solo	18,00	6908762	747087
4300012467	Confinado	Solo argiloso, Basalto	90,50	6908935	747104
4300017115	Confinado	Solo	3,90	6914341	742012
4300017430	Confinado	Solo, Basalto	11,60	6913062	747429
4300020970	Confinado	Basalto	9,06	6918220	750571
4300020971	Confinado	Solo argiloso, Basalto	97,00	6919346	748213
4300020972	Confinado	Basalto	21,89	6911031	750846
4300021041	Confinado	Basalto	22,67	6911003	743950
4300021042	Confinado	Basalto	2,50	6914309	741980
4300021043	Confinado	Basalto	12,40	6917675	740562
4300021044	Confinado	Basalto	22,84	6908908	733478
4300021045	Confinado	Basalto	11,44	6911200	736018
4300021046	Confinado	Basalto	20,36	6908279	737590
4300021048	Confinado	Basalto	13,82	6911238	737946
4300021049	Confinado	Basalto	13,32	6911199	731477
4300021050	Confinado	Basalto	17,63	6913737	730231
4300021051	Confinado	Basalto	29,80	6911922	737294
4300021052	Confinado	Basalto	55,30	6916964	742448
4300021053	Confinado	Basalto	24,30	6916165	742995
4300021059	Confinado	Basalto	10,85	6921056	742043
4300021060	Confinado	Basalto	10,74	6911916	733772

4300021061	Confinado	Basalto	41,70	6916988	747487
4300021062	Confinado	Solo	20,00	6916536	746952
4300021063	Confinado	Solo, Basalto	23,50	6917975	750079
4300021114	Confinado	Basalto	21,30	6917905	749468
4300021115	Confinado	Basalto	8,93	6917801	748214
4300021116	Confinado	Basalto	17,90	6917473	748138
4300021117	Confinado	Solo, Basalto	62,00	6917158	748441
4300021118	Confinado	Basalto	13,80	6917688	748073
4300021119	Confinado	Basalto	6,30	6923165	739163
4300021120	Confinado	Basalto	41,80	6922240	744335
4300021121	Confinado	Basalto	34,80	6920892	746283
4300021122	Confinado	Basalto	8,44	6920088	744641
4300021123	Confinado	Basalto	16,70	6918203	747983
4300021124	Confinado	Basalto	7,50	6921281	748988
4300021125	Confinado	Basalto	7,20	6919649	749915
4300021126	Confinado	Basalto	15,60	6923693	750688
4300021127	Confinado	Basalto	18,80	6924565	753288
4300021128	Confinado	Basalto	17,63	6910166	754398
4300021129	Confinado	Basalto	15,43	6917655	758709
4300021130	Confinado	Basalto	20,24	6913473	756364
4300021131	Confinado	Basalto	2,68	6916495	754633
4300021132	Confinado	Basalto	32,88	6919426	755214
4300021133	Confinado	Basalto	31,70	6919711	755298
4300021134	Confinado	Basalto	29,70	6920050	756188
4300021135	Confinado	Basalto	43,31	6922675	756516
4300021136	Confinado	Basalto	31,45	6925714	755089
4300021137	Confinado	Basalto	19,90	6928709	752446
4300021138	Confinado	Basalto	7,00	6928390	752367

4300021139	Confinado	Basalto	1,20	6926186	753982
4300021140	Confinado	Basalto	11,40	6924886	754032
4300022408	Confinado	Solo argiloso, Basalto	86,00	6915030	748271
4300022413	Confinado	Solo argiloso, Basalto	95,00	6916798	748107
4300022469	Confinado	Solo argiloso, Basalto	123,00	6915132	748618
4300022489	Confinado	Solo argiloso, Basalto	72,00	6915436	748243
4300022511	Confinado	Solo argiloso, Basalto	44,00	6914328	747663
4300022660	Confinado	Solo argiloso, Rocha CNI	44,00	6917816	749222
4300022735	Confinado	Basalto	24,00	6924799	759913
4300022736	Confinado	Basalto	2,50	6914315	741950
4300023005	Confinado	Solo argiloso, Basalto	82,00	6919160	744821
4300026050	Confinado	Basalto	34,50	6915766	751544
4300026054	Confinado	Basalto	38,50	6910689	749177
4300026099	Confinado	Basalto	9,70	6914397	749115
4300027909	Livre	Solo, Basalto	70,50	6918595	749291
4300027913	Livre	Basalto	69,00	6922956	749928
4300027926	Livre	Basalto	81,00	6916665	742736
4300028457	Confinado	Solo, Basalto	168,50	6915667	746587

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

**APÊNDICE B - ATRIBUIÇÃO DE NOTAS AOS DADOS DOS POÇOS DE  
CAPTAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE SANTA ROSA/RS**

<b>Código do poço</b>	<b>G</b>	<b>Nota G</b>	<b>O</b>	<b>Nota O</b>	<b>D (m)</b>	<b>Nota D</b>
4300002139	Livre	0,6	Rocha ID, Rocha CNI, Basalto	0,52	20,40	0,7
4300002189	Livre	0,6	Solo argiloso, Basalto	0,56	25,00	0,7
4300009589	Confinado	0,2	Solo, Basalto	0,59	28,50	0,7
4300012466	Confinado	0,2	Solo	0,40	18,00	0,8
4300012467	Confinado	0,2	Solo argiloso, Basalto	0,55	90,50	0,6
4300017115	Confinado	0,2	Solo	0,40	3,90	0,9
4300017430	Confinado	0,2	Solo, Basalto	0,57	11,60	0,8
4300020970	Confinado	0,2	Basalto	0,60	9,06	0,8
4300020971	Confinado	0,2	Solo argiloso, Basalto	0,60	97,00	0,6
4300020972	Confinado	0,2	Basalto	0,60	21,89	0,7
4300021041	Confinado	0,2	Basalto	0,60	22,67	0,7
4300021042	Confinado	0,2	Basalto	0,60	2,50	0,9
4300021043	Confinado	0,2	Basalto	0,60	12,40	0,8
4300021044	Confinado	0,2	Basalto	0,60	22,84	0,7
4300021045	Confinado	0,2	Basalto	0,60	11,44	0,8
4300021046	Confinado	0,2	Basalto	0,60	20,36	0,7



4300021048	Confinado	0,2	Basalto	0,60	13,82	0,8
4300021049	Confinado	0,2	Basalto	0,60	13,32	0,8
4300021050	Confinado	0,2	Basalto	0,60	17,63	0,8
4300021051	Confinado	0,2	Basalto	0,60	29,80	0,7
4300021052	Confinado	0,2	Basalto	0,60	55,30	0,6
4300021053	Confinado	0,2	Basalto	0,60	24,30	0,7
4300021059	Confinado	0,2	Basalto	0,60	10,85	0,8
4300021060	Confinado	0,2	Basalto	0,60	10,74	0,8
4300021061	Confinado	0,2	Basalto	0,60	41,70	0,7
4300021062	Confinado	0,2	Solo	0,40	20,00	0,7
4300021063	Confinado	0,2	Solo, Basalto	0,53	23,50	0,7
4300021114	Confinado	0,2	Basalto	0,60	21,30	0,7
4300021115	Confinado	0,2	Basalto	0,60	8,93	0,8
4300021116	Confinado	0,2	Basalto	0,60	17,90	0,8
4300021117	Confinado	0,2	Solo, Basalto	0,54	62,00	0,6
4300021118	Confinado	0,2	Basalto	0,60	13,80	0,8
4300021119	Confinado	0,2	Basalto	0,60	6,30	0,8
4300021120	Confinado	0,2	Basalto	0,60	41,80	0,7
4300021121	Confinado	0,2	Basalto	0,60	34,80	0,7

4300021122	Confinado	0,2	Basalto	0,60	8,44	0,8
4300021123	Confinado	0,2	Basalto	0,60	16,70	0,8
4300021124	Confinado	0,2	Basalto	0,60	7,50	0,8
4300021125	Confinado	0,2	Basalto	0,60	7,20	0,8
4300021126	Confinado	0,2	Basalto	0,60	15,60	0,8
4300021127	Confinado	0,2	Basalto	0,60	18,80	0,8
4300021128	Confinado	0,2	Basalto	0,60	17,63	0,8
4300021129	Confinado	0,2	Basalto	0,60	15,43	0,8
4300021130	Confinado	0,2	Basalto	0,60	20,24	0,7
4300021131	Confinado	0,2	Basalto	0,60	2,68	0,9
4300021132	Confinado	0,2	Basalto	0,60	32,88	0,7
4300021133	Confinado	0,2	Basalto	0,60	31,70	0,7
4300021134	Confinado	0,2	Basalto	0,60	29,70	0,7
4300021135	Confinado	0,2	Basalto	0,60	43,31	0,7
4300021136	Confinado	0,2	Basalto	0,60	31,45	0,7
4300021137	Confinado	0,2	Basalto	0,60	19,90	0,8
4300021138	Confinado	0,2	Basalto	0,60	7,00	0,8
4300021139	Confinado	0,2	Basalto	0,60	1,20	0,9
4300021140	Confinado	0,2	Basalto	0,60	11,40	0,8

4300022408	Confinado	0,2	Solo argiloso, Basalto	0,57	86,00	0,6
4300022413	Confinado	0,2	Solo argiloso, Basalto	0,57	95,00	0,6
4300022469	Confinado	0,2	Solo argiloso, Basalto	0,58	123,00	0,6
4300022489	Confinado	0,2	Solo argiloso, Basalto	0,57	72,00	0,6
4300022511	Confinado	0,2	Solo argiloso, Basalto	0,59	44,00	0,7
4300022660	Confinado	0,2	Solo argiloso, Rocha CNI	0,47	44,00	0,7
4300022735	Confinado	0,2	Basalto	0,60	24,00	0,7
4300022736	Confinado	0,2	Basalto	0,60	2,50	0,9
4300023005	Confinado	0,2	Solo argiloso, Basalto	0,58	82,00	0,6
4300026050	Confinado	0,2	Basalto	0,60	34,50	0,7
4300026054	Confinado	0,2	Basalto	0,60	38,50	0,7
4300026099	Confinado	0,2	Basalto	0,60	9,70	0,8
4300027909	Livre	0,6	Solo, Basalto	0,55	70,50	0,6
4300027913	Livre	1,0	Basalto	0,60	69,00	0,6
4300027926	Livre	1,0	Basalto	0,60	81,00	0,6
4300028457	Confinado	0,2	Solo, Basalto	0,57	168,50	0,6

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

**APÊNDICE C - ÍNDICES E GRAUS DE VULNERABILIDADE DAS ÁGUAS  
SUBTERRÂNEAS DE SANTA ROSA/RS**

<b>Código do ponto</b>	<b>Nota G</b>	<b>Nota O</b>	<b>Nota D</b>	<b>IV</b>	<b>Grau de Vulnerabilidade</b>
4300002139	0,6	0,52	0,7	0,22	Baixa
4300002189	0,6	0,56	0,7	0,24	Baixa
4300009589	0,2	0,59	0,7	0,08	Insignificante
4300012466	0,2	0,40	0,8	0,06	Insignificante
4300012467	0,2	0,55	0,6	0,07	Insignificante
4300017115	0,2	0,40	0,9	0,07	Insignificante
4300017430	0,2	0,57	0,8	0,09	Insignificante
4300020970	0,2	0,60	0,8	0,10	Insignificante
4300020971	0,2	0,60	0,6	0,07	Insignificante
4300020972	0,2	0,60	0,7	0,08	Insignificante
4300021041	0,2	0,60	0,7	0,08	Insignificante
4300021042	0,2	0,60	0,9	0,11	Baixa
4300021043	0,2	0,60	0,8	0,10	Insignificante
4300021044	0,2	0,60	0,7	0,08	Insignificante
4300021045	0,2	0,60	0,8	0,10	Insignificante
4300021046	0,2	0,60	0,7	0,08	Insignificante

4300021048	0,2	0,60	0,8	0,10	Insignificante
4300021049	0,2	0,60	0,8	0,10	Insignificante
4300021050	0,2	0,60	0,8	0,10	Insignificante
4300021051	0,2	0,60	0,7	0,08	Insignificante
4300021052	0,2	0,60	0,6	0,07	Insignificante
4300021053	0,2	0,60	0,7	0,08	Insignificante
4300021059	0,2	0,60	0,8	0,10	Insignificante
4300021060	0,2	0,60	0,8	0,10	Insignificante
4300021061	0,2	0,60	0,7	0,08	Insignificante
4300021062	0,2	0,40	0,7	0,06	Insignificante
4300021063	0,2	0,53	0,7	0,07	Insignificante
4300021114	0,2	0,60	0,7	0,08	Insignificante
4300021115	0,2	0,60	0,8	0,10	Insignificante
4300021116	0,2	0,60	0,8	0,10	Insignificante
4300021117	0,2	0,54	0,6	0,06	Insignificante
4300021118	0,2	0,60	0,8	0,10	Insignificante
4300021119	0,2	0,60	0,8	0,10	Insignificante
4300021120	0,2	0,60	0,7	0,08	Insignificante
4300021121	0,2	0,60	0,7	0,08	Insignificante

4300021122	0,2	0,60	0,8	0,10	Insignificante
4300021123	0,2	0,60	0,8	0,10	Insignificante
4300021124	0,2	0,60	0,8	0,10	Insignificante
4300021125	0,2	0,60	0,8	0,10	Insignificante
4300021126	0,2	0,60	0,8	0,10	Insignificante
4300021127	0,2	0,60	0,8	0,10	Insignificante
4300021128	0,2	0,60	0,8	0,10	Insignificante
4300021129	0,2	0,60	0,8	0,10	Insignificante
4300021130	0,2	0,60	0,7	0,08	Insignificante
4300021131	0,2	0,60	0,9	0,11	Baixa
4300021132	0,2	0,60	0,7	0,08	Insignificante
4300021133	0,2	0,60	0,7	0,08	Insignificante
4300021134	0,2	0,60	0,7	0,08	Insignificante
4300021135	0,2	0,60	0,7	0,08	Insignificante
4300021136	0,2	0,60	0,7	0,08	Insignificante
4300021137	0,2	0,60	0,8	0,10	Insignificante
4300021138	0,2	0,60	0,8	0,10	Insignificante
4300021139	0,2	0,60	0,9	0,11	Baixa
4300021140	0,2	0,60	0,8	0,10	Insignificante

4300022408	0,2	0,57	0,6	0,07	Insignificante
4300022413	0,2	0,57	0,6	0,07	Insignificante
4300022469	0,2	0,58	0,6	0,07	Insignificante
4300022489	0,2	0,57	0,6	0,07	Insignificante
4300022511	0,2	0,59	0,7	0,08	Insignificante
4300022660	0,2	0,47	0,7	0,07	Insignificante
4300022735	0,2	0,60	0,7	0,08	Insignificante
4300022736	0,2	0,60	0,9	0,11	Baixa
4300023005	0,2	0,58	0,6	0,07	Insignificante
4300026050	0,2	0,60	0,7	0,08	Insignificante
4300026054	0,2	0,60	0,7	0,08	Insignificante
4300026099	0,2	0,60	0,8	0,10	Insignificante
4300027909	0,6	0,55	0,6	0,20	Baixa
4300027913	1,0	0,60	0,6	0,36	Média
4300027926	1,0	0,60	0,6	0,36	Média
4300028457	0,2	0,57	0,6	0,07	Insignificante

Fonte: Elaborado pela autora (2021).