

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**BRUNA ANTUNES DE OLIVEIRA**

**AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADE E PERIGO À CONTAMINAÇÃO DAS  
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL - RS**

**Caçapava do Sul**

**2017**



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

Oliveira, Bruna Antunes de Avaliação de vulnerabilidade e perigo à contaminação das águas subterrâneas do município de Caçapava do Sul- RS / Bruna Antunes de Oliveira.  
95 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) --  
Universidade Federal do Pampa, ENGENHARIA  
AMBIENTAL E SANITÁRIA, 2017. "Orientação: Pedro  
Daniel da Cunha Kemerich".

1. águas subterrâneas. 2. vulnerabilidade. 3.  
Caçapava do Sul. 4. contaminação. I. Título.



**BRUNA ANTUNES DE OLIVEIRA**

**AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADE E PERIGO À CONTAMINAÇÃO DAS  
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL - RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheira Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Daniel da Cunha Kemerich

**Caçapava do Sul**

**2017**



**BRUNA ANTUNES DE OLIVEIRA**

**AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADE E PERIGO À CONTAMINAÇÃO DAS  
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL - RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheira Ambiental e Sanitarista.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em 27/11/2017.

Banca examinadora:

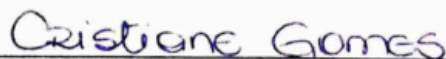


Prof. Dr. Pedro Daniel da Cunha Kemerich

Orientador

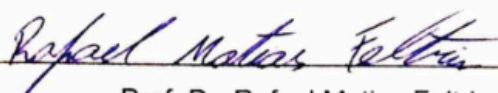
UNIPAMPA

Prof. Dr. Pedro Daniel da Cunha Kemerich  
SIAPE: 1728670  
UNIPAMPA - Caçapava do Sul



Prof. Dra. Cristiane Heredia Gomes

UNIPAMPA



Prof. Dr. Rafael Matias Feltrin

UNIPAMPA





Dedico este trabalho à minha mãe,  
Roseli de Oliveira Branco.



## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus, pois ele é a base e o criador de tudo. Também gostaria de agradecer a minha família: Roseli de Oliveira Branco, Carlos de Oliveira, Kátia de Oliveira, Jefferson Pikulski, Zilda de Oliveira Branco e Mariana Oliveira. Essa conquista eu devo a vocês também, por todos esses anos ao meu lado, com palavras de carinho e incentivo.

Aos meus padrinhos e amigos: Jandir Pereira Blasius, por toda a ajuda e paciência durante todos esses anos de graduação, por me auxiliar e dedicar seu tempo me ajudando nesse trabalho e por toda a amizade incondicional; e Paulo Castro Cardoso da Rosa, por todos esses anos de convivência, puxões de orelha, amizade e carinho. Sei que posso contar com vocês pra sempre!

Aos amigos que conquistei na Universidade e em Caçapava do Sul: Alane Neves, Caiuan Nascimento, Danrlei Menezes, Gleicy Cavalcante, Giovanna Paixão, Haline Ceccato, Hamilton Reis, Jorge Cruz, Karolina Ferreira, Mayara Prado e Victor Braga. Agradeço por todas as noites em claro, a parceria, todo o apoio, amizade e momentos memoráveis nessa caminhada.

Á minha amiga Mayara Bitencourt Leão, pela linda amizade que conquistamos nesse período e todos os momentos que passamos juntas.

Ao meu namorado Nicolás Pieniz Cerentini, por todo o carinho, amor e por sempre estar do meu lado. Esse é só o primeiro passo de todas as conquistas que teremos juntos.

Aos amigos que conquistei no Ciência sem Fronteiras, que estudaram na Missouri University of Science and Technology, como todos aqueles que conheci nos Estados Unidos e também na Intelligentsia Inc.

Á minha melhor amiga, Daiane Rocha, por sempre estar comigo em todos os momentos e nunca desistir dos meus sonhos, sempre me erguer e saber o que dizer, mesmo nas horas mais difíceis.

Aos professores (as) Caroline Wagner, Cristiane Gomes, José Rojas, Mariana Santiago, Mateus Guimarães, Osmar Giuliani, Rafael Feltrin, Rafael Mauer, Thiago Lugokenski, Vicente Lopes, Zilda Vendrame e ao meu orientador, Pedro Kemerich, por toda a ajuda e orientação.

Á Universidade Federal do Pampa, por me proporcionar o conhecimento que tenho hoje e todas as oportunidades que me deram durante a graduação.



“A verdadeira coragem é ir atrás de seu sonho mesmo quando todos dizem que ele é impossível.”

Cora Coralina



## RESUMO

Devido à falta de licenciamento e pouca fiscalização ambiental, diversos empreendimentos foram implantados no município de Caçapava do Sul, sem atender às exigências ambientais. Algumas atividades fazem uso de substâncias e compostos, que por serem descartados incorretamente, oferecem elevado potencial de risco de contaminação do solo e das águas subterrâneas. Nesse sentido, o presente trabalho tem por objetivo avaliar as condições de vulnerabilidade e perigo de contaminação das águas subterrâneas no referido município. Para tal, foram aplicados os métodos GOD, (G = Grau de confinamento, O = Ocorrência de estratos geológicos e D = Distância do nível da água) e o POSH (*Pollutant Origin and its Surcharge Hydraulically*). A metodologia consistiu na coleta e tratamento de dados sobre os poços de captação das águas subterrâneas municipais, através dos dados disponíveis na plataforma digital do SIAGAS. Os dados foram interpolados pelo *software QGis 2.18*, gerando mapas de índices de vulnerabilidade que refletiram a situação do território estudado. Os resultados, pela aplicação do método GOD, apontaram predominância da classe de vulnerabilidade média, alta e extrema em toda extensão municipal. Enquanto, o método POSH destacou como atividades com elevado potencial de contaminação, os postos de combustíveis, as oficinas mecânicas, o frigorífico e a falta de tratamento de efluentes. Este trabalho apresentou as condições desfavoráveis, referente aos elevados índices de vulnerabilidade de contaminação que os aquíferos locais apresentam. Por fim, foi destacado a necessidade dos órgãos competentes, para que realizem estudos mais aprofundados para possíveis ações preventivas, corretivas, de remediação e fiscalizem essas áreas, visando o melhor uso e manejo das águas subterrâneas.

Palavras-chave: fontes potenciais de contaminação, método GOD, método POSH, índice de vulnerabilidade, uso e manejo das águas subterrâneas





## ABSTRACT

Due to the lack of licensing and environmental assessment, several projects were implemented in the city of Caçapava do Sul, without complying with environmental requirements. Some activities are using substances and compounds and they are incorrectly discarded, offering high potential of contamination of the soil and groundwater. That is to say, the present work has the objective of evaluating the conditions of vulnerability and danger of contamination of the groundwater in said municipality. For this, the GOD methods were applied, (G = Confinement level, O = Occurrence of geological strata and D = Distance of water level) and POSH (Pollutant Origin and its Surcharge Hydraulically). The methodology consisted in the collection and treatment of data on the wells of abstraction of municipal groundwater, through the data available in the SIAGAS digital platform. The data were interpolated by the software QGIS 2.18, generating maps of vulnerability indexes which reflected the situation of the territory studied. The results, by the application of the GOD method, showed predominance of the medium, high and extreme vulnerability class in all municipal extension. While, the POSH method highlighted as high potential contamination activities: gas stations, mechanical workshops, mining and lack of sewage treatment. This work presented the unfavorable conditions, referring to the high vulnerability indexes of contamination in the area of the local aquifers. Finally, it was highlighted the need for the competent governmental agencies to carry out more detailed studies for possible preventive, corrective, and remediation actions and to inspect these areas, aiming at the best use and management of groundwater.

Key words: Use and management of groundwater, GOD method, POSH method, potential sources of contamination vulnerability index, use and management of groundwater



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração dos principais processos do ciclo hidrológico .....	5
Figura 2 – Ilustração das águas subterrâneas .....	7
Figura 3 - Representação esquemática da distribuição vertical da água subterrânea .....	8
Figura 4 - Classificação dos aquíferos de acordo com o tipo de porosidade da rocha .....	10
Figura 5 - Aquífero livre e aquífero confinado .....	12
Figura 6 - Pluma de contaminação no subsolo .....	13
Figura 7 - Processos comuns de poluição da água subterrânea .....	15
Figura 8 - Índice de vulnerabilidade de acordo com o tipo de aquífero e sua interação com parâmetros do potencial de contaminação.....	16
Figura 9 - Esquema conceitual para avaliação do perigo de contaminação das águas subterrâneas .....	20
Figura 10 - Avaliação da vulnerabilidade pela metodologia GOD.....	22
Figura 11 - Mapa de localização da área de estudo .....	26
Figura 12 - Mapa topográfico do município de Caçapava do Sul .....	28
Figura 13 - Mapa geológico de Caçapava do Sul .....	29
Figura 14 - Mapa hidrogeológico do município de Caçapava do Sul.....	32
Figura 15 - Mapa pedológico do município de Caçapava do Sul.....	34
Figura 16 - Mapa de nível estático do município de Caçapava do Sul .....	41
Figura 17 - Mapa referente ao grau de confinamento das águas subterrâneas de Caçapava do Sul (G).....	42
Figura 18 - Mapa de ocorrência de estratos (O) referente a formação geológica de Caçapava do Sul .....	44
Figura 19 - Mapa da distância do nível freático (D) até a superfície.....	45
Figura 20 - Mapa do índice de vulnerabilidade de acordo com o método GOD .....	47
Figura 21 - Mapa do índice de vulnerabilidade de acordo com o método POSH – cargas pontuais .....	49
Figura 22 - Mapa do índice de vulnerabilidade de acordo com o método POSH – cargas difusas .....	50



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Definição dos principais processos do ciclo hidrológico .....	6
Tabela 2 – Atividades, aspectos e impactos causados por oficinas mecânicas .....	18
Tabela 3 – Legislação relacionada às águas subterrâneas .....	18
Tabela 4 - Classe de vulnerabilidade de acordo com o método GOD .....	22
Tabela 5 - Classificação das fontes potenciais de contaminação pelo método POSH .....	24
Tabela 6 - Risco potencial de contaminação de acordo com a classe de vulnerabilidade do aquífero .....	24
Tabela 7 - Classificação das fontes pontuais de contaminação pelo método POSH .....	24
Tabela 8 – Descrição dos domínios geológicos de Caçapava do Sul .....	30
Tabela 9 - Definição dos valores atribuídos no parâmetro G de acordo com as propriedades do local .....	38
Tabela 10 - Definição dos índices referentes à variável O, segundo as formações geológicas .....	39
Tabela 11 - Tipo de esgotamento sanitário em percentual de domicílios .....	51



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABAS – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas
- ATSDR – *Agency for Toxic Substances and Disease Registry*
- BTEX – benzeno, tolueno, etil-benzeno xileno
- CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
- CPRM – Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais
- DNAPL – *Dense Non Aqueous Phase Liquid*
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- EPA – *Environmental Protection Agency*
- GOD – **G** : *groundwater hydraulic confinement*; **O** : *overlying* **D** : *depth to groundwater table*
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IMAP – Instituto Municipal de Administração Pública
- IRGA – Instituto Rio Grandense do Arroz
- LNAPL – *Light Dense NonAqueous Phase Liquid*
- MDE – Modelo Digital de Elevação
- MMA – Ministério do Meio Ambiente
- NAPL – *NonAqueous Phase Liquid*
- ONU – Organização das Nações Unidas
- POSH – *Pollutant Origin and its Surcharge Hydraulically*
- SAAE – Serviço Autônomo de Água e Esgoto
- SGB – Serviço Geológico Brasileiro
- SISNAMA – Sistema Nacional do Meio Ambiente
- SMA – Secretaria do Meio Ambiente
- SNGRH – Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
- UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura
- UNICEF – *United Nations Children's Fund*
- UNIPAMPA – Universidade Federal do Pampa





- USEPA – *United States Environmental Protection Agency*
- USGS – *United States Geological Survey*
- UTM – Universal Transverse Mercator
- VOCs – Compostos Orgânicos Voláteis
- WWF – *World Wide Fund for Nature*



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>3</b>
2.1 Objetivo Geral .....	3
2.2 Objetivos Específicos .....	3
2.3 Justificativa .....	4
<b>3 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>5</b>
<b>3.2 Águas Subterrâneas</b> .....	<b>6</b>
3.2.1 <i>Distribuição Vertical de Água Subterrânea</i> .....	8
3.2.2 <i>Aquíferos</i> .....	9
<b>3.3 Fontes de contaminação</b> .....	<b>12</b>
3.3.1 <i>Postos de Combustíveis</i> .....	16
3.3.2 <i>Oficinas Mecânicas</i> .....	17
<b>3.4 Legislação</b> .....	<b>18</b>
<b>3.5 Métodos utilizados para classificação da vulnerabilidade à contaminação de um aquífero</b> .....	<b>20</b>
3.5.1 <i>Método GOD</i> .....	21
3.5.2 <i>Método POSH</i> .....	23
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>26</b>
<b>4.1. Caracterização da área de estudo</b> .....	<b>26</b>
4.1.1 <i>Localização</i> .....	26
4.1.2 <i>Clima</i> .....	28
4.1.3 <i>Geologia</i> .....	29
4.1.4 <i>Hidrogeologia</i> .....	32
4.1.5 <i>Pedologia</i> .....	33
<b>4.2 Metodologia de avaliação de vulnerabilidade dos aquíferos</b> .....	<b>35</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>38</b>
<b>5.1 Método GOD</b> .....	<b>38</b>
5.1.1 <i>Mapa de nível estático</i> .....	41
5.1.2 <i>Mapa do Grau de Confinamento da água subterrânea (G)</i> .....	38
5.1.3 <i>Mapa da Ocorrência de estratos (O)</i> .....	43
5.1.4 <i>Mapa de profundidade do Nível freático (D)</i> .....	45
5.1.5 <i>Mapa de Índice de Vulnerabilidade</i> .....	46
<b>5.2 Método POSH</b> .....	<b>48</b>
<b>5.3 Comparação entre outros trabalhos com o método GOD e POSH</b> .....	<b>52</b>
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	<b>54</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>56</b>
<b>APÊNDICES</b> .. .....	<b>62</b>







## 1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial para a vida no planeta, sendo que o corpo humano é composto por cerca de 60% de água e o consumo diário desse recurso é de 2,5 L por pessoa. A água é utilizada para geração de energia elétrica, produção de alimentos, navegação, lazer, entre outras atividades. Ela é a base da economia, sendo considerada o motor do desenvolvimento econômico (MMA, 2005).

Na Terra, a água pode ser encontrada em três estados: sólido (geleiras), líquido (rios, lagos e oceanos) e gasoso (atmosfera). De acordo com o WWF (2006), 75% do planeta é composto por água, onde 97,5% é salgada e 2,5% é doce. Dessa porcentagem de água doce, 77,2% se encontra congelada nas calotas polares, 22,4% nos aquíferos, e o restante em rios, lagos, pântanos e na atmosfera.

Do percentual de água doce, apenas 1% é considerada própria para consumo, ou seja, apesar da expressiva quantidade desse recurso, sua qualidade pode estar comprometida ou não disponível. Nesse sentido, dados da UNICEF (2017) apontam que 748 milhões de pessoas vivem sem água potável e aproximadamente mil crianças morrem de doenças causadas por ingestão de água imprópria, devido a falta de saneamento.

Apesar do Brasil apresentar, relativamente, bons índices de água tratada e de saneamento básico, se comparado com alguns países, ainda é necessário investimentos para ampliação e melhorias para que toda a população tenha acesso à água potável e ao saneamento básico.

Atualmente, a população mundial é composta por cerca de 7 bilhões de pessoas e segundo o relatório da ONU, *Revision of World Population Prospects 2015*, a população será de 8,5 bilhões até 2030, 9,7 bilhões até 2050 e 11,2 bilhões até 2100, ou seja, um crescimento de 53% em relação a população atual. Em relação ao Brasil, segundo dados do IBGE (2010), o país tem 204.450.649 habitantes e segue a tendência de crescimento mundial. Esses dados sinalizam que devido ao elevado crescimento demográfico, será necessário preservar os recursos hídricos para prover condições de saúde e saneamento para as gerações futuras.

O uso indiscriminado da água para suprir atividades econômicas como a agricultura e pecuária tornam esse recurso cada vez mais escasso, sendo que o consumo de água para produzir alimentos e produtos é bastante elevado. Por exemplo, para produção de uma tonelada de trigo são necessários mil toneladas de água e para produção de uma tonelada de aço, utiliza-se 50 toneladas de água (HAVENS & COELHO, 2015).

Um grande problema no Brasil é a má distribuição sazonal e pluvial das águas, sendo que a matriz energética apresenta grande dependência das hidroelétricas, que são sujeitas ao regime hidrológico. De acordo com o Jornal Folha de São Paulo, em 2014 houve um racionamento de energia elétrica, principalmente na região sudeste, devido às secas que ocorreram nos anos anteriores. Com o aumento de temperatura no planeta, a mudança climática acarretará a escassez de chuvas no Brasil e com isso será praticamente impossível ter um reservatório de água doce que abasteça toda população.

Nesse sentido, os aquíferos, que ficam localizados no subsolo, devido a capacidade que determinadas formações geológicas possuem em armazenar e transmitir água, que representam importantes reservatórios de água doce. O Brasil possui 27 aquíferos, sendo o aquífero Guarani o maior deles. Este aquífero possui área de 1,2 milhão de km<sup>2</sup>, podendo armazenar cerca de 55 mil km<sup>3</sup> de água, com uma capacidade de recarga de 166 km<sup>3</sup> por ano, sendo capaz de fornecer água potável para a população mundial por um período de 200 anos (SAAE, 2017). Portanto, a solução ou amenização da crise hídrica pode ser superada com o uso dos aquíferos. Porém, um reservatório subterrâneo é sujeito à contaminação consequente do solo, que não é facilmente visualizada, e dessa forma dificulta seu monitoramento e tratamento.

A água subterrânea é geralmente filtrada pelo substrato geológico poroso, por onde se infiltra e percola, porém devido ao fluxo, aos processos físicos e às interações com o meio, é possível encontrar metais e minerais dissolvidos em concentrações variadas. Entre as principais fontes contaminantes das águas subsuperficiais, é destacado o vazamento de hidrocarbonetos no solo, resíduos da aplicação de produtos químicos, como agrotóxicos, pesticidas, fertilizantes no solo, além da infiltração de nicrochorume e lixiviado (ABAS, 2017).



Dessa forma, é de suma importância o estudo da vulnerabilidade de um aquífero, para prevenir possíveis fontes potenciais de contaminação, tendo em vista a relevância do uso desse recurso para abastecimento humano. Sendo assim, o presente trabalho avaliou a vulnerabilidade das águas subterrâneas à contaminação no município de Caçapava do Sul – RS, onde foi levantado áreas que necessitam de atenção do poder público para melhor gestão dos recursos hídricos locais.

## **2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar a vulnerabilidade e o risco à contaminação das águas subterrâneas no município de Caçapava do Sul – RS com uso da metodologia GOD e POSH.

### **2.2 Objetivos Específicos**

A fim de atingir o objetivo geral, este trabalho teve por objetivos específicos:

- Ampliar a base de dados sobre fontes subterrâneas para abastecimento de água no município de Caçapava do Sul;
- Elaborar um mapa de índice de vulnerabilidade das águas subterrâneas para a melhor visualização das áreas com possível contaminação e com maior vulnerabilidade;
- Identificar atividades com potencial poluidor na zona urbana no município de Caçapava do Sul;
- Fornecer subsídios para a tomada de decisão dos órgãos públicos quanto ao licenciamento ambiental de atividades potencialmente poluidoras.

### 2.3 Justificativa

As águas subterrâneas são utilizadas por mais de 40% da população brasileira, através da captação de poços, sendo que 98% das águas doces e líquidas estão nos aquíferos. A demanda dessas águas está aumentando cada vez mais, tendo um importante papel no desenvolvimento socioeconômico das cidades e da agricultura, além de garantir a manutenção dos ecossistemas aquáticos, como os rios e os pântanos (MMA, 2005).

As águas subterrâneas possuem vantagens em relação às águas superficiais, pois são filtradas e purificadas naturalmente pelo solo, apresentam, geralmente, boa qualidade, não ocupam uma grande área superficial e não sofrem influência do fator climático, em curto período de tempo. Por se localizar abaixo do solo, o custo da extração é menor, sendo possível a captação perto do local de uso, sem custo do transporte (PEREIRA, 2012). Porém, os aquíferos são susceptíveis à diversas fontes de contaminação, devido a dificuldade de visualização direta e imediata das contaminações, o que necessita de monitoramento destes corpos.

Vale ressaltar que é dever de todo cidadão utilizar os recursos hídricos de maneira sustentável, além de garantir que as atividades econômicas desenvolvidas em determinadas regiões não influenciem a quantidade e qualidade dos recursos naturais. Referente às águas subterrâneas, é necessário práticas de gerenciamento adequado, através da aplicação de métodos que identifiquem locais com potencial de causar contaminação para que medidas possam ser adotadas, visando a minimização de possíveis impactos negativos.

Todo estudo sobre a vulnerabilidade de aquífero será de grande uso para Caçapava do Sul, que é um município que possui pequenos empreendimentos, como oficinas mecânicas, frigoríficos, postos de combustíveis e atividades agrícolas, que geralmente foram implantados sem a devida observância das normas ambientais. Ainda, cabe citar a pouca fiscalização desses locais, que em sua maioria necessitam de uma adequação para que se enquadrem nos padrões ambientais exigidos no licenciamento de cada atividade.

Esse estudo direcionou entre as atividades desenvolvidas no município, as que apresentam algum potencial poluidor de contaminação das águas

subterrâneas. Dessa forma, a relevância na execução desse trabalho se deu pela capacidade de desenvolver indicadores de vulnerabilidade de aquíferos, a fim de gerir e preservar a qualidade das águas subterrâneas da região.

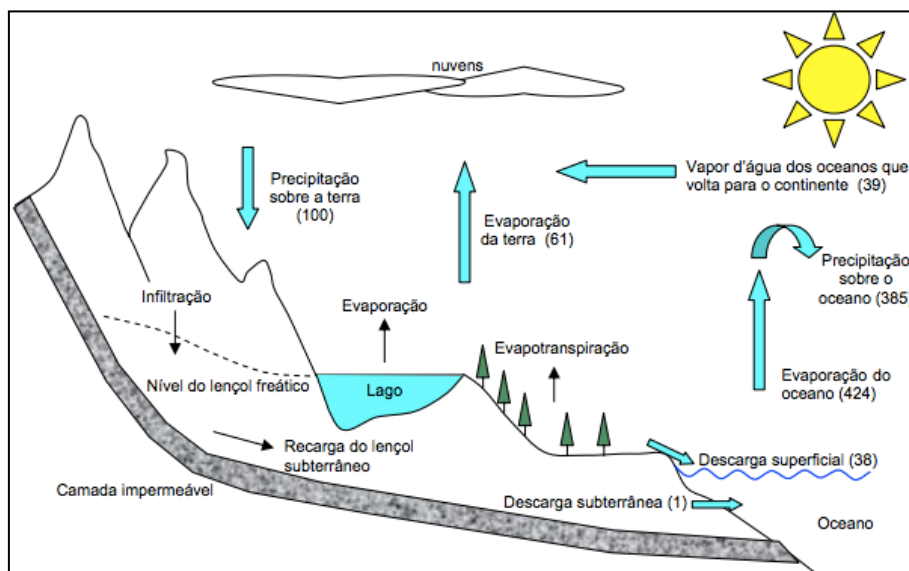
### 3 REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 Ciclo hidrológico

Toda a água existente na terra, tem origem do ciclo hidrológico ou passa por este ciclo. O ciclo hidrológico ou ciclo da água é definido como o movimento contínuo da água presente nos oceanos, continentes (superfície, solo e rocha) e na atmosfera. Esse movimento é conduzido pela força da gravidade e pela energia solar, que provocam a evaporação das águas dos oceanos e dos continentes (MMA, 2007).

O ciclo hidrológico é composto por 4 processos, como pode ser observado na Figura 1, e definidos, na Tabela 1, a seguir.

Figura 1 - Ilustração dos principais processos do ciclo hidrológico



Fonte: IMAP, 2014 (Adaptado de MAIDMENT, 1993)

Tabela 1 - Definição dos principais processos do ciclo hidrológico

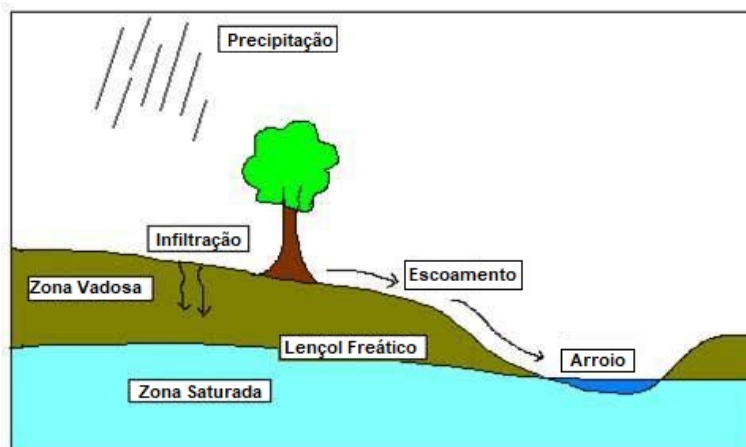
<b>Precipitação</b>	“É a chegada da água meteórica em estado líquido ou sólido à superfície da Terra.” (FEITOSA & FILHO, 2000).
<b>Evapotranspiração Real</b>	“É o processo pelo qual as moléculas de água na superfície líquida ou na umidade do solo adquirem suficiente energia, através da radiação solar, e passam do estado líquido para o de vapor. Transpiração é o processo pelo qual as plantas perdem água para a atmosfera.” (FEITOSA & FILHO, 2000).
<b>Deflúvio</b>	“É o processo pelo qual a água da chuva, precipita na superfície da Terra, fluindo por ação da gravidade, das partes mais altas para as mais baixas, nos leitos dos rios e riachos.” (FEITOSA & FILHO, 2000).
<b>Infiltração</b>	“É o movimento da água dentro do solo. Considerando que o fluxo da água sobre o solo é mais rápido que em profundidade, podemos afirmar que os solos determinam o volume do escoamento da chuva, a sua distribuição temporal e as descargas máximas, tanto em superfície como em subsuperfície. O conceito de infiltração foi introduzido no ciclo hidrológico por Horton em 1933” (GUERRA, 1994).

Fonte: A autora

### 3.2 Águas Subterrâneas

De acordo com SMA (2009) as águas subterrâneas são definidas como as águas que se encontram abaixo do subsolo, preenchendo os espaços vazios (poros) existentes entre os grãos de solo e as rochas sedimentares, e circulam através das fraturas das rochas (Figura 2).

Figura 2 – Ilustração das águas subterrâneas



Fonte: Adaptado de TeachEngineering (2017)

A quantidade de água que é armazenada nos aquíferos é relativa aos demais processos que contribuem para infiltração da água no subsolo. Sendo que, a precipitação anual média no planeta, na parte continental é de 800 mm, que são equivalentes em torno de dois terços da precipitação média sobre os oceanos. A evapotranspiração que ocorre na superfície terrestre é de 480 mm e o escoamento que acontece nos oceanos de 320 mm (MAIDMENT, 1993).

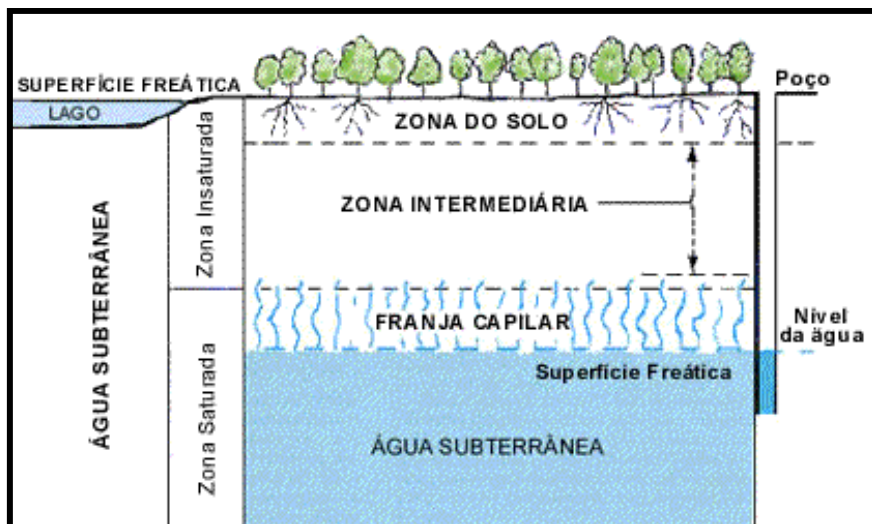
Devido ao constante crescimento urbano e industrial, houve uma maior exploração das águas superficiais, que associado à falta de saneamento básico, tiveram sua qualidade reduzida, principalmente, devido ao lançamento de efluentes e de resíduos. Em muitos casos, a contaminação superficial atingiu o subsolo e as águas subterrâneas podem estar contaminadas, devido ao uso indiscriminado de pesticidas e de outras fontes potenciais, como a liberação de lixiviado de lixões, herbicidas, fertilizantes, produtos químicos e combustíveis. A responsabilidade por estes eventos é atribuída aos empreendimentos que não levam em conta medidas preventivas durante a instalação de suas atividades, sem impermeabilização de áreas suscetíveis e não procuram outras alternativas para proteger os aquíferos (PRADO, 2017).

Por isso, nos últimos anos ocorreu um aumento na demanda pelo uso das águas subterrâneas, como alternativa para o problema da falta de qualidade das águas superficiais. Sendo que atualmente, cerca 61% da população brasileira faz uso das águas subterrâneas (IBGE, 2010).

### 3.2.1 Distribuição Vertical de Água Subterrânea

Segundo Feitosa & Filho (2000), a água que existe no solo e nas formações geológicas, é distribuída da forma vertical, em duas zonas horizontais, a saturada e não saturada (Figura 3), de acordo com a entrada da água no poro no solo.

Figura 3 - Representação esquemática da distribuição vertical da água subterrânea



Fonte: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (2007)

A zona saturada se localiza abaixo da superfície freática, onde todos os poros e vazios estão saturados de água. A zona não saturada, chamada também como zona de aeração ou zona vadosa, se localiza entre a superfície freática e a superfície do terreno. Essa zona é dividida em três partes (FEITOSA & FILHO, 2000):

- **Zona capilar:** é localizada na extensão da superfície até o limite de ascensão capilar da água. Sua espessura varia de acordo com o tamanho dos poros, com sua distribuição, e se o terreno é homogêneo ou não. Perto da superfície do lençol freático, esses poros estão saturados e na parte superior, somente os poros com espaço menor estão cheios de água, fazendo com que a distribuição

de água seja totalmente irregular. A franja capilar é um ponto abaixo do solo que está praticamente saturado (aproximadamente 75% de água no solo).

- **Zona intermediária:** é localizada entre o limite de ascensão capilar da água e o limite que as raízes das plantas conseguem alcançar. A umidade que existe nesse local é em consequência da água capilar que se isola, pois as raízes não conseguem alcançar e a água é retida pelas forças não capilares.
- **Zona de água do solo ou zona de evapotranspiração:** é localizada entre extremos radiculares da vegetação e a superfície do terreno. A cobertura vegetal pode alterar a espessura dessa zona. A água capilar isolada ou que fica suspensa nessa zona é utilizada pelas plantas no processo de transpiração e nutrição.

### 3.2.2 Aquíferos

Aquífero é o grupo de formações ou parte de uma formação que contém suficiente material saturado e permeável para produzir quantidades significativas de água para poços, fontes e mananciais (USGS, 2016). Estes corpos apresentam diversas funções, principalmente como armazenamento e condução de água. Dependendo das suas características são estabelecidas suas funções. Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2007), as principais funções dos aquíferos são:

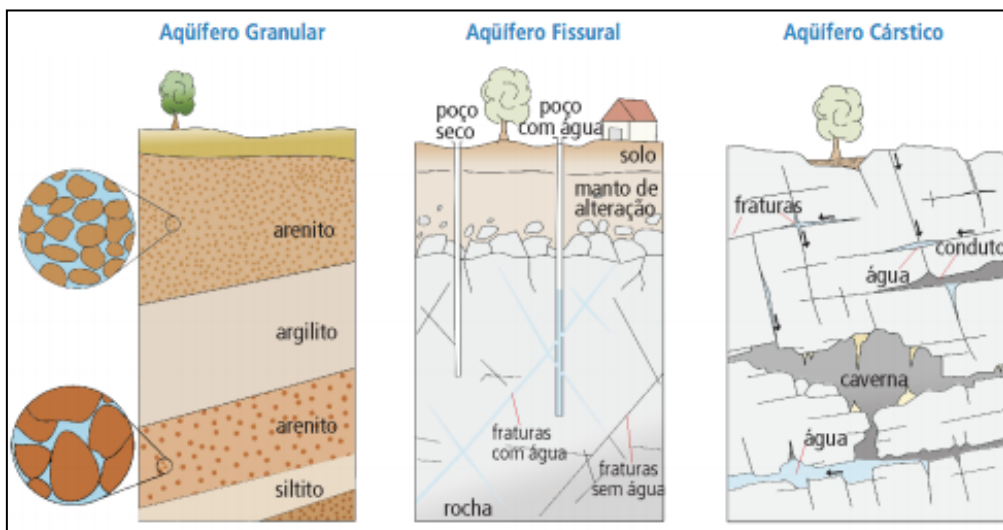
- Produzir e fornecer água com qualidade e quantidade para diversos usos;
- Estocar e regularizar, armazenando água quando há chuva e abastecendo os lagos e rios em época de estiagem;
- Filtração, atuando como filtros naturais quando infiltra no solo, minimizando os custos do tratamento;
- Transporte, conduzindo a água do local que foi recarregado para uma área onde está o poço;
- Energética, permitindo o uso da água pelo gradiente geotermal, podendo ser uma fonte de energia termal ou elétrica;

- Estratégica, protegendo a água armazenada da evaporação ou mesmo de guerras e sabotagens; e
- Ambiental, mantendo os ecossistemas e a biodiversidade do local.

Os tipos de aquíferos são determinados de acordo com as unidades geológicas em que se encontram. Pelo fato das rochas serem formadas em distintos ambientes e climas, cada aquífero possui suas propriedades hidrogeológicas intrínsecas, que reflete na sua produtividade e vulnerabilidade à contaminação (SMA, 2009).

A classificação dos aquíferos pode ser estabelecida pela porosidade da rocha (Figura 4) ou pelas características hidráulicas.

Figura 4 - Classificação dos aquíferos de acordo com o tipo de porosidade da rocha



Fonte: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (2009)

De acordo com a SMA (2009), podemos classificar os aquíferos quanto a porosidade da rocha nos seguintes tipos:

- **Aquífero granular:** no qual as rochas sedimentares e os sedimentos que não se consolidam, como areia e cascalho, são constituídos de grãos com minerais e a medida que a água percola, sendo que esses minerais permanecem por algum tempo nos vazios dos grãos.

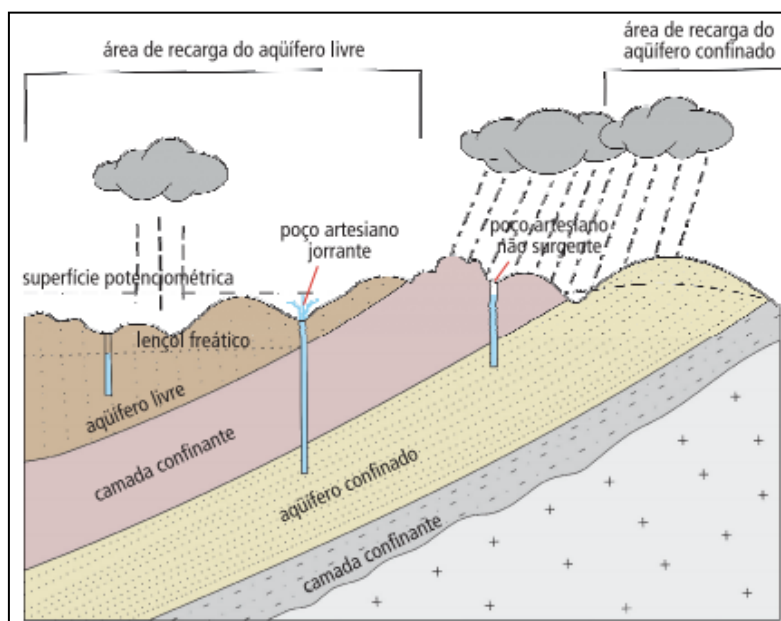


- **Aquífero fissural ou fraturado:** são compostos de rochas maciças e compactas, onde não há nenhum espaço vazio para os minerais (como os granitos) e a porosidade será devido as fraturas, por conta de ruptura de rochas e por esforços físicos na crosta terrestre. Quanto mais fraturas ligadas e preenchidas com água, o aquífero conseguirá fornecer uma maior quantidade de água.
- **Aquífero cárstico:** as rochas carbonáticas, em contato com uma água ácida, que é formada por água da chuva ou de rios com o gás carbônico (da atmosfera e do solo), entra pela fratura da rocha, e a dissolve, gerando cavidades e formando galerias com rios subterrâneos e cavernas. Nesse aquífero a água flui por esses canais e condutos.

Os aquíferos também podem ser classificados de acordo com suas características hidráulicas (Figura 5), dependendo da pressão a que estão sendo submetidos (SMA, 2009):

- **Aquífero livre:** Localizado próximo a superfície, onde a zona não saturada tem contato direto com a zona saturada e em todos os pontos a pressão é atmosférica. Essa água recarrega diretamente o aquífero, atravessando a zona não saturada.
- **Aquífero confinado:** Tem a pressão da água maior que a pressão atmosférica, pois não tem uma zona não saturada. É limitado no topo e tem como base, rochas que possuem uma baixa permeabilidade. O nível de água desse tipo de aquífero chamado de potenciométrico.

Figura 5 - Aquífero livre e aquífero confinado



Fonte: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (2009)

Particularmente, o aquífero confinado pode ser subdividido em dois tipos: não drenante, em que as camadas limítrofes superior e inferior são impermeáveis; e drenante, onde uma das camadas é semi-permeável, podendo assim entrar ou sair um fluxo pelo topo ou pela base (FEITOSA & FILHO, 2000).

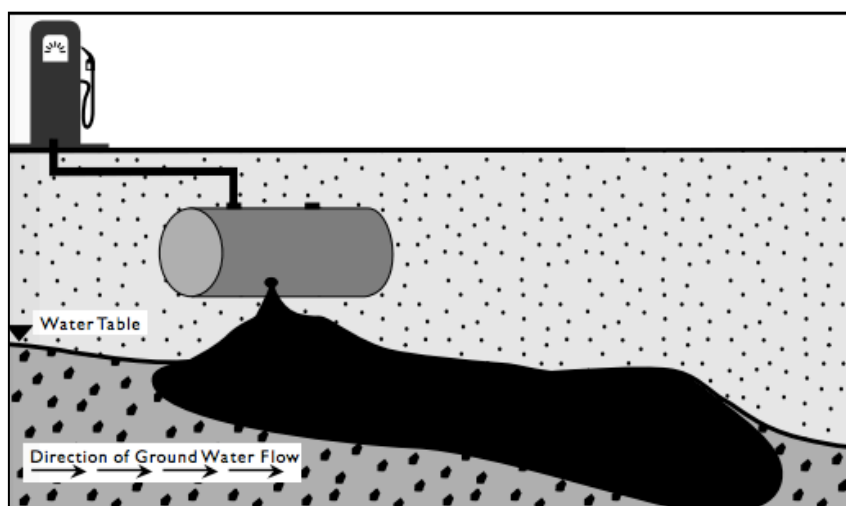
### 3.3 Fontes de contaminação

A contaminação das águas subterrâneas, geralmente, é atribuída como resultado de atividades humanas no meio ambiente. Ao passar dos anos, houve um aumento da demanda de água, devido ao crescimento da zona urbana e rural, e a tendência é crescer cada vez mais e diminuir a disponibilidade hídrica no Brasil, devido a grande exploração, impermeabilização do solo e a poluição das águas (MMA, 2007).

Algumas atividades pontuais ou dispersas podem liberar compostos químicos ou resíduos no meio ambiente, de forma acidental ou não. Estes contaminantes ou a concentração destes, também chamado de pluma de contaminação, movem-se de acordo com a declividade em superfície e quando

atingem o nível freático, seguem o fluxo das águas subterrâneas (Figura 6), sendo que a velocidade e o tamanho da pluma depende da sua densidade, do tipo de contaminante e de sua solubilidade (USEPA, 2015).

Figura 6 - Pluma de contaminação no subsolo



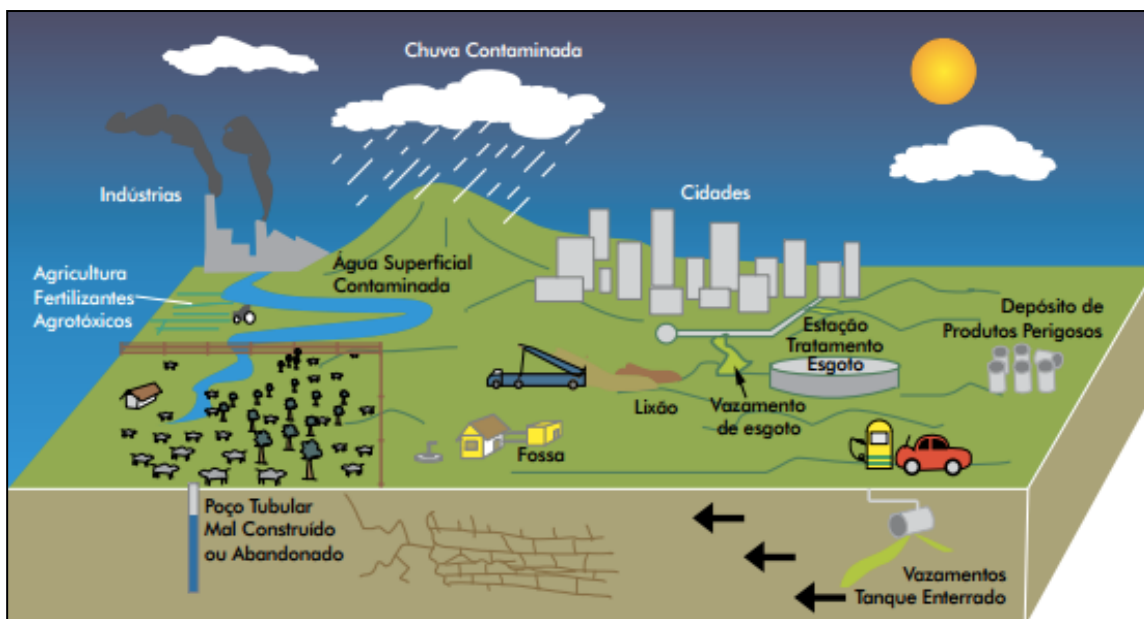
Fonte: Adaptado de USEPA (2015)

Os contaminantes podem infiltrar rapidamente no solo pelas fraturas das rochas, pelos poros do solo, pelas raízes dos vegetais, por poços abandonados sem vedação e por outros sistemas que podem fissurar esses poços. Ainda, Feitosa & Filho (2000), apontam diversas atividades antrópicas que podem provocar contaminação do solo (Figura 7), tais como:

- **Disposição dos resíduos domésticos, industriais ou comerciais em lixões:** os resíduos sólidos são dispostos à céu aberto e quando a chuva entra em contato com o chorume, resultante da umidade natural dos resíduos devido ao processo de degradação orgânica, ocorre a formação do lixiviado (chorume e água precipitada da chuva). Este pode infiltrar no solo e levar consigo, algumas substâncias com potencial de contaminação, como metais e organismos patogênicos.
- **Lançamento de efluentes:** em rios, lagos, córregos ou no solo, proveniente de vazamento ou canalização de esgoto irregular, que além de contaminar as águas superficiais, podem atingir as águas subterrâneas.

- **Utilização de produtos químicos:** os pesticidas, agrotóxicos e fertilizantes que contêm metais pesados, nitratos e compostos orgânicos, quando são utilizados em grande quantidade, podem ser solubilizados na água, percolar e infiltrar no solo, atingindo os lençol freático e contaminando o aquífero.
- **Exploração mineral:** essa atividade produz rejeitos que podem contaminar aquíferos pela presença de elementos e compostos químicos, como ácidos e metais pesados.
- **Vazamento de substâncias tóxicas no setor de transporte:** pode ocorrer vazamento de combustíveis e óleo lubrificante, devido a acidentes associados à falta de manutenção, construção irregular e rompimento de dutos.
- **Cemitérios:** o necrochorume (líquido proveniente da degradação dos cadáveres, que é composto por água, sais minerais e substâncias inorgânicas) e os microorganismos patogênicos podem percolar no solo e contaminar a água subterrânea.
- **Poço superior utilizado por algum fim:** pode contaminar o aquífero dependendo de sua atividade e conseqüentemente outros poços, contaminando as águas subterrâneas.
- **Poço mal construído e abandonado, sem revestimento:** este tipo de poço pode se romper e pela falta de fechamento adequado, funciona como uma porta para entrada direta de contaminantes que facilmente alcançam o nível freático.

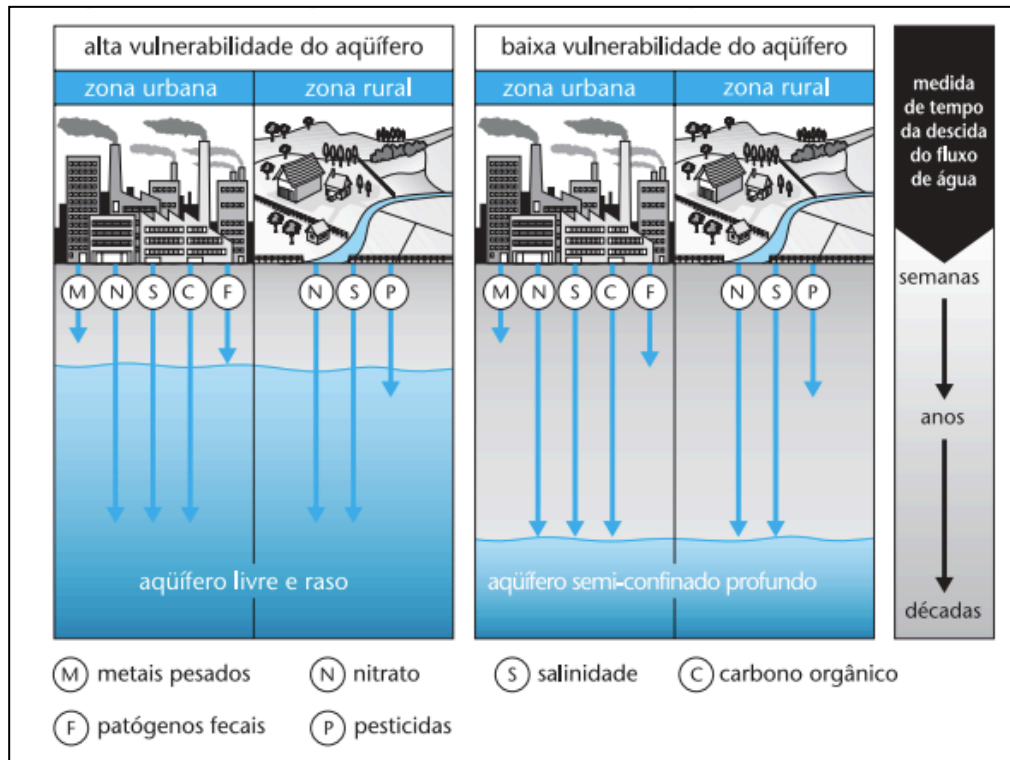
Figura 7 - Processos comuns de poluição da água subterrânea



Fonte: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (2009)

Diferentes parâmetros (metais pesados, salinidade, patógenos, nitratos, pesticidas, sais e carbono orgânico) e sua interação com o tipo de aquífero em que se apresentam, definem o índice de vulnerabilidade dos aquíferos em condições de alta e baixa vulnerabilidade, tanto na zona rural quanto na zona urbana (Figura 8).

Figura 8 - Índice de vulnerabilidade de acordo com o tipo de aquífero e sua interação com parâmetros do potencial de contaminação



Fonte: Foster et al. (2002)

Aquíferos livres e rasos apresentam alta vulnerabilidade à contaminação, pois as substâncias contaminantes conseguem alcançar o nível freático facilmente, não sendo autodepurados pelas camadas de solos adjacentes. Em contrapartida, aquíferos semiconfinados e confinados com altas profundidades apresentam baixa condição de vulnerabilidade, pois dificultam o acesso do agente contaminante ao nível freático (FEITOSA & FILHO, 2000).

### 3.3.1 Postos de Combustíveis

Os postos de combustíveis, que são locais onde se armazenam e vendem produtos como álcool, gasolina e diesel, são extremamente sujeitos a vazamentos, caso não se tenha uma manutenção periódica. Esses vazamentos podem ocorrer por diversos motivos, como derramamentos constantes quando é transferido do tanque para a bomba ou do caminhão para o tanque, por

infiltração e rachaduras no piso do posto, também por vazamentos na própria bomba, por estar oxidada ou pela instalação inadequada e por falhas na estrutura da tubulação que se conecta ao tanque (MINDRISZ, 2006).

A contaminação é frequente quando o local tem uma grande frequência de chuva e os níveis freáticos são muito próximos da superfície. A gasolina e o óleo são menos densos que a água e imiscíveis, então estes compostos migram para a zona não saturada, que se apresenta preenchida por água e ar, e devido a ação da gravidade e das forças capilares, esse hidrocarbonetos vão competir para entrar no espaço entre os poros. Numa superfície contendo água e óleo, a água vai tender a umedecer a superfície primeiro. A zona não saturada pode ser encharcada pelo óleo, se o solo for seco, sendo que no primeiro momento se movimentará verticalmente, por conta da gravidade e também lateralmente, pelas forças capilares, sendo interrompida quando atinge a zona saturada (FEITOSA & FILHO, 2000).

A gasolina, por exemplo, é imiscível em água e pouco solúvel, que penetra no solo como um líquido de fase não aquosa, chamado de NAPL (*Non-Aqueous Phase Liquid*). Porém, apesar da sua baixa solubilidade, quando entra em contato com a água, uma parte se dissolve. Enquanto, os BTEX's (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos), que são compostos que apresentam elevada solubilidade em água, dos quais o benzeno é o mais tóxico, sendo este o primeiro a ser dissolvido, contaminando o meio aquoso. Porém, todas os compostos supracitados, quando em contato com os seres humanos, podem causar doenças, como câncer (ATSDR, 1997).

Os BTEX's fazem parte do grupo VOC's (Compostos Orgânicos Voláteis, da tradução do inglês), que apresentam alta pressão de vapor e em contato com a atmosfera, onde se transformam em gás. Ainda, dentro desse grupo há os PHC's (Hidrocarbonetos de Petróleo, da tradução do inglês). Sua biodegradação é rápida, na presença de oxigênio. Os PHC's líquidos, como a gasolina e o diesel, são menos densos que a água, porém possuem substâncias mais densas que a água (solventes clorinados), as quais afundam e se concentram no nível inferior do aquífero (USEPA, 2015).

### 3.3.2 Oficinas Mecânicas

As oficinas mecânicas, que desenvolvem atividades de reparo e manutenção de veículos, utilizam diversos produtos químicos como graxa, óleo lubrificante, gasolina, solventes, entre outros compostos com características oleosas, inflamáveis, tóxicas e corrosivas. Se não houver métodos adequados de controle para uso desses compostos, é possível causar algum tipo de impacto ambiental, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Atividades, aspectos e impactos causados por oficinas mecânicas

<b>Atividade</b>	<b>Aspecto negativos</b>	<b>Impactos</b>
Troca de peças do motor	Vazamento de combustível e queima de combustível	Contaminação do solo e água, perigo de incêndio
Troca de óleo	Descarte inadequado de resíduos	Contaminação do solo e água
Limpezas de peças com gasoline	Geração de efluentes líquidos oleosos	Contaminação do solo e água
Aplicação de produtos como graxa, óleo lubrificante e solvent	Geração de efluentes líquidos oleosos	Contaminação do solo e água
Estopa e panos usados	Estopas descartadas incorretamente	Contaminação do solo

Fonte: Adaptado de Belfi et al. (2014)

### 3.4 Legislação

As leis são definidas como regras que devem ser seguidas, atuando no controle de atividades de ordem social, econômica, territorial e ambiental, sendo extremamente necessária para a boa gestão de qualquer local. O objetivo de uma lei ambiental é proteger, limitar, fazer o bom uso dos recursos e buscar a preservação e manutenção da qualidade dos recursos naturais.

A legislação também prevê ações compensatórias ou de reparação do dano causado em detrimento dos recursos naturais. As principais legislações brasileiras aplicadas às águas subterrâneas são apresentadas na Tabela 3 (HAGER et al. 2008):

Tabela 3 – Legislação relacionada às águas subterrâneas

<b>LEGISLAÇÃO</b>	<b>DEFINIÇÃO</b>
Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981	Institui a Política Nacional de Meio Ambiente - PNMA, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação



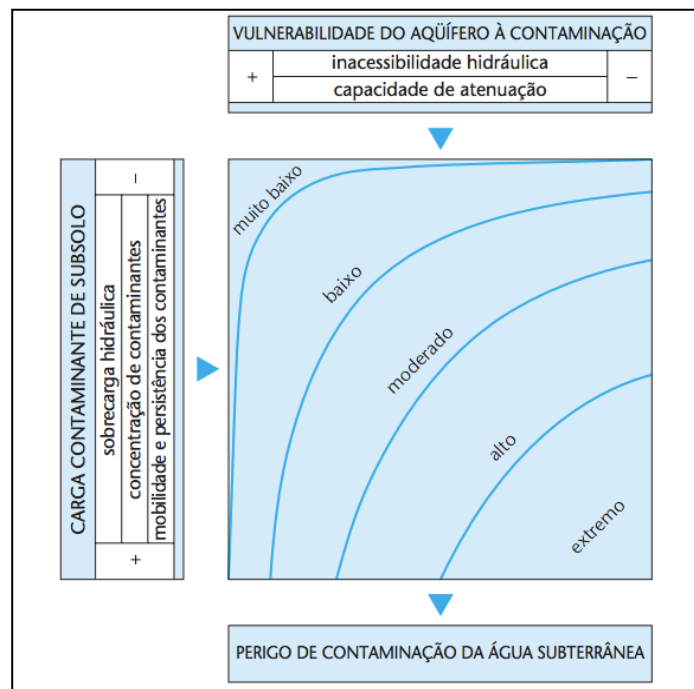
<b>Decreto nº 4.297, de 10 de julho de 2002</b>	Regulamenta o inciso II do art. 9 desta Lei, estabelecendo critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil – ZEE
<b>Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998</b>	Trata das sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, regulamentada pelo Decreto nº 3.179, de 21 de setembro de 1999
<b>Lei nº 9.605, de 1998 – Leis dos Crimes Ambientais</b>	Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências
<b>Lei nº 9.795 de 1999 – Lei de Educação Ambiental</b>	Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências
<b>Lei nº 9.985/00, de 18 de julho de 2000 -Lei do SNUC</b>	Regulamenta o art. 225 § 1, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal/88, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza
<b>Resolução CONAMA nº 303, de 2002</b>	Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente, inclusive conceituando nascentes como exutório de águas subterrâneas
<b>Resolução CONAMA nº 335, de 2003</b>	Dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios
<b>Resolução CONAMA nº 396, de 2008</b>	Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento de águas subterrâneas
<b>Resolução CONAMA nº 357 de 2005</b>	Dispõe sobre a classificação dos corpos de água superficial e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de efluentes
<b>Decreto-Lei nº 1.985/1940 alterado pelo Decreto-Lei nº 227, de 1967</b>	Código de Mineração – Art. 10 – Rege-se-ão por Leis especiais: V-as jazidas de águas subterrâneas.
<b>Código de Águas Minerais, Decreto nº 7.841, de 1945</b>	Art. 1º - Águas Minerais são aquelas provenientes de fontes naturais ou de fontes artificialmente captadas que possuam composição diferente da água comum. Art. 3º - São denominadas “águas potáveis de mesa” as águas de composição normal, provenientes de fontes naturais ou de fontes artificialmente captadas.
<b>Decreto Federal nº 24.643, de 10 de julho de 1934</b>	Art. 96 – se o aproveitamento das águas subterrâneas de que se trata este artigo prejudicar ou diminuir as águas públicas dominicais ou públicas de uso comum ou particulares, a administração competente poderá suspender as ditas obras e aproveitamentos. Art. 97 – Não poderá o dono do prédio abrir poço junto ao prédio do vizinho, sem guardar a distância necessária ou tomar as precisas precauções para que ele não sofra prejuízo. Art. 98 – São expressamente proibidas construções capazes de poluir ou inutilizar, para uso ordinário, a água do poço ou nascente alheia, a ele preexistentes. Art. 101 – Depende de concessão administrativa a abertura de poços em terrenos de domínio público.
<b>Constituição Federal de 1988</b>	A Constituição Federal acaba com o domínio privado da água, determinando a instituição do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e estabelece que os recursos hídricos subterrâneos sejam de domínio dos Estados
<b>Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997</b>	Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SINGREH

Fonte: Adaptado de Hager et al. (2008)

### 3.5 Métodos utilizados para classificação da vulnerabilidade à contaminação de um aquífero

Segundo Foster et al. (2006), o perigo de contaminação de um aquífero pode ser definido pela interação da carga contaminante (antrópico ou não) e a vulnerabilidade do aquífero à contaminação, dependendo das características do mesmo (inacessibilidade hidráulica e a sua capacidade de atenuação). Este autor, elaborou um esquema para classificar o nível do perigo à contaminação das águas subterrâneas (Figura 9).

Figura 9 - Esquema conceitual para avaliação do perigo de contaminação das águas subterrâneas



Fonte: FOSTER et al. (2006)

De acordo com Oliveira (2013), no estudo de vulnerabilidade é necessário considerar as características do aquífero (porosidade e tipo de aquífero), sua litologia, permeabilidade, profundidade de ocorrência, etc. Também é necessário conhecer a área onde se apresenta (o uso do solo, a topografia e a geomorfologia) e levantar informações sobre o contaminante (a sua composição, mobilidade, densidade, solubilidade, entre outras). Ainda, para analisar um evento ou atividade no meio ambiente, também é necessário envolver conceitos como risco e perigo, onde o perigo significa a situação de

fato que gera o dano e o risco é a possibilidade ou a probabilidade desse dano acontecer.

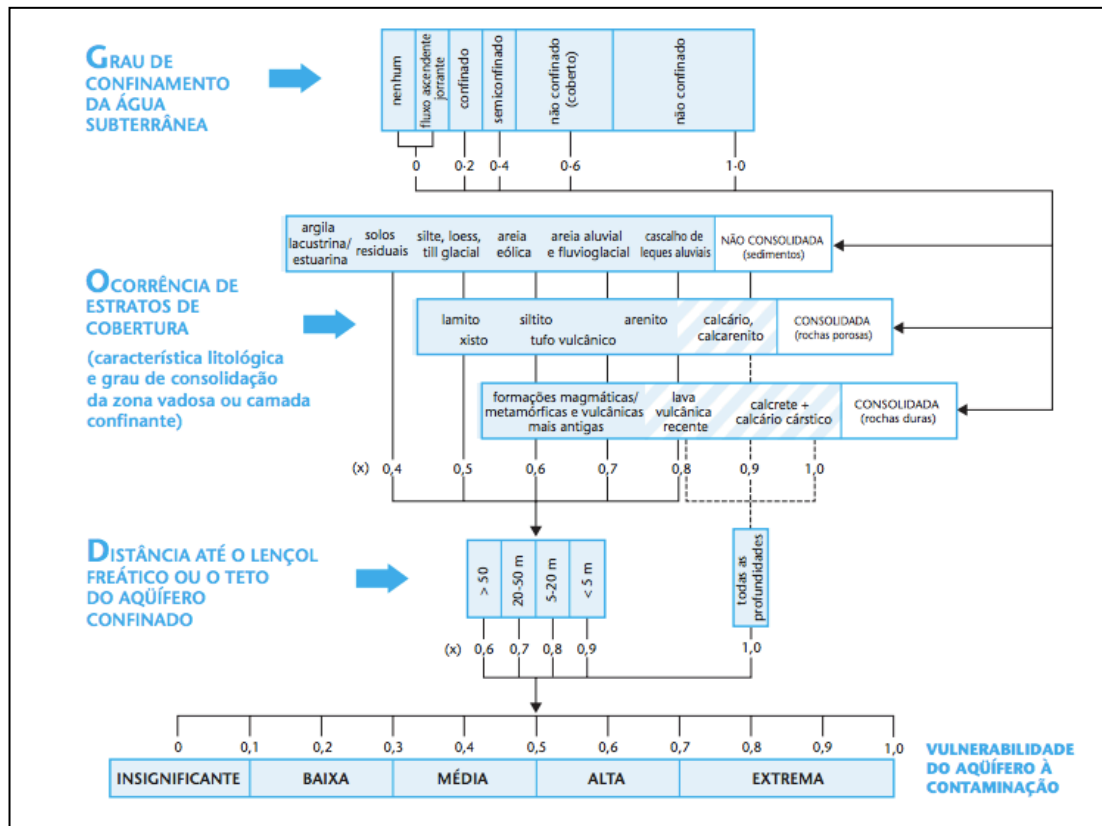
### 3.5.1 Método GOD

O método GOD é um método que avalia a vulnerabilidade de um aquífero à contaminação, considerando dois fatores: a inacessibilidade hidráulica da zona saturada e a capacidade de atenuar os estratos de cobertura da zona saturada do aquífero (FOSTER et al. 2006). Porém, esses fatores necessitam de outros parâmetros para ser combinados e com a dificuldade de obter os dados, esses parâmetros e situações são simplificados, onde é desenvolvido um esquema (índice) de mapeamento da vulnerabilidade.

O índice de vulnerabilidade GOD, criado por Foster et al. (2006), identifica o grau de vulnerabilidade do aquífero à contaminação, utilizando os seguintes parâmetros (Figura 10):

- *G – groundwater hydraulic confinement* (grau de confinamento hidráulico da água subterrânea, na tradução do inglês), que é classificado por 5 faixas, de 0 até 1, de acordo com o tipo de aquífero;
- *O – overlaying strata* (ocorrência dos estratos de cobertura, característica hidrogeológica e o grau de consolidação, na tradução do inglês), onde é classificado entre 0,4 e 1,0, dependendo da classificação da litologia em segmentos;
- *D – depth to groundwater table* (profundidade até o lençol freático, na tradução do inglês), com intervalo de 0,6 a 1,0, de acordo com o nível estático do poço.

Figura 10 - Avaliação da vulnerabilidade pela metodologia GOD



Fonte: Foster et al. (2006)

Após definir os valores dos parâmetros acima (da 1ª à 3ª fase), é realizado a multiplicação entre estes e considera-se a vulnerabilidade do aquífero de acordo com o resultado da pontuação, mostrado na 4ª fase, sendo que a definição de cada índice de vulnerabilidade, é apresentado na Tabela 4, a seguir.

Tabela 4 - Classe de vulnerabilidade de acordo com o método GOD

Valores	Índice de vulnerabilidade	Definição
0,0 - 0,1	Insignificante	Presença de camadas confinantes sem fluxo vertical significativo
0,1 - 0,3	Baixa	Vulnerável somente a contaminantes conservadores, a longo prazo, quando contínua e amplamente lançados ou lixiviados
0,3 - 0,5	Moderada	Vulnerável a alguns contaminantes, mas somente quando continuamente lixiviados ou lançados
0,5 - 0,7	Alta	Vulnerável a muitos contaminantes em muitas condições de contaminação (com exceção dos que são fortemente adsorvidos ou rapidamente transformados)

0,7 - 1,0	Extrema	Vulnerável à maioria dos contaminantes com impacto rápido em muitos cenários de contaminação
-----------	---------	--

Fonte: FOSTER et al. (2002)

As informações utilizadas para aplicação do método GOD são referente aos dados levantados dos poços cadastrados no sítio da Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais no Sistema de Águas Subterrâneas (SIAGAS) do município de Caçapava do Sul, disponibilizadas na página eletrônica <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>. Com os resultados obtidos a partir do fluxograma (Figura 10), é possível classificar e definir as ações e meios necessários para uma melhor gestão do aquífero.

### 3.5.2 Método POSH

Para a classificação das fontes potenciais de contaminação a água subterrânea no município de Caçapava do Sul, será utilizado o método POSH - *Pollutant Origin and its Surcharge Hydraulically* (Origem do Poluente e sua Sobrecarga Hidráulica, da tradução do inglês) de Foster et al. (2002). Este método classifica em 3 níveis qualitativos as fontes de geração de carga contaminante: reduzida, moderada e elevada. Essa classificação considera o tipo de atividade que está sendo executada, a sua capacidade de gerar um contaminante e a carga hidráulica do contaminante.

É importante caracterizar as formas de classificação das fontes potenciais de contaminação no subsolo, como ilustrado na Tabela 5, nas quais são baseadas em duas características (FOSTER et al. 2002) e algumas associações, tais como:

- A probabilidade do contaminante estar presente no solo, a presença de características de um contaminante persistente ou um contaminante móvel no subsolo, onde se associa de acordo com o tipo de atividade antropogênica na área;
- A existência de uma carga hidráulica associada onde pode-se de gerar um transporte por advecção (junto com um fluido) entre os sistemas de aquífero, onde é associada de acordo com a atividade onde se utiliza a água.

Tabela 5 - Classificação das fontes potenciais de contaminação pelo método POSH

Potencial	Saneamento in situ	Práticas Agrícolas
Elevado	Cobertura da rede de esgoto inferior a 25% e densidade populacional superior a 100 pessoas/ha	Culturas comerciais intensivas, geralmente monoculturas em solos bem drenados, em climas úmidos ou com baixa eficiência de irrigação, pasto intensivo em campos intensamente fertilizados
Moderado	Intermediário entre elevado e reduzido	
Reduzido	Cobertura da rede de esgoto superior a 75% e densidade populacional inferior a 550 pessoas/ha	Rotação das culturas, terra para pasto extensivo, sistemas de cultivo ecológico, plantação com alta eficiência de irrigação em regiões áridas e semi-áridas.

Fonte: Adaptado de Foster et al. (2002)

As atividades industriais podem contaminar o solo e também o subsolo, dependendo do volume, concentração, presença de produtos químicos e suas particularidades, como fluidez e solubilidade. É possível avaliar o risco conforme a classe de avaliação do contaminante, definida pelo método POSH. Na Tabela 6 são apresentadas as classes de risco potencial de contaminação de acordo com o potencial da carga contaminante e na Tabela 7, a classificação do potencial de contaminação pontual de acordo com as atividades desenvolvidas.

Tabela 6 - Risco potencial de contaminação de acordo com a classe de vulnerabilidade do aquífero

Risco potencial de Contaminação	Potencial de Carga Contaminante		
	Baixa	Média	Alta
Insignificante	Risco Reduzido	Risco Reduzido	Risco Moderado
Baixa	Risco Reduzido	Risco Reduzido	Risco Moderado
Moderada	Risco Reduzido	Risco Moderado	Risco Elevado
Alta	Risco Moderado	Risco Moderado	Risco Elevado
Extrema	Risco Moderado	Risco Elevado	Risco Elevado

Fonte: Adaptado de Fehon (2013)

Tabela 7 - Classificação das fontes pontuais de contaminação pelo método POSH

<b>FONTES DE CONTAMINAÇÃO PONTUAL</b>					
	<b>Deposição de Resíduos Sólidos</b>	<b>Áreas Industriais (#)</b>	<b>Lagoas de Águas Residuais</b>	<b>Outras (Urbanas)</b>	<b>Mineração e Exploração de Petróleo</b>
<b>Potencial Elevado</b>	Resíduos industriais tipos 3, resíduo de origem desconhecida	Indústria tipo 3*** ou qualquer atividade que manuseie > 100kg/d de produtos químicos perigosos	Todos os resíduos industriais tipo 3, qualquer efluente (exceto esgoto residencial) se a área > 5ha.	-	Operação de campos de petróleo, mineração de metais
<b>Potencial Moderado</b>	Chuvas > 500 mm/a com resíduos residenciais ou agroindustriais tipo 1, ou todos os demais casos	Indústria tipo 2**	Esgoto residencial se a área > 5 ha, demais casos não são relacionados acima ou abaixo	Postos de gasolinas, via de transporte com tráfego regular de produtos químicos perigosos	Algumas atividades de mineração/extracção de materiais inertes
<b>Potencial Reduzido</b>	Chuvas < 500 mm/a resíduos residenciais ou agroindustriais tipo 1.	Indústria tipo 1*	Águas residuais residenciais, mistas, urbanas, agroindustriais e de mineração e de não-metálico	Cemitérios	-

# solos contaminados de indústrias abandonadas devem ter a mesma classificação que a da própria indústria; \*Indústrias Tipo 1: madeireiras, manufaturas de alimentos e bebidas, destilarias de álcool e açúcar, processamento de materiais não metálicos; \*\*Indústrias Tipo 2: fábricas de borracha, fábricas de papel e celulose, indústrias têxteis, fábricas de fertilizantes, usinas elétricas, fábricas de detergente e sabão.

\*\*\*Indústrias Tipo 3: oficinas de engenharia, refinarias de gás/petróleo, fábricas de produtos químicos/farmacêuticos/plásticos/pesticidas, curtumes, indústrias eletrônicas, processamento de metal.

Fonte: Adaptado de Foster et al. (2002)

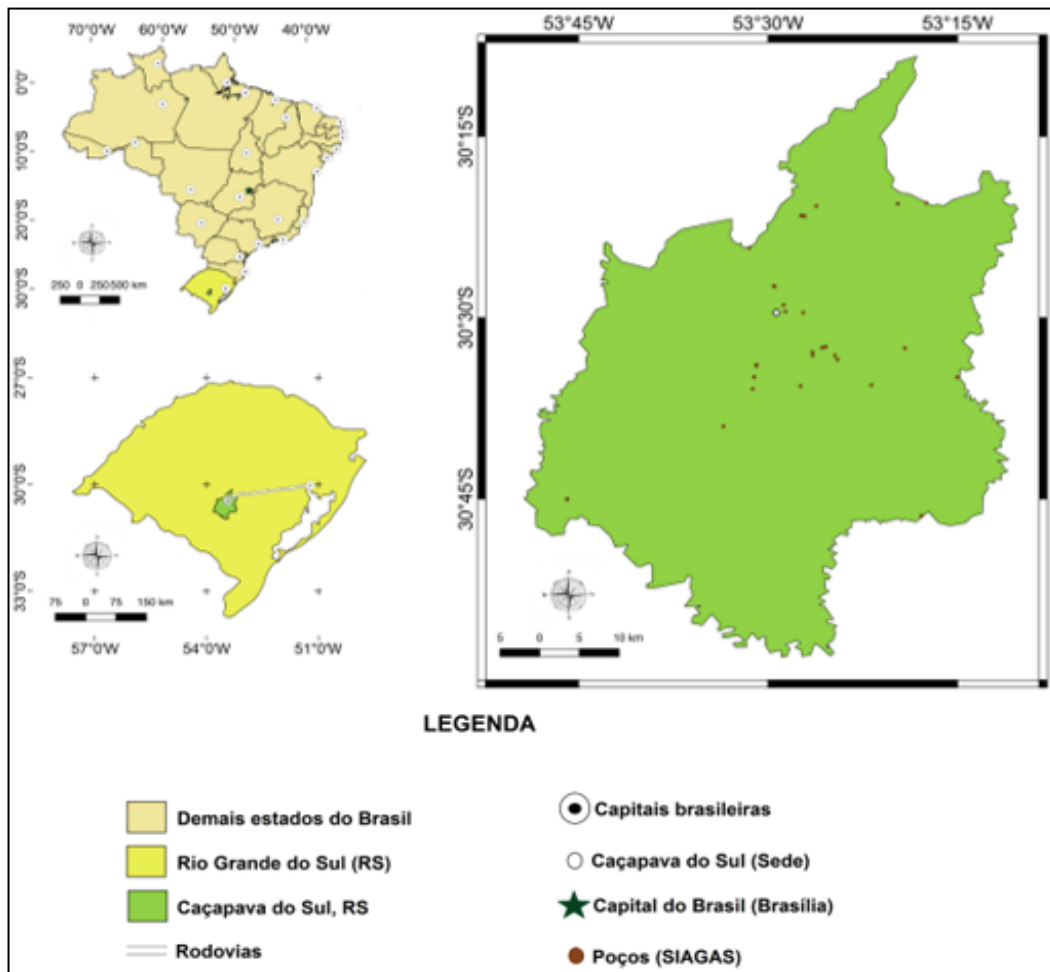
## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Caracterização da área de estudo

#### 4.1.1. Localização

A área, objeto desse estudo, é o município de Caçapava do Sul – RS (Figura 11). De acordo com a Prefeitura Municipal de Caçapava do Sul (2010), o nome da cidade em Tupi-Guarani, significa “Clareira da Mata”, “Fim da Estrada da Mata” e “Fim da Travessia no Monte”, pois em 1777 foi um ponto de acampamento militar no antigo aldeamento dos charruas, que era uma clareira no meio de uma mata virgem.

Figura 11 - Mapa de localização da área de estudo



Fonte: A autora (Adaptado de IBGE, 2010)

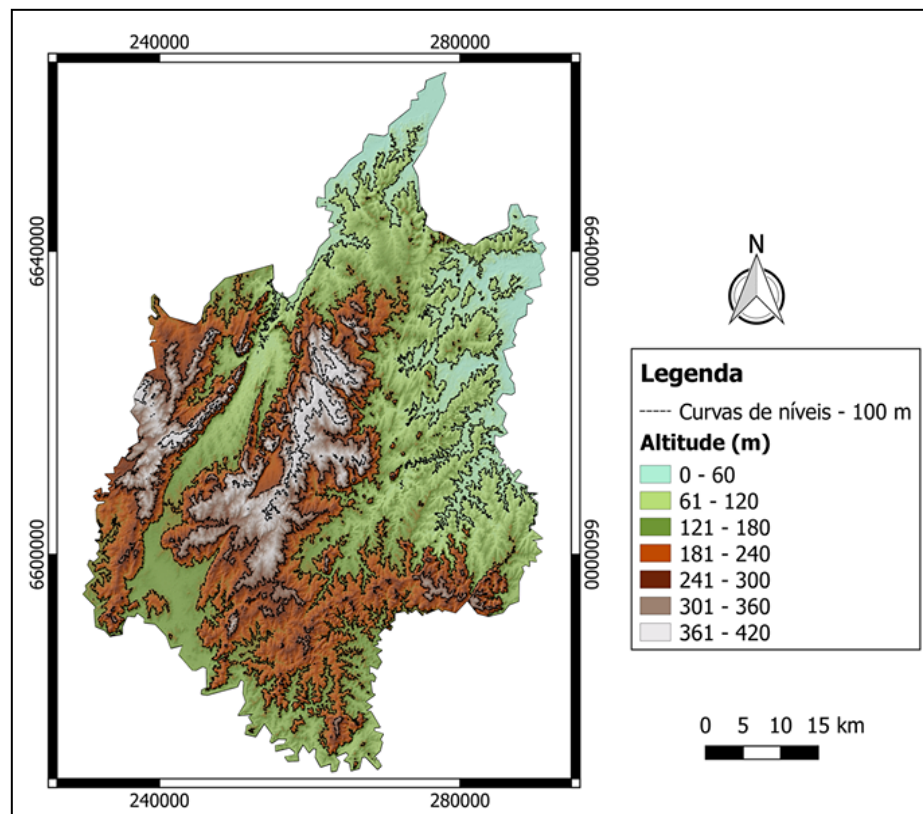


Caçapava do Sul é uma das cidades mais antigas do estado, denominada como vila em 1831 e cidade em 1885. Possui jazidas de zinco, cobre, cal e caulim, com terras escuras, usado para agricultura e para a criação de gado. Com uma localização estratégica, também foi usada como defesa da terra gaúcha e tornou-se a 2ª Capital Farroupilha (PREFEITURA MUNICIPAL DE CAÇAPAVA DO SUL, 2010).

O município é situado na Zona da Campanha, na mesorregião do Sudeste Rio-grandense e na microrregião da Serra do Sudeste (IBGE, 2008), distante cerca de 260 km da capital Porto Alegre, com um fuso horário de UTC-3. Localiza-se entre as coordenadas: 30°30'44" de latitude sul e 53°29'29" de longitude oeste.

De acordo com IBGE (2008), a cidade tem uma altitude de aproximadamente 420 metros (Figura 12) e área de 3.047,133 km<sup>2</sup>, com uma população é 36.644 habitantes, densidade demográfica de 11,06 hab/ km<sup>2</sup> e PIB per capita de R\$ 19.191,46. Os municípios limítrofes de Caçapava do Sul são: Cachoeira do Sul e São Sepé ao Norte, Bagé e Pinheiro Machado ao Sul, Santana da Boa Vista a Leste, Lavras do Sul e São Sepé a Oeste.

Figura 12 - Mapa topográfico do município de Caçapava do Sul



Fonte: A autora (Adaptado de IBGE, 2008)

#### 4.1.2 Clima

O Estado do Rio grande do Sul é enquadrado por Köppen, como zona fundamental temperada (C) e tipo fundamental (Cf). O município de Caçapava do Sul, é classificado como Cfa, II1c – Vale do Rio Camaquã. A temperatura do mês mais quente é superior á 22°C e a do mês mais frio fica entre 3°C e 18°C, com média anual é inferior á 18°C (MORENO, 1961).

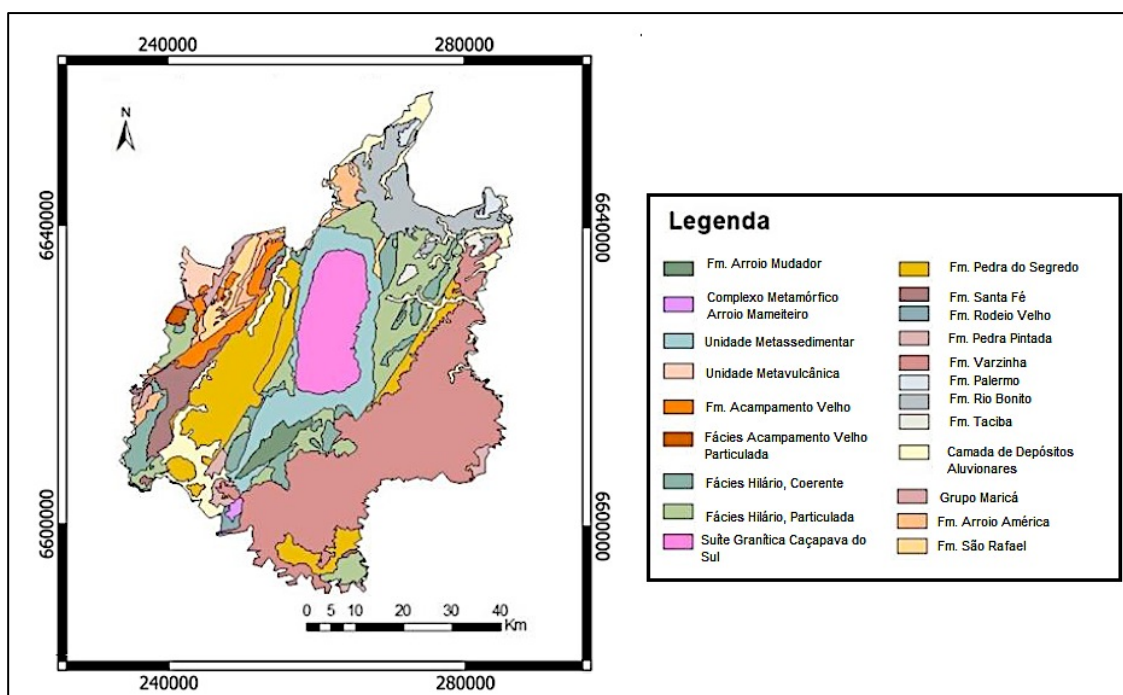
A distribuição de chuvas na região do Rio Grande do Sul é uniforme (MORENO, 1961), o relevo da região, que é mais suave, não influencia muito na questão da distribuição das chuvas. As chuvas em um período de um ano, são bem distribuídas durante todos os meses e a diferença de máxima e mínima não é tão expressiva para poder caracterizar um clima com um período totalmente definido, com um período seco e um período chuvoso (MOTA et al. 1968).

A precipitação pluvial anual é de 1588 mm, sendo a deficiência hídrica anual de 3 mm, e o excesso hídrico anual de 562 mm (EMBRAPA, 1999).

#### 4.1.3 Geologia

De acordo com CPRM (2000) as estruturas geológicas de Caçapava do Sul nas unidades Pré-Cambrianas, são caracterizadas pelas rochas da Sequência Metamórfica Vacacaí, da Suíte Granítica Caçapava do Sul e da Formação Rio Bonito e a Formação Hilário (Figura 13).

Figura 13 - Mapa geológico de Caçapava do Sul



Fonte: A autora (Adaptado de CPRM, 2008)

Uma melhor caracterização das principais unidades geológicas são descritas na Tabela 8. O Complexo Granítico de Caçapava do Sul é a unidade geológica que abrange a maior área do município estudado.

Tabela 8 – Descrição dos domínios geológicos de Caçapava do Sul

<b>Complexo Granítico Caçapava do Sul</b>	“É caracterizado por um magmatismo ácido cálcio-alcálico, pós tectônico e idade brasileira. Tem corpos ovalados, com disposição na direção N-S, sendo um deles com dimensões batolíticas. Tem uma relação de contato com as rochas da Sequência Vacacaí, que contorna os corpos ácidos, que são intrusivos. A suíte está caracterizada litologicamente por sienogranitos, monzogranitos e granodioritos, onde mostram uma textura protomilonítica generalizada.” (CPRM, 2000)
<b>Formação Rio Bonito</b>	“É composta por arenitos muito finos, maciços ( fácies Afm), com conglomerado basal de 2 cm em contato abrupto com o diamictitos da Formação Itararé. Os níveis de conglomeráticos e arenitos médios a grossos da associação de fácies 1 são interpretados como depósitos de canais de maré com influência fluvial.” (JATKOSKI & BATEZELLI, 2015)
<b>Formação Hilário</b>	“Tem três facies, a vulcânica, conglomerática e pelítica, onde a vulcânica abrange todas as rochas que são resultantes das lavas, especialmente de composição andesítica, sendo subordinados os estados basálticos e dacíticos. A conglomerática é feita por orto e paraconglomerados, arcóseos e arcóseos líticos, onde são resultantes de lavas e sequências piroclásticas. É constituída de depósitos proximais de ambiente com leques aluviais e deltaicos. A facie pelítica contém argilitos, siltitos, litoarenitos e arcóseos, considerada como depósitos de frente deltaica coligado a leques aluviais.” (CPRM, 2000)
<b>Complexo Metamórfico Vacacaí</b>	“Esta unidade compreende uma associação de rochas vulcânicas, vulcanoclásticas e sedimentares, metamorfizadas na fácies xisto-verde, que na literatura é designado de Vacacaí que são associações de filitos, quartzitos, mármore, anfibólio xistos e clorita xistos, juntamente com sequências magnesianas. Este evento intrusivo é atribuído ao Proterozoico Superior.” (CPRM, 1995)

Fonte: A autora

O estudo da geologia de um local é importante, pois define as características do substrato, tipo de solo e as características do meio físico que podem facilitar ou dificultar a infiltração do contaminante no solo. Segundo Bevilacqua (2015, *apud* Aller et al. 1987), a relação entre o potencial de contaminação e o tipo de rocha são interpretados como:

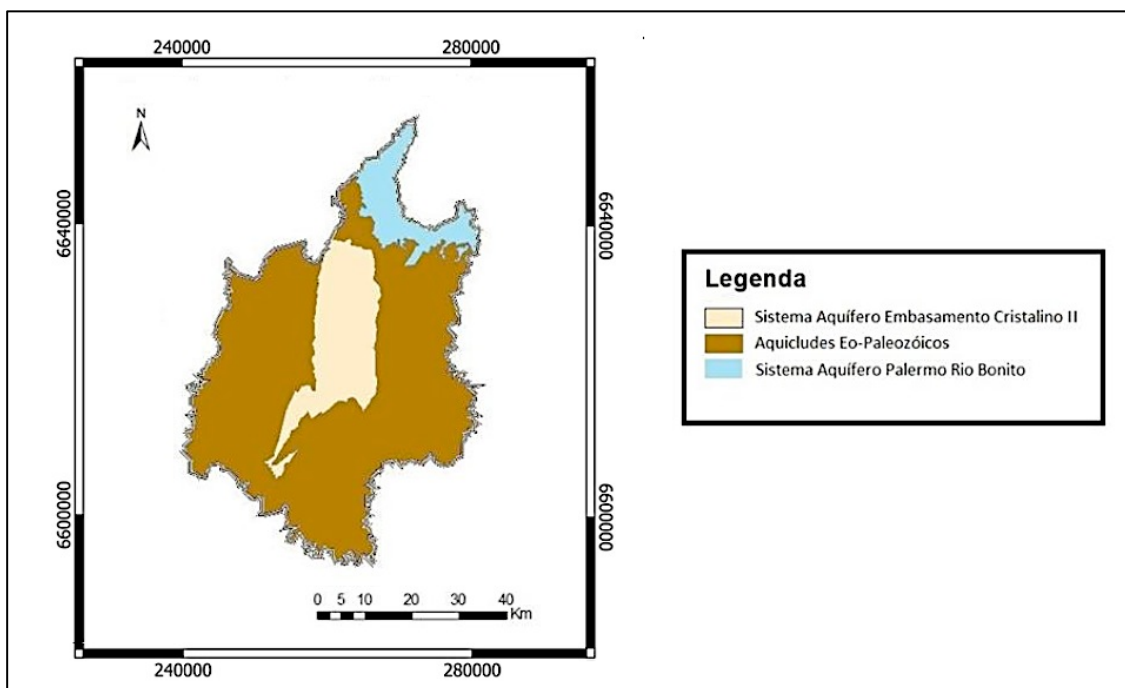
- **Silte/Argila** - Serve como uma barreira para retardar o movimento de fluidos. Um local com bastante argila proporciona um potencial de poluição baixo. Argilas expansivas e siltes podem aumentar o grau de contaminação.
- **Rochas Metamórficas/Ígneas** – Rochas que contém pouca ou nenhuma porosidade primária e que produz água por fraturas, onde a produção de poços é baixa e o potencial de poluição é de acordo com a quantidade e tamanho das fraturas.
- **Rochas alteradas Metamórficas/ Ígneas** – Rochas com materiais inconsolidados resultantes do processo de intemperismo, compostos por regolito ou saprolito, com porosidade primária, permitindo o movimento de líquidos pelas fraturas. O potencial de poluição é de acordo com a quantidade de argila presente, quanto maior a quantidade de argila, mais impermeável e conseqüentemente, menor o potencial de poluição.
- **Arenito maciço** – Rocha consolidada de arenito onde a porosidade é primária e secundária e com camadas mais espessas. O potencial de poluição é de acordo com o grau de fraturamento e a porosidade primária do arenito.
- **Calcário maciço** – É uma formação consolidada de calcário ou dolomito e com camadas mais espessas. O potencial de poluição é de acordo com o grau de fraturamento e pelo número de cavidades que está no interior da formação, onde o potencial de migração de poluentes é alta, pelo grau de fraturamento ser alto.
- **Areia e cascalho** – Contêm uma grande variedade de materiais finos (silte e argila). O potencial de poluição é definido de acordo com a distribuição da granulometria, onde os depósitos mal selecionados têm menor potencial e os depósitos com granulometrias maiores e mais bem selecionados têm um maior potencial.
- **Basalto** – Rocha ígnea extrusiva consolidada, onde possui fraturas, acamamentos e porosidade vesicular. O nível de

poluição é de acordo com a quantidade de aberturas que estão conectadas, mas normalmente é classificado como alto, visto que quando o contaminante entra no sistema de fraturas, é difícil atenuá-lo.

#### 4.1.4 Hidrogeologia

A hidrogeologia da área estudada, de acordo com o Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul, elaborado pela CPRM (2005), está situado sobre os Aquicludes Eo-Paleozóicos, Sistema Aquífero Embasamento Cristalino II e o Sistema Aquífero Palermo Rio Bonito (Figura 14).

Figura 14 - Mapa hidrogeológico do município de Caçapava do Sul



Fonte: A autora (Adaptado de CPRM, 2005)

Aquicludes são formações que podem conter água, mas não transmitem sob condições naturais. Como exemplo, tem-se as formações impermeáveis de camadas de argila (DE SOUZA, 2006).

O Sistema Aquífero Palermo e Rio Bonito, são aquíferos de média a baixa possibilidade para águas subterrâneas em rochas com uma porosidade intergranular, compostos por arenitos finos a médios esbraquiçados,

intercalados por siltitos argilosos e carbonosos de cor cinza escuro intercalados com níveis de carvão. As salinidades variam entre 800 e 1.500 mg/L. Possui águas potáveis com possibilidade de irrigação, porém apenas nas regiões com pequena profundidade. Fora dessas regiões de pequena profundidade são comuns as águas serem intensamente mineralizadas (CPRM, 2005).

O Embasamento Cristalino II é uma denominação dada a rochas graníticas, gnássicas, andesitos, xistos, filitos e calcários metamorfizados que foram afetadas por fraturamentos e falhas. Esta formação apresenta capacidades específicas menores que 0,5 m<sup>3</sup>/h/m. A salinidade das áreas não cobertas por sedimentos marinhos podendo apresentar índices menores de 300 mg/l. Enquanto isso, os poços nas áreas de rochas graníticas, se estende aos municípios de Bagé, Caçapava do Sul, Encruzilhada do Sul e uma parte de Porto Alegre (DE SOUZA, 2006).

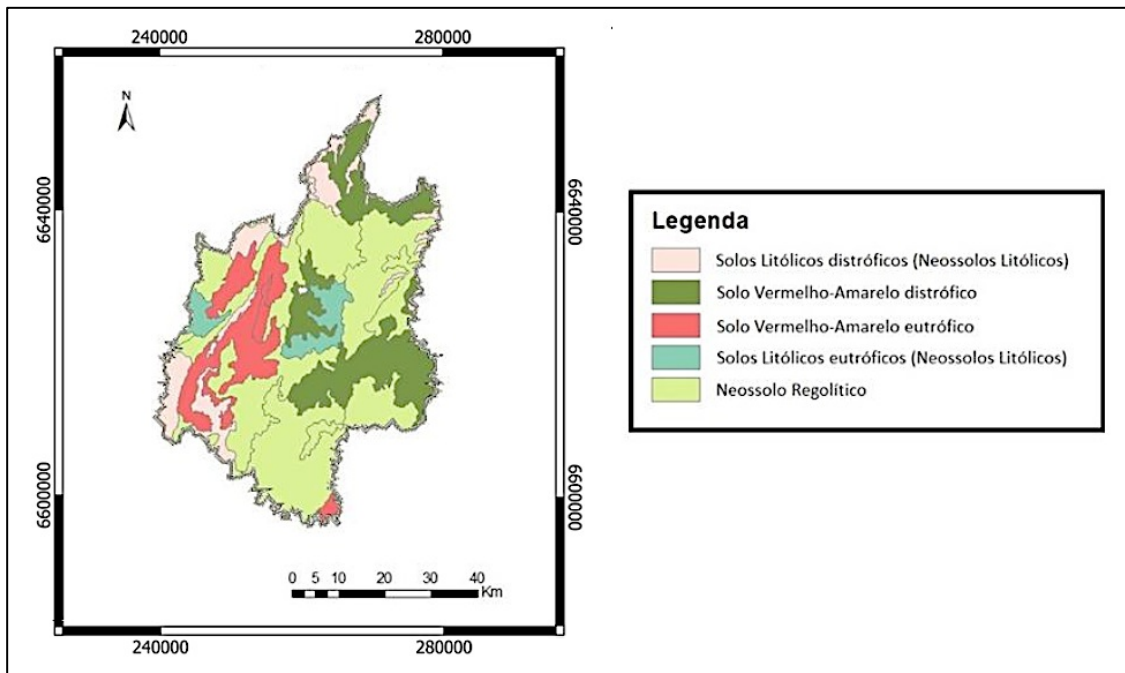
Segundo o mesmo autor, os sistemas da região citada acima são incipientemente fraturados, com uma litologia argilosa, conseqüentemente, são aquíferos de menor importância ou aquícludes. Isso significa que mesmo podendo armazenar água, não são definidos como aquíferos, pois apresentam grande porosidade e baixa permeabilidade, que não permite o fluxo da água.

Geralmente, esses aquíferos possuem uma baixa vulnerabilidade à contaminação e somente em alguns casos bem específicos, como em locais com alta urbanização, ou com uma alta deposição de resíduos sólidos, pode existir algum risco de poluição nos aquíferos (CPRM, 2005). Especificamente, o município de Caçapava do Sul está localizado em aquíferos limitados de baixa possibilidade para água subterrânea, com porosidade intergranular ou por fraturas e aquíferos praticamente improdutivos (CPRM, 2005).

#### *4.1.5 Pedologia*

Devido ao município de Caçapava do Sul se localizar na província pedogenética da Serras do Sudeste, há diversos tipos de solos (Figura 15), como o Neossolo Regolítico e Litólico, em maior quantidade, e o Luvissole, Planosolo, Chernossolo e Argissolo, em sua minoria (STRECK et al. 2008).

Figura 15 - Mapa pedológico do município de Caçapava do Sul



Fonte: A autora (Adaptado de IBGE, 2002)

De acordo com EMBRAPA (2013), o Neossolo é um solo constituído por material mineral ou por material orgânico com pouca espessura, onde há insuficiência de atributos para caracterizar a formação do solo, o qual apresenta evolução limitada devido a maior resistência do material de origem aos agentes intempéricos (clima, relevo e tempo).

Já o Neossolo Litólico é um solo raso, sendo a espessura total dos horizontes sobre a rocha, não é inferior a 50 cm, que é associado aos relevos declivosos (EMBRAPA, 2013). Enquanto, o Neossolo Regolítico é pouco desenvolvido, não hidromórfico e com uma textura arenosa, susceptível à erosão principalmente em locais com declives mais ressaltados (EMBRAPA, 2013). O Argissolo Vermelho-amarelo possui um horizonte diagnóstico B textural, com acúmulo de argila em profundidade e uma diminuição de argila da parte superficial do solo, podendo ser distrófico (que apresenta baixa saturação de bases) ou eutrófico (com alta saturação de bases), sendo, geralmente, de caráter ácido (EMBRAPA, 2013).



## 4.2 Metodologia de avaliação de vulnerabilidade dos aquíferos

Inicialmente uma revisão bibliográfica foi realizada sobre os elementos referentes ao estudo de vulnerabilidade dos aquíferos, abordando parâmetros sobre a dinâmica das águas subterrâneas, meios de contaminação e fatores que influenciam a contaminação. Este enfoque deu partida à aplicação dos métodos GOD e POSH de Foster et al. (2006). Ainda, a proximidade do local influenciou na escolha da área de estudo, em função da facilidade de acesso aos pontos amostrados caso fosse necessário maiores informações.

A consulta bibliográfica permitiu a elaboração de mapas para análise e dissertação sobre a pedologia, geologia, hidrogeologia, topografia e condições climáticas da área de estudo. Após a obtenção dessas informações, foi sumarizado e agrupado para uma melhor visualização. A integração desses dados foi um fator indispensável para a obtenção de um resultado mais consistente.

No presente trabalho foi realizado inicialmente uma revisão bibliográfica sobre os elementos referentes ao estudo de vulnerabilidade de aquíferos, abordando parâmetros sobre a dinâmica das águas subterrâneas, meios de contaminação e fatores que influenciam a contaminação.

Outra etapa da metodologia consistiu em realizar a coleta dos dados na plataforma do SIAGAS, que é um sistema do Serviço Geológico do Brasil, onde são disponibilizados informações sobre água subterrânea, com dados obtidos através de poços cadastrados e atualizados pela CPRM, de módulos onde foi possível realizar consulta, pesquisa, extração e a geração de relatórios. As informações obtidas através do SIAGAS foram: localização de poços, identificação de poços, proprietário, cadastramento, hidrografia, exploração, construtivos de poços, perfuração, revestimento, filtro, pré-filtro, cimentação, litologia, estratigrafia, aquíferos, perfilagem, teste de bombeamento e análise química. Foi utilizado os dados dos poços dos municípios de Caçapava do Sul, São Sepé, Cachoeira do Sul e Lavras do Sul, por serem municípios na divisa da área de estudo e com isso ter uma quantidade maior de dados, melhorando a qualidade do resultado final.

Após a obtenção de todos os dados, foi criado um banco de dados com o uso do programa Google Docs – Planilhas, sendo realizado a interpolação

com todos os fatores levantados (profundidade do solo, nível dinâmico, topografia e nível estático, litologias da zona vadosa e de camadas confinantes e condição do aquífero), analisado pelo (G = grau de confinamento, O = ocorrência de estratos geológicos e D = distância do nível da água) de Foster et al. (2006), onde o índice atribuído para o grau de confinamento da água subterrânea (G), ficou entre 0,0 (fluxos ascendentes jorrantes) até 1,0 (não confinados). Nos valores da ocorrência de estratos que recobrem a zona saturada do aquífero, os índices variam de acordo com o grau de consolidação (sedimentos não consolidados, rochas porosas – consolidadas e rochas densas) e a sua litologia (tipo de rocha), onde foi utilizado um índice de 0,4 para argilas e solos residuais até 1,0 para calcário, calcrete e outras rochas carbonáticas. Para o valor da distância do nível da água (D), foi usado a distância ou profundidade ao nível da água, com uma escala de 0,6 (menor que 50 metros) até 1,0 (todas as profundidades).

“O índice G indica a ocorrência de formações geológicas permeáveis, impermeáveis ou semipermeáveis, que têm influência direta na velocidade de escoamento da água subterrânea. O índice O representa a capacidade de atenuação natural dos estratos de cobertura do aquífero, considerando o grau de consolidação das partículas e a capacidade de retenção físico-química ou da capacidade de reação dos contaminantes com o meio. E, por fim, o índice D denota a distância natural da água à superfície do terreno, também denominada nível estático. Essa distância, portanto, está livre de interferências instantâneas relacionadas à variação do nível, tais como o bombeamento. Em termos matemáticos, a vulnerabilidade é inversamente proporcional ao confinamento, ao nível estático e à consolidação e capacidade de reação dos estratos de cobertura.” (TAVARES et al. 2009)

Depois desses valores estabelecidos, multiplicou-se os valores em uma planilha para o resultado dos índices de vulnerabilidade de cada poço. Na elaboração dos mapas, foi feita uma interpolação dos dados utilizando o software Quantum Gis 2.18 com as coordenadas do tipo Sistema Universal Transversal de Mercator-UTM, Datum SIRGAS 2000.

Também foi utilizado o método POSH (*Pollutant Origin and its Surcharge Hydraulically*) de Foster et al. (2006), para classificar as fontes de geração de carga contaminante considerando o tipo de atividade, a sua capacidade de gerar um contaminante e a carga hidráulica do contaminante. No município de

Caçapava do Sul as principais atividades potencialmente poluidoras, classificadas de reduzido a elevado, de acordo com o método POSH, são:

Mineração, frigorífico, oficinas mecânicas, postos de combustíveis e cemitérios, sendo cargas pontuais (geração do contaminante e em um local específico). Os efluentes domésticos e o uso e ocupação do solo são classificados como cargas contaminantes difusas (não há um ponto de geração específico do contaminante).

Foram classificados e coletados todas as coordenadas e informações sobre esses locais onde pode haver alguma fonte de contaminação e com isso, foi analisado de acordo com o método POSH de Foster et al. (2002), no qual foi possível definir o potencial de vulnerabilidade dos diversos pontos do município e informar, por meio de mapas, sobre os perigos de contaminação das águas subterrâneas.

Primeiramente foi utilizado o software Google Earth para pontuar as coordenadas dos estabelecimentos onde foram aplicados o método POSH e em seguida foi utilizado o *software* Quantum Gis 2.18 utilizando como base as coordenadas UTM para a criação do mapa, com os valores variando de 1 (baixo) até 3 (alto), interpolando os dados e com isso foi definido uma área de contaminação de acordo com os pontos importados. Os poços georreferenciados foram espacializados no *software* QGis 2.18 e interpolados com o método IDW, *Inverse Distance Weighting* (Inverso do Quadrado da Distância, da tradução do inglês). Para fazer a ponderação, foi utilizado o coeficiente de ponderação, onde se controla como a influência da ponderação vai diminuir de acordo com distância a partir do ponto desconhecido aumenta, ou seja, aumentando o valor do coeficiente, mais próximo o valor dos pontos desconhecidos será dos outros pontos vizinhos. Foi utilizado o coeficiente de ponderação de valor 6, valor mais utilizado por Mano (2011).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Método GOD

O índice atribuído para o grau de confinamento da água subterrânea (G), variou entre 0,0 (fluxos ascendentes jorrantes) e 1,0 (não confinados). A espessura do solo nesse caso também influenciou no índice (Tabela 9), onde os valores estabelecidos foram baseados de acordo com Foster et al. (2002). Em casos onde o nível freático está bem próximo da superfície, o valor do índice G aumentou, pois a pequena distância de deslocamento do contaminante até o lençol freático facilita a infiltração do contaminante e oferece maior risco de contaminação das águas subterrâneas.

Tabela 9 - Definição dos valores atribuídos no parâmetro G de acordo com as propriedades do local

<b>Propriedades</b>	<b>Valor aproximado</b>
Nível freático próximo á superfície	+ 0,4
Nível freático profundo	- 0,2
Formação rochosa com fissuras	+ 0,1
Camada de solo siltoso	+ 0,3
Camada de argila	- 0,2

Fonte: A autora

Outro fator que influenciou na classificação dos dados da variável G, foram as camadas de solo arenoso, que facilitam a percolação do contaminante no subsolo, onde foram atribuídos maiores valores aos índices. Em contrapartida, espessas camadas de argila, que tornam o aquífero confinante, devido a capacidade de atenuação desse substrato, receberam valores menores. No parâmetro G foram identificados 13 poços, que foram classificados como aquífero livre (não confinado), 11 como confinado e 20 como não confinado (coberto).

Para definição dos índices do parâmetro O, foi analisado cada tipo de formação, tipo de rocha e solo presente no local. Foram analisados 22 poços formados pelo Complexo Granito-gnaissico, 5 poços com a Formação Hilário (

associados à rochas vulcânicas, sedimentares, andesitos, argilitos e siltitos), 1 poço com a Formação Palermo, 5 poços com a Formação Rio Bonito, 3 poços com a Formação Rio do Rasto, 4 poços com a Formação Guaritas, 1 poço com a Formação Rosário do Sul e 3 poços com o Grupo Santa Bárbara.

Na avaliação da variável O, que são os valores da ocorrência de estratos que recobrem a zona saturada do aquífero, obtiveram índices que variaram de acordo com o grau de consolidação (sedimentos não consolidados, rochas porosas – consolidadas e rochas densas) e a sua litologia (tipo de rocha). Para parâmetro foram utilizados índices de 0,4 para argilas e solos residuais até 1,0 para calcário, calcrete e outras rochas carbonáticas. Ainda, as formações rochosas com fissura, que facilitam a percolação e infiltração do contamineante através das fissuras, receberam índice mais elevado. Os índices variaram de 0,6 até 0,9, calculado de acordo com a sua composição conforme apresentado na Tabela 10, baseado nos valores de Foster et al. (2002).

Tabela 10 - Definição dos índices referentes à variável O, segundo as formações geológicas

<b>Formação geológica</b>	<b>Índice</b>	<b>No. Poços</b>	<b>Características</b>
Formação Rio Bonito	0,6	5	Arenitos, Siltitos e Folhelhos
Formação Rosário do Sul	0,7	1	Arenitos, Argilitos e Lamitos
Formação Palermo	0,7	1	Siltitos e Argilitos
Formação Rio do Rasto	0,8	3	Arenitos, Siltitos e Argilitos
Grupo Guaritas	0,8	4	Arenitos
Formação Hilário	0,8	5	Argilitos e Siltitos
Grupo Santa Bárbara	0,9	3	Arenitos e Calcário
Complexo granito-gnaissico	0,9	22	Granito

Fonte: A autora

Para o valor da distância do nível da água (D), foi usado a distância ou profundidade ao nível da água, com uma escala de 0,6 (menor que 50 metros) até 1,0 (todas as profundidades).

No parâmetro D foram atribuídos índices de acordo com o nível estático (distância da superfície do terreno ao nível da água dentro do poço), utilizando os valores do método de Foster et al. (2006), mostrado na figura 10. Para avaliação desta variável, foram analisados 18 poços, que apresentavam profundidade de nível estático menores que 5 metros (que receberam valor de 1,0), 17 poços com profundidade entre 5 e 20 metros, (aos quais foi atribuído índice de 0,8), 8 poços entre 20 e 50 metros de profundidade (que receberam índice 0,6) e 2 poços com profundidade superior a 50 metros (que receberam índice de 0,4).

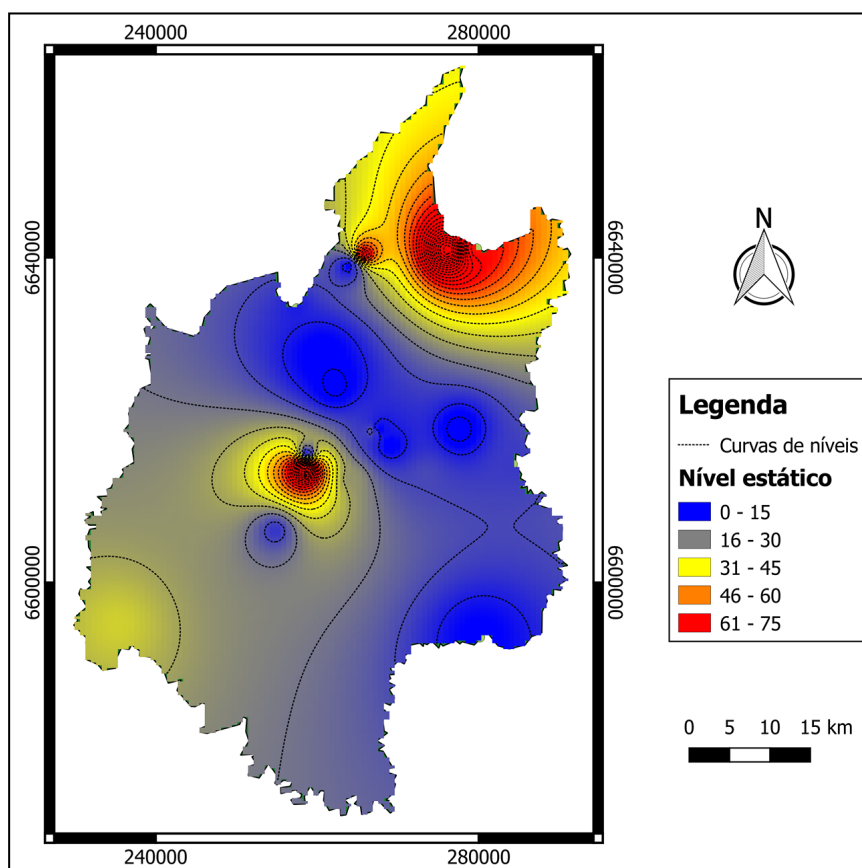
Como dito anteriormente, os valores estabelecidos nas variáveis do método GOD foram multiplicados entre eles em uma planilha para a elaboração dos mapas. Os índices foram espacializados no *software Quantum Gis 2.18* e interpolados com o método *IDW - Inverse Distance Weighting* (Inverso do Quadrado da Distância, da tradução do inglês). Ainda foi utilizado o coeficiente de ponderação de valor 6, que é o valor mais indicado por Mano (2011). Este parâmetro controla como a influência da ponderação vai diminuir de acordo com distância, a partir do ponto desconhecido aumenta, ou seja, aumentando o valor do coeficiente.

Para classificação final do índice de vulnerabilidade à contaminação do município de Caçapava do Sul, foram elaborados o mapa de nível freático, os mapas referentes a cada variável (G, O e D) e o mapa conceitual referente ao município de Caçapava do Sul. Todos os cálculos e valores utilizados de acordo com a respectiva característica de cada poço do SIAGAS estão nos apêndices A até F.

### 5.1.1. Mapa de nível estático

Este parâmetro representa a distância da superfície até o lençol freático, sendo um fator indispensável para se obter uma das variáveis (Figura 16).

Figura 16 - Mapa de nível estático do município de Caçapava do Sul



Fonte: A autora

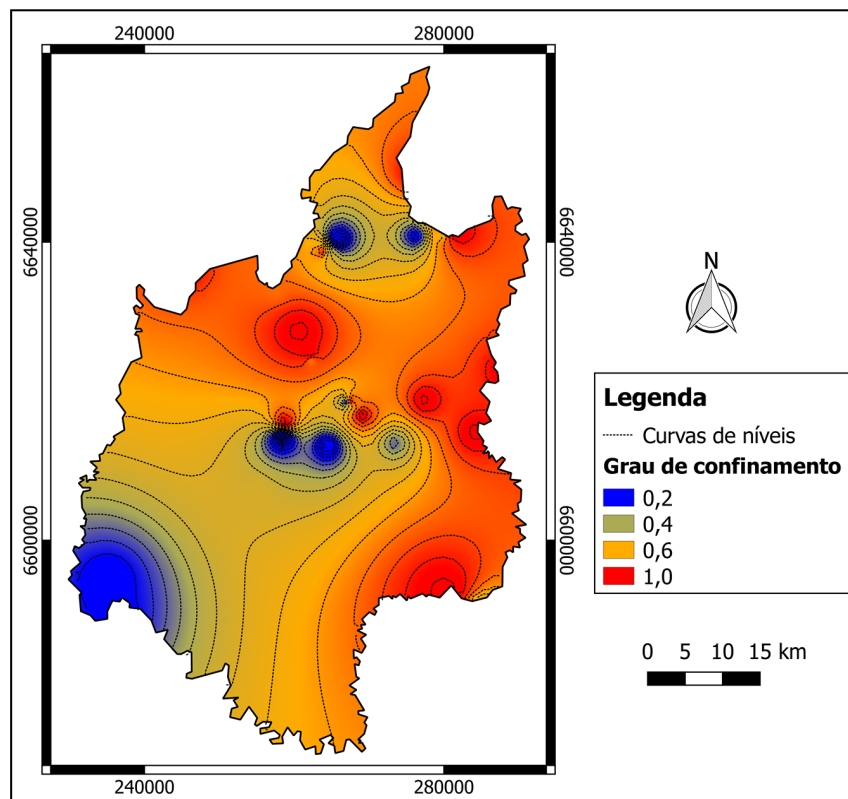
O referido mapa aponta que as maiores profundidades deste parâmetro (até 75 metros) são encontradas na porção norte/nordeste e em uma pequena área da região central do município. E as menores profundidades (0 – 15 metros) se localizam nas regiões noroeste, central e sudeste.

Quanto mais próximo, o nível freático da superfície, mais fácil e rápido, uma substância contaminante pode alcançar o aquífero, com exceção de pontos com surgência de água, onde esse risco de contaminação pode ser descartado (BLASIUS, 2016). Portanto, considerando os dados apresentados neste tópico, as regiões mais suscetíveis à contaminação são a porção central e sudeste do município.

### 5.1.2. Mapa do Grau de Confinamento da água subterrânea (G)

A Figura 17 apresenta a avaliação da variável G, segundo o método de Foster et al. (2006), que é de acordo com o tipo de aquífero do local, podendo ser confinado, semi-confinado e não confinado (livre).

Figura 17 - Mapa referente ao grau de confinamento das águas subterrâneas de Caçapava do Sul (G)



Fonte: A autora

É possível observar que o município estudado apresentou poucas áreas, destacadas em azul no mapa, que correspondem a poços localizados em áreas com grau de confinamento do aquífero classificado como confinado ou com fluxo ascendente (índice = 0,2). Cabe ressaltar que nenhum poço cadastrado na plataforma do SIAGAS, apresentava descrição de poço com fluxo de água ascendente ou jorrante. Portanto, esses locais condizem com porção do aquífero confinado.

Os aquíferos não-confinados (livres) são mais vulneráveis do que os confinados ou semi-confinados, pois o aquífero livre não possui as duas



camadas impermeáveis. Uma camada confinante representa uma camada impermeável que restringe a circulação de água no aquífero (BEVILACQUA, 2015). Os aquíferos porosos são mais resistentes dos que os fissurais, em razão do poro retardar a velocidade do contaminante até o aquífero, já as fissuras conseguem chegar diretamente até o mesmo, não havendo obstáculos como os poros (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2015).

Nas porções central e sudoeste foram destacados valores de 0,4 para o grau de confinamento, que representam o aquífero semiconfinado. Esta classificação incluiu aquíferos confinados, mas que possuem uma fina camada de solo e portanto, devem apresentar um comportamento diferenciado destes.

Nas porções norte, central e sudeste possuem índices com valor igual a 0,6, que sinalizam a presença de um aquífero não confinado. Esta classificação se mostra bem representativa no mapa de Caçapava do Sul, refletindo as características pedológicas da região, que apresentam solos rasos, onde não oferecem boa capacidade de atenuação dos contaminantes.

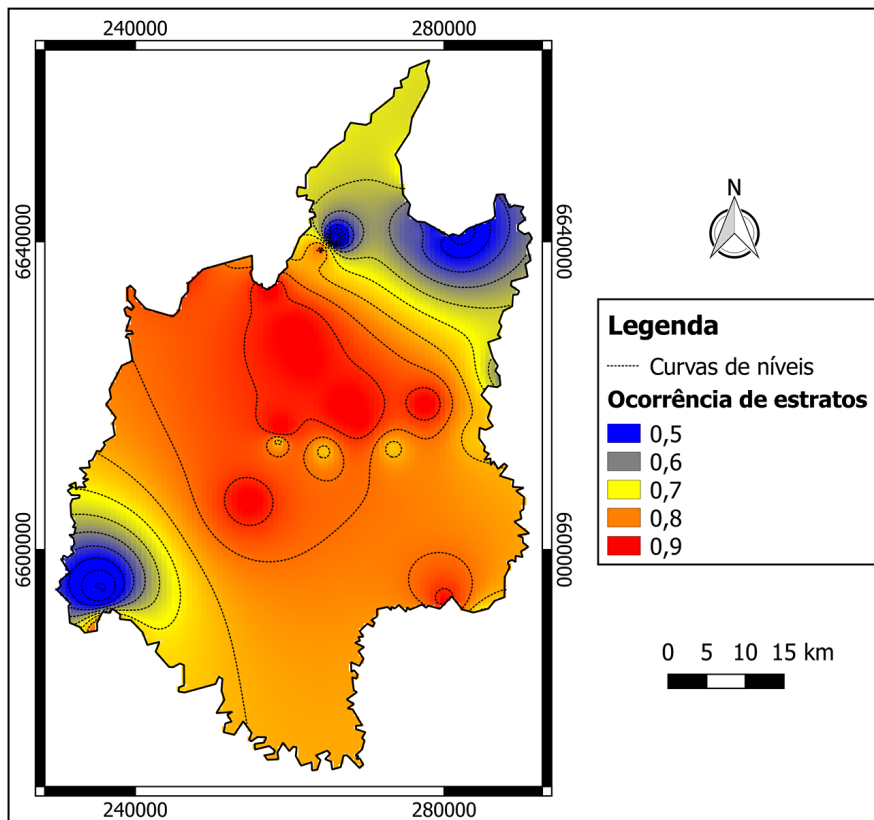
Os maiores valores para o grau de confinamento (1,0) são encontrados nas porções nordeste, noroeste e sudoeste. Este índice reflete os aquíferos classificados como livres ou não confinados. São essas áreas, que se avaliadas somente por esse parâmetro, apresentam maior vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas. A média dos índices G dos poços é de 0,87, que caracteriza uma vulnerabilidade extrema em relação à contaminação do aquífero, de acordo com esse fator.

### *5.1.3 Mapa da Ocorrência de estratos (O)*

A ocorrência de estratos do aquífero mostra o tipo de rocha encontrada que cumpre a função do aquífero, produzindo grande quantidade de água para uso, dentro dos poros de rochas cársticas e granulares, rochas com fraturas e outros em outros locais nas rochas não granulares e não cársticas (BEVILACQUA, 2015).

Na Figura 18, os menores índices para o parâmetro ocorrência de estratos (0,5) são destacados nas porções norte e sudoeste de Caçapava do Sul. Este valor se refere a presença de formações com silte, xisto e lamito.

Figura 18 - Mapa de ocorrência de estratos (O) referente a formação geológica de Caçapava do Sul



Fonte: A autora

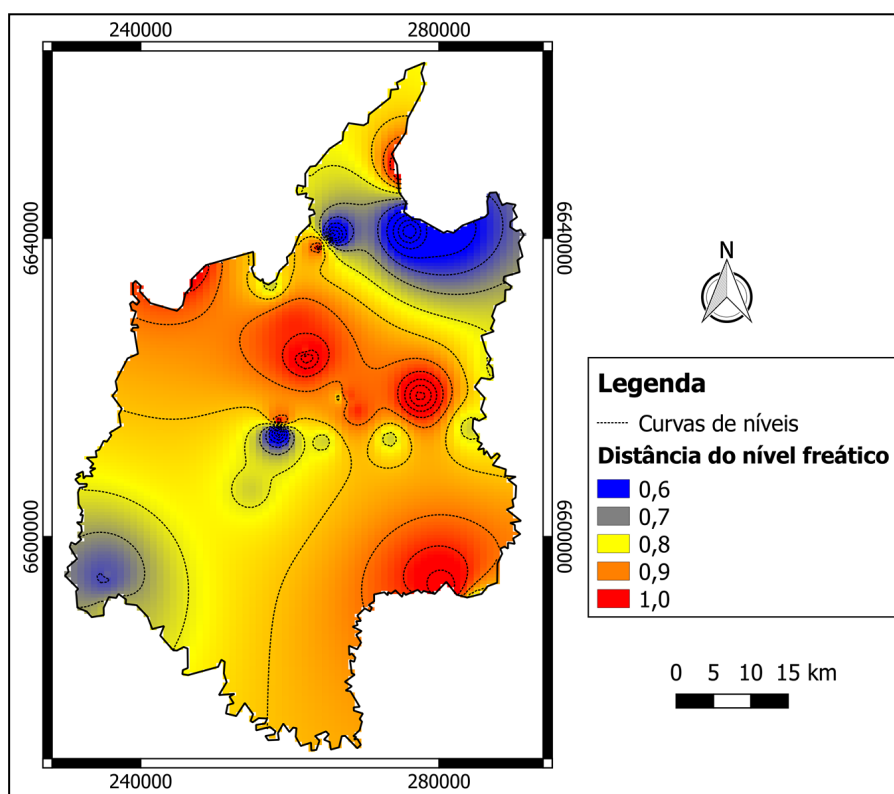
Nestas mesmas regiões ainda é encontrado estratos que rebereram valores de 0,6 e 0,7, que indicam formações magmáticas, metamórficas e vulcânicas antigas. Em geral, essas formações apresentam rochas fraturadas e fissuradas que facilitam a infiltração e percolação dos contaminantes ao nível freático (HIRATA, 2008).

Os maiores valores atribuídos aos estratos (0,8 e 0,9) se concentram nas porções central, sudoeste e noroeste, que condizem com locais com presença de cascalhos, leques aluviais, formações de arenito e calcarenito. Devido a essas características geológicas, essas são as regiões que apresentam as piores condições para atenuação de possíveis contaminações. A média dos índices O dos poços é de 0,80, que caracteriza uma vulnerabilidade extrema de contaminante no aquífero, de acordo com esse fator.

#### 5.1.4 Mapa de profundidade do Nível freático (D)

Na Figura 19 é apresentado o mapa de profundidade do nível freático. É possível observar que índices de 0,6 e 0,7 que representam poços com profundidades maiores que 50 metros, e de 20 a 50 metros, respectivamente, estão localizados nas regiões norte e centro-sul.

Figura 19 - Mapa da distância do nível freático (D) até a superfície



Fonte: A autora

Locais com profundidade entre 5 e 20 metros, que receberam índice de 0,8, são encontrados nas porções norte, nordeste, centro-sul e sudoeste. Enquanto, regiões que apresentaram índice de 0,9 e 1,0, correspondem a poços com distância do nível freático à superfície, praticamente rasos, menor que 5 metros. A média dos índices D dos poços é de 0,83, que caracteriza uma vulnerabilidade extrema de contaminante no aquífero, em relação a esse fator.

A distância do nível freático e o tipo de aquífero, são fatores que facilitam a vulnerabilidade de um aquífero, principalmente em aquíferos livres subsuperficiais, por meio de lixiviação e remobilização de químicos e

fertilizantes excedente no solo até a zona saturada, que está localizada em uma pequena profundidade, facilitando o contaminante infiltrar no solo (PARALTA et al. 2006).

De acordo com Saito et al. (2006), quanto mais distante está o nível freático da superfície, menor é a probabilidade de contaminação do aquífero. Isso ocorre porque, geralmente, o meio geológico e a presença de solo espesso, dificultam a percolação e infiltração do contaminante até as águas subterrâneas (restringindo o movimento do solo). Então pode-se dizer que, locais que apresentam pouca profundidade de nível freático são mais vulneráveis à contaminação, pois uma substância contaminante atinge as águas subterrâneas mais facilmente e rapidamente.

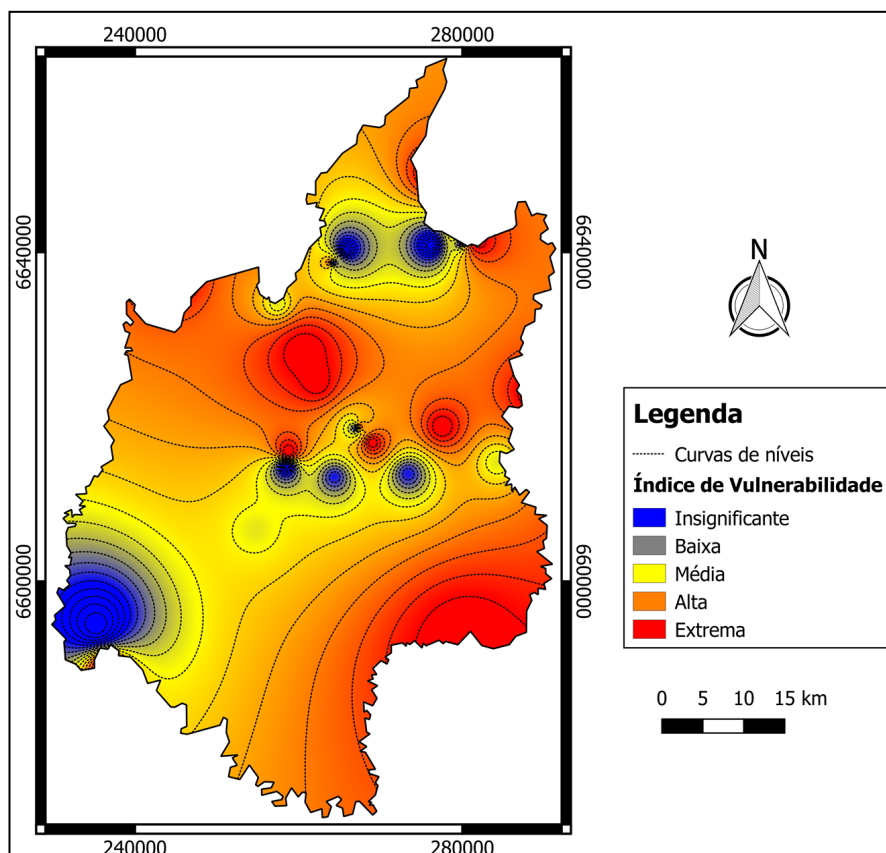
De modo geral, o município estudado apresenta maiores índices de profundidade de nível freático raso e isso incita à elevada susceptibilidade de contaminação do solo e dos aquíferos desse território.

#### *5.1.5 Mapa de Índice de Vulnerabilidade*

A partir da multiplicação dos parâmetros avaliados de acordo com os poços do SIAGAS (G, O e D), foi gerado o mapa do índice de vulnerabilidade do município de Caçapava do Sul (Figura 20).

Nota-se que os índices de vulnerabilidade classificados como insignificante e baixa concentram-se nas regiões norte e centro sul, que correspondem a locais que apresentam as maiores profundidades de nível freático e refletem a menor vulnerabilidade à contaminação, em vista deste fator, que é associado também à formação hidrogeológica dos locais. Próximos a essas porções são encontradas áreas com vulnerabilidade média. Pode-se dizer através do mapa, que aproximadamente 25% é classificado como extrema, 30% como alta, 30% como média, 5% como baixa e 10% insignificante. A média dos índices de vulnerabilidade dos poços é de 0,68, que caracteriza uma vulnerabilidade alta de contaminante no aquífero.

Figura 20 - Mapa do índice de vulnerabilidade de acordo com o método GOD



Fonte: A autora

As classificações de vulnerabilidade mais preocupantes (alta e extrema) são destacadas nas regiões norte, nordeste, noroeste e sudoeste, que correspondem, relativamente, com locais com nível freático raso, solos menos espessos, aquíferos com características não confinantes e ocorrência de estratos que oferecem pouca capacidade de detenção de compostos contaminantes. A área urbana está em uma zona de vulnerabilidade alta e extrema, assim como as minas de calcário que estão em uma zona de alta e média vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas, agravando a situação, pois essas atividades são potenciais poluidoras e com isso é necessário um maior estudo, principalmente nas áreas de alta e extrema vulnerabilidade, de acordo com a sua atividade.

De modo geral, nota-se no município estudado, a predominância das classes de vulnerabilidade extrema, média e alta. Esta classificação reflete diretamente as características do substrato geológico, que apresenta formações

rochosas fraturadas e fissuradas, que podem apresentar condições que facilitam a entrada de contaminantes até as águas subterrâneas.

De acordo com Germano (2008) e conforme a predominância de classes de vulnerabilidade média, alta e extrema, a área do município de Caçapava do Sul é vulnerável a muitos contaminantes, incluindo os que se degradam rapidamente, os pouco móveis e pouco resistentes e também os que são introduzidos continuamente no solo. Pode-se utilizar de exemplo os pesticidas catiônicos, metais pesados, não associados à elevada carga orgânica ou em condições de pH e EH extremas, bactérias, vírus, compostos aromáticos e hidrocarbonetos clorados e não-clorados.

Portanto, este município necessita de atenção dos órgãos gestores para manutenção da qualidade dos recursos naturais da região, sendo necessário uma maior ação para se prevenir, fiscalizar e remediar todas as áreas que estão vulneráveis à contaminação.

## **5.2 Método POSH**

O método POSH foi aplicado para classificar as fontes de geração de carga contaminante considerando o tipo de atividade, a sua capacidade de gerar um contaminante e a carga hidráulica do contaminante.

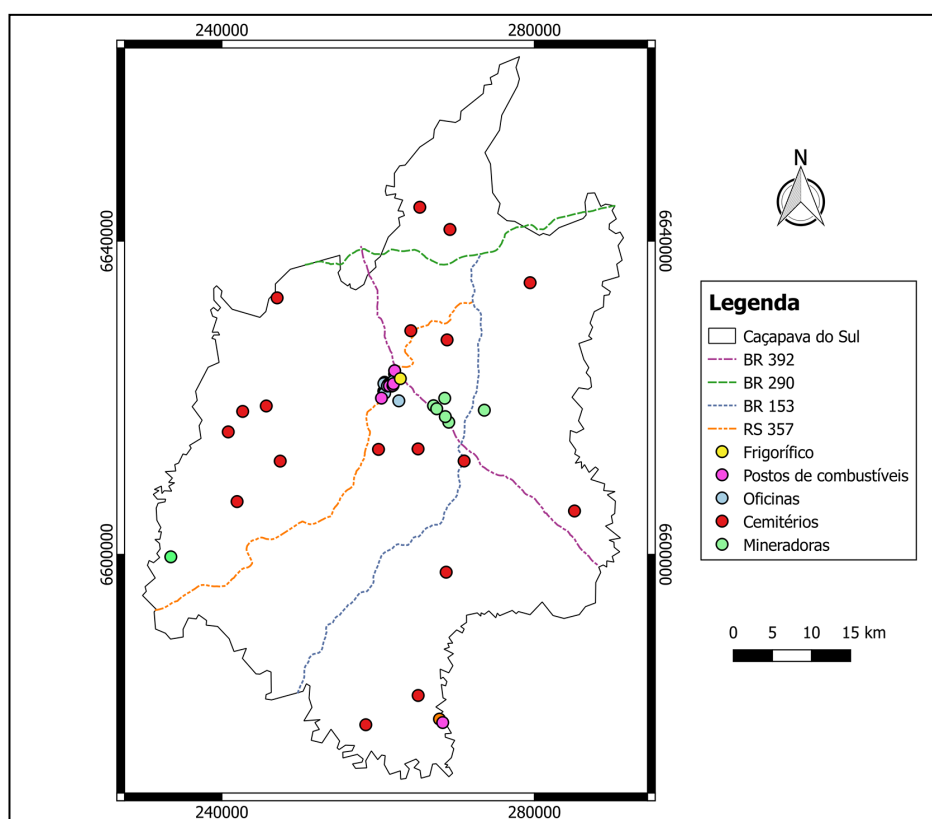
No município de Caçapava do Sul, foram encontrados 48 empreendimentos desenvolvem atividades indicadas como potencialmente poluidoras, de acordo com o método POSH de Foster et al. (2006). Para melhor avaliação e visualização das informações do município, os resultados foram separados em fontes de contaminações pontuais e difusas, e seu resultado foi em relação a carga potencial à contaminação, que variou de reduzido até elevado. Estas atividades representam cargas pontuais, em que a geração do contaminante se encontra em um local específico, sendo categorizadas de acordo com seu potencial de contaminação em:

- 7 empresas de mineração (carga pontual – moderado – índice 2);
- 1 frigorífico (carga pontual – elevado – índice 3);
- 17 oficinas mecânicas (carga pontual – elevado – índice 3);
- 4 postos de combustíveis (carga pontual – moderado – índice 2);

- 18 cemitérios (carga pontual - reduzido – índice 1);

As cargas pontuais são destacadas na Figura 21, que apresenta índices de vulnerabilidade igual a 1, dispersos por todo território municipal. Este índice é associado aos 18 cemitérios existentes no município.

Figura 21 - Mapa do índice de vulnerabilidade de acordo com o método POSH – cargas pontuais



Fonte: A autora

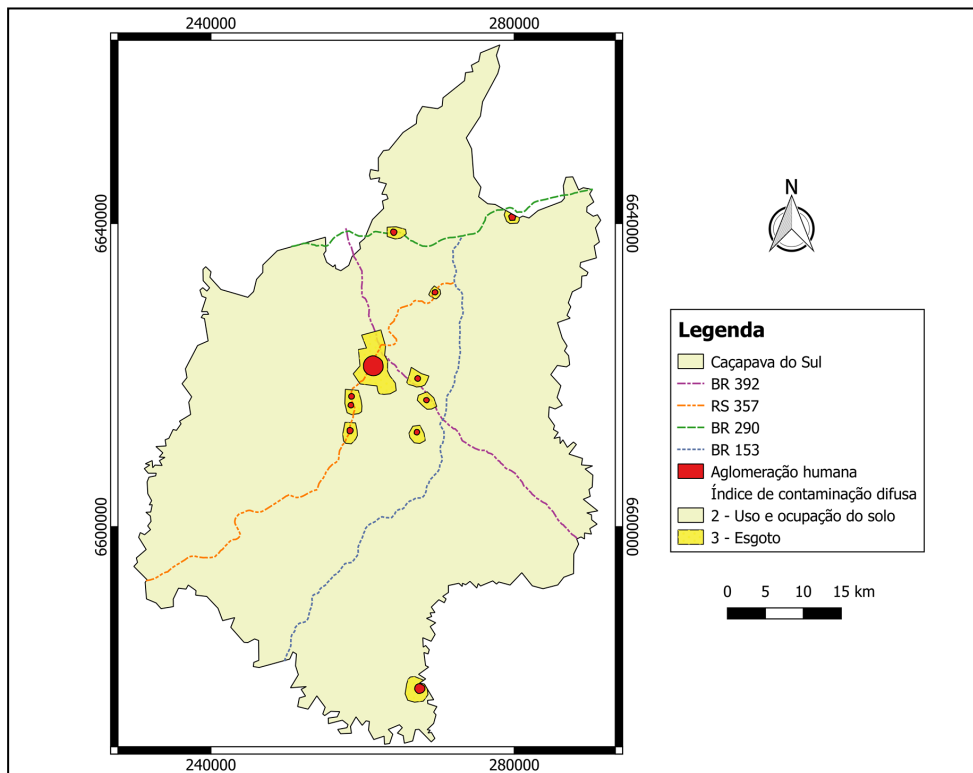
Nota-se que índices de valor 2 são encontrados na área urbana e porção sudeste (região de Minas do Camaquã), refletindo a presença de postos de combustíveis nesses locais. Enquanto, índices de valor 3, associados a 1 frigorífico e 17 oficinas mecânicas, que se concentram na área urbana municipal.

Na Figura 22 são apresentados os índices de vulnerabilidade à contaminação por cargas difusas, com base em dois critérios: Efluentes domésticos e uso e ocupação do solo.

Em relação as fontes difusas de contaminação, os índices foram categorizados como:

- Efluentes domésticos (carga difusa – elevado – índice 3);
- Uso e ocupação do solo (carga difusa – moderado – índice 2).

Figura 22 - Mapa do índice de vulnerabilidade de acordo com o método POSH – cargas difusas



Fonte: A autora

No mapa foram destacados as áreas com aglomeração humana e sua área de influencia de acordo com a extensão da cidade e das vilas distribuídas pelo município. As áreas adjacentes às aglomerações humanas foram classificadas com classe de vulnerabilidade 3, correspondente com elevado índice, referentes ao despejo de efluentes sem tratamento.

Segundo o Plano de Saneamento da Prefeitura Municipal de Caçapava do Sul, no município não há tratamento de efluentes domésticos, somente coleta e afastamento através da rede geral ou pluvial. Tais dados são melhor visualizados na Tabela 11, que apresenta os tipos de esgotamento sanitário no município. Com a falta de coleta e tratamento, o efluente é despejado direto no



corpo hídrico e no solo, contaminando o solo e posteriormente as águas subterrâneas.

Tabela 11 - Tipo de esgotamento sanitário em percentual de domicílios

Tipo de Abastecimento	Zona Urbana (%)	Zona Rural (%)
Rede Geral ou Pluvial	59,86	0,34
Fossa Séptica	7,38	5,76
Fossa Rudimentar (sumidouro)	29,68	82,98
Outra forma	2,82	7,73
Sem banheiros ou sanitários	0,26	3,19

Fonte: Prefeitura Municipal de Caçapava do Sul (2013)

As demais áreas, com maior representatividade territorial (cerca de 95%), foram classificadas com índice de vulnerabilidade moderada, que é associada às atividades de uso e ocupação do solo, onde se destaca a agricultura e pecuária. Ainda, o Plano de Saneamento da Prefeitura Municipal (2013) destaca que há 4.691 propriedades rurais, que abrangem 288.433,80 ha (2884 km<sup>2</sup>) e ocupam, aproximadamente, 95% da área total do município. Os rebanhos efetivos no município são de 256.877 cabeças de bovinos, 7.614 de equinos, 95.550 de ovinos e 3.293 de caprinos.

De áreas plantadas, são 7.000 ha de soja, 4.000 ha de arroz, 2.000 ha de milho, 1.100 ha de feijão, 350 ha de aveia e 180 ha de trigo, totalizando 14.630 ha de plantações (146,3 km<sup>2</sup>). A atividade florestal do município é representado por 3 indústrias e pequenos proprietários que utilizam para consumo próprio. Sendo utilizadas no plantio as seguintes espécies: *Eucalyptus spp* (eucalipto) e *Acacia mearnsi* (acácia-negra) com as respectivas áreas plantadas, 15.000 ha e 500 ha, que juntas totalizam 15.550 ha (155,5 km<sup>2</sup>). Considerando as características da agricultura, pecuária e atividade florestal no município, definidos por pequenas propriedades, com uso de agroquímicos e baixo emprego de irrigação, a carga contaminante está enquadrada como moderada pelo método POSH.

Pode-se concluir que o maior potencial de contaminação está concentrado na zona urbana da cidade, pela quantidade de postos de combustíveis e falta de esgotamento sanitário.

### 5.3 Comparação entre outros trabalhos com o método GOD e POSH

Alguns trabalhos foram feitos no estado do Rio Grande do Sul utilizando o método GOD e POSH, como o trabalho de Brito (2013), onde foi feita uma avaliação do perigo de contaminação da água subterrânea por fontes pontuais na macrozona cidade radiocêntrica de Porto Alegre. Houveram diversas semelhanças com o presente trabalho. Foi utilizado o método GOD em 143 poços do SIAGAS, o triplo que foi encontrado no município de Caçapava do Sul. A predominância foi os aquíferos livres, e na geologia o granito-gnaiss no município de Caçapava do Sul. Também foi utilizado as variações de índice de acordo com o tipo de solo. A distância da superfície até o aquífero foi maior que 50 metros, influenciou o índice de vulnerabilidade do local, classificado de insignificante até alta (0,1 até 0,6), mas com a predominância da vulnerabilidade baixa. No método POSH, foram classificados os empreendimentos com fontes pontuais como no presente trabalho, exceto as indústrias. Porém não houve a utilização das fontes difusas no trabalho de Brito (2013). Já no presente trabalho, foi utilizado o esgotamento sanitário e uso e ocupação do solo, de acordo com Foster et al. (2002). Os valores dos índices POSH foram os mesmos, e as fontes também foram classificadas como elevado.

Pinheiro et al. (2015) aplicou o método GOD e POSH para determinação da vulnerabilidade e perigo à contaminação dos aquíferos da cidade de Santa Maria, onde foi analisado 36 poços do SIAGAS. O tipo de solo da cidade de Santa Maria é semelhante o do município de Caçapava (Neossolo Litólico, Neossolo Regolítico, Argissolo Vermelho-amarelo), porém a formação geológica é um pouco diferente. O autor observou que 90% dos poços foram perfurados ilegalmente, podendo estar contaminados por coliformes fecais. A maioria dos poços tem seus aquíferos classificados como confinados. A distância do lençol freático até a superfície são maiores que 50 metros, diferentemente do município de Caçapava do Sul. O índice de vulnerabilidade foi em sua maioria insignificante ou baixa e em nenhum poço foi classificado como extrema. No método POSH foi avaliado como fontes pontuais de contaminação foram os postos de combustíveis e atividades industriais (como

analisado no presente trabalho). As fontes potenciais de contaminação difusa foram efluentes domésticos, que somente 48% é tratado, sendo que no município de Caçapava do Sul o efluente doméstico não é tratado.

O trabalho de Lima (2014), teve como objetivo a análise da vulnerabilidade dos aquíferos em Bento Gonçalves. Pode-se perceber a grande quantidade de postos de gasolina e oficinas mecânicas, como no município de Caçapava do Sul. Também pode-se perceber os mesmos problemas de falta ou baixa porcentagem de esgotamento sanitário e o uso e ocupação do solo em relação à agricultura e pecuária, que apresenta uma porcentagem alta no município. Nota-se que são características do estado do Rio Grande do Sul, e que é necessário observar, resolver e proporcionar melhorias nesses aspectos para uma melhor gestão do solo e conseqüentemente dos recursos hídricos do estado.

Os resultados alcançados neste trabalho foram compatíveis com outro trabalho que foi elaborado no município de Caçapava do Sul. Silva et al. (2017), onde analisou a vulnerabilidade do aquífero nas proximidades do cemitério municipal, utilizando o método GOD. Os resultados do índice de vulnerabilidade foram similares ao presente trabalho, variando de alta até extrema. Nesse trabalho foi cadastrado novos poços e utilizaram 29 poços da plataforma do SIAGAS. Também foi descoberto um poço dentro do cemitério, e também conclui-se que os cemitérios não estão de acordo com as normas ambientais vigentes, faltando uma melhor impermeabilização do solo, e com isso, agravando o risco à contaminação das águas subterrâneas. Semelhante ao presente trabalho, houve uma grande área com extrema vulnerabilidade.

Terra et al. (2016) estimou a vulnerabilidade natural à contaminação do aquífero no município de São Sepé, utilizando o método GOD em 13 poços do SIAGAS. Com formações geológicas semelhantes ao município de Caçapava do Sul, como o Complexo Metamórfico Vacacaí, Formação Palermo e Rio Bonito. A hidrogeologia também é semelhante, possuindo o sistema aquífero cristalino II. Os valores de vulnerabilidade do município ficaram em 44,56% da área classificados como baixa, seguida da classe média, com 39,33%.

O trabalho de Kemerich et al. (2010) analisou a contaminação das águas subterrâneas em torno de cemitérios no município de Santa Maria, utilizando o método GOD, utilizando 21 poços do SIAGAS, onde a sua maioria foi

classificado como confinado, diferente do município de Caçapava do Sul, diminuindo o valor dos índices de vulnerabilidade da área, variando de insignificante á baixa no município de Santa Maria. Pode-se perceber que mesmo sendo cidades próximas, suas características geológicas e litológicas não são semelhantes, podendo variar bruscamente a sua vulnerabilidade de aquífero.

## **6 CONCLUSÃO**

De acordo com a metodologia GOD e POSH, adaptada de Foster et al. (2006) foi possível levantar as áreas que apresentam condições de vulnerabilidade no município de Caçapava do Sul. O conhecimento das características hidrogeológicas, litológicas e pedológicas foram de extrema importância para a análise e diagnóstico de vulnerabilidade das águas subterrâneas no município.

O método GOD apresentou índices de vulnerabilidade média, alta e extrema com predominância na zona urbana e de mineração, provavelmente associada à geologia local, que é composta por formações rochosas fraturadas e fissuradas, além da presença de solo pouco espesso, com características que facilitam a percolação e infiltração de compostos com potencial contaminante. Ainda, foi destacado a baixa profundidade do nível freático presente em grande parte do município, que não funciona como uma barreira natural para atenuação dos contaminantes, dispondo de modo rápido e fácil, as águas subterrâneas.

Pela aplicação do método POSH foi verificado que as atividades com um maior potencial de poluição por cargas pontuais no município são as oficinas mecânicas (por sua quantidade e sua propensão à contaminação do solo e subsolo), os postos de combustíveis e a mineração. Enquanto, a fonte de poluição difusa, apresentou índice mais elevado devido a falta de coleta e tratamento de efluentes, na zona urbana e nas vilas no interior do município.

Em combinação com os dois métodos, pode-se dizer que as atividades de mineração e as atividades da zona urbana, estão em áreas com vulnerabilidade extrema a média á contaminação, ou seja, é necessário uma

maior prevenção, fiscalização e um maior estudo da situação das águas subterrâneas dessa área.

Espera-se que a elaboração dos mapas de índice de vulnerabilidade permita a ampliação da base de dados sobre as fontes subterrâneas utilizadas no município, contribuindo na fiscalização das fontes de contaminação que fazem descarte incorreto de substâncias com potencial de causar alguma degradação ambiental. Ainda, os mapas podem auxiliar no desenvolvimento de futuros trabalhos relacionados a esse tema. É importante salientar a grande necessidade de programas de gestão, proteção e prevenção de qualidade das águas subterrâneas, com um maior cuidado nas áreas de vulnerabilidade alta e extrema.

Por fim, este trabalho forneceu um melhor conhecimento sobre a vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas do município de Caçapava do Sul, colaborando com uma melhor gestão ambiental e hídrica local, podendo auxiliar na tomada de decisões de órgãos públicos em relação ao licenciamento ambiental de uma atividade potencialmente poluidora.

## REFERÊNCIAS

Agency for Toxic Substances and Disease Registry – ATSDR. **Toxicological profile for benzene.** Disponível em: <<https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp.asp?id=40&tid=14>>. Acesso em: 18 de Março de 2017.

Associação Brasileira de Águas Subterrâneas – ABAS. **Águas subterrâneas, o que são?** Disponível em: <<http://www.abas.org/educacao.php>>. Acesso em: 12 de Março de 2017.

BELFI T. G.; DE LIMA, M. C.; MILAGRES, P. F.; DE ASSIS, N. F. S.; CASTILHO, R. A. **Projeto de regularização e adequação ambiental de oficinas mecânicas.** Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Minas Gerais, 2014.

BEVILACQUA, R.H. **Mapeamento da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas na área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani na Sub-bacia do rio Jacaré-Guaçu, UGRHI 13 - Tietê-Jacaré, com a aplicação do método DRASTIC (Normal e Pesticidas).** Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto de Geociências. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2015.

BLASIUS, J.P. **Diagnóstico preliminar de vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas por necrópole em Frederico Westphalen – RS.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Pampa. Caçapava do Sul, 2016.

COELHO, R.P.; HAVENS, K. **Crise nas Águas. Educação, ciência e governança, juntas, evitando conflitos gerados por escassez e perda da qualidade das águas.** Belo Horizonte: UFMG, 2015.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (Serviço Geológico do Brasil). **Uso e gestão de água subterrânea. Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** Fortaleza: CPRM, 2000.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (Serviço Geológico do Brasil). **Folha Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul.** Brasília, 2000.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (Serviço Geológico do Brasil). **Projeto mapa hidrogeológico do Rio Grande do Sul.** Disponível em: <[http://www.cprm.gov.br/publique/media/mapa\\_hidrogeologico\\_RS.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/mapa_hidrogeologico_RS.pdf)>. Acesso em 20 de março de 2017.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (Serviço Geológico do Brasil). **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul.** Escala 1: 750.000. Porto Alegre: 2008.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (Serviço Geológico do Brasil). **Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil: folha Passo do Salsinho.** Brasília, 1995.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (Serviço Geológico do Brasil). **Sistema de Informação de águas subterrâneas–SIAGAS**. Disponível em: < <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>>. Acesso em: 20 de março de 2017.

DE SOUZA, L. C. **Mudança de paradigmas urbanísticos em face da necessária proteção das águas subterrâneas: A ordenação do solo da cidade à partir de seu subsolo através do zoneamento especial ambiental**. Águas Subterrâneas, 2006.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Árvore do Conhecimento – Solos Tropicais**. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos\\_tropicais/arvore/CONT000gmzsqcs02wx5ok0liq1mqzgi5tjo.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000gmzsqcs02wx5ok0liq1mqzgi5tjo.html)>. Acesso em: 24 de março de 2017.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Território Mata Sul Pernambucana**. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio\\_mata\\_sul\\_pernambucana/arvore/CONT000gt7eon7k02wx7ha087apz2axe8nfr.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_mata_sul_pernambucana/arvore/CONT000gt7eon7k02wx7ha087apz2axe8nfr.html)>. Acesso em: 24 de março de 2017.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Temperatura média anual, temperatura média do mês mais frio, precipitação pluvial, deficiência e excesso hídrico e tipo climático de 41 localidades do Estado do Rio Grande do Sul**. Disponível em: <[http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p\\_pa08t6.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_pa08t6.htm)>. Acesso em: 22 de março de 2017.

FEHON, G.L. **Avaliação da vulnerabilidade e do risco de contaminação de aquíferos por postos de combustível localizados na região central de Canoas-RS**. Porto Alegre, 2013.

FEITOSA, F.A; FILHO, J.M. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Fortaleza: CPRM, 2000.

FOLHA DE SÃO PAULO. **Seca no Sudeste atinge 133 cidades e já afeta economia**. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2014/11/1541915-seca-no-sudeste-atinge-133-cidades-e-ja-afeta-economia.shtml>> . Acesso em 10 de março de 2017.

FOSTER, S; HIRATA, R; GOMES, D; D'ELIA, M; PARIS, M. **Proteção da Qualidade da Água Subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. São Paulo: Servemar, 2006.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Groundwater quality protection: a guide for water service companies, municipal authorities and environment agencies**. Washington: World Bank, 2002.

GERMANO, G. G. G3: **Uma forma mais simples de utilizar o método GOD**. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2008.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994.

HAGER, F.P.V; DALMEIDA, M.L. **Legislação aplicada às águas subterrâneas**. Brasília, 2008.

HIRATA, F. **Contaminação de aquíferos por compostos imiscíveis à água subterrânea**. Disponível em: <<http://www.acquacon.com.br/aesasviseminario/palestras/2509/ricardohirata.pdf>>. Acesso em: 10 de setembro de 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Dados sobre Caçapava do Sul e Brasil**. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/rs/cacapava-do-sul/panorama>>. Acesso em: 22 de março de 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa da Pedologia do Estado do Rio Grande do Sul**. Disponível em: <[ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/pedologia/mapas/unidades\\_da\\_federacao/rs\\_pedologia.pdf](ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/mapas/unidades_da_federacao/rs_pedologia.pdf)>. Acesso em 29 de março de 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa do Brasil – Cidades, estados e Municípios**. Disponível em: <<https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/mapas-municipais.html>>. Acesso em 16 de março de 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

JATKOSKI H.; BATEZELLI, A. **Arcabouço estratigráfico da Formação Rio Bonito na região centro-norte do Estado do Paraná**. Terrae, 2005.  
KEMERICH P.D.C.; DESCOVI FILHO, L.L.V.; UCKER, F.E. & FOLETTTO, C.V. **Influência dos cemitérios na contaminação da água subterrânea em Santa Maria – RS**. Águas Subterrâneas, 24(1): 129-141 (2010).

LIMA, D. R. D. **Avaliação do risco de contaminação das águas subterrâneas do sistema aquífero Serra Geral no município de Bento Gonçalves**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2014.



MANO, A. **Interpoladores II - QGIS Interpolation Plugin (IDW)**, 2011. Disponível em: <<http://opussig.blogspot.com.br/2011/12/interpoladores-ii-qgis-interpolation.html?m=1>>. Acesso em: 10 de setembro de 2017.

MAIDMENT, D.R. **Handbook of Hydrology**, McGraw-Hill, 1993.

MINDRISZ, C.A. **Avaliação Da Contaminação Da Água Subterrânea De Poços Tubulares, Por Combustíveis Fósseis**. Tese de Doutorado. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

MORENO, J.A. **Clima do Rio grande do Sul - Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**. Disponível em: <<http://revistas.fee.tche.br/index.php/boletim-geografico-rs/article/view/3236>>. Acesso em 19 de março de 2017.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Águas subterrâneas – um recurso a ser conhecido e protegido**. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/167/\\_publicacao/167\\_publicacao28012009044356.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/167/_publicacao/167_publicacao28012009044356.pdf)>. Acesso em: 18 de Março de 2017.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Consumo Sustentável: Manual de Educação**. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/dmdocuments/publicacao8.pdf>>. Acesso em: 15 de Março de 2017.

MOTA, F.S.; GOEDERT, C.O.; LOPES, N.F.; GARCEZ, J.R.B.; GOMES, A. S. **Zoneamento da região do planalto gaúcho para a cultura do trigo**. Pelotas: IPEAS, 1968.

OLIVEIRA, D.C. **Modelos de Avaliação de Vulnerabilidade de Aquíferos**. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2013.

ONU. **Revision of World Population Prospects – 2017**. Disponível em: <<https://www.un.org/development/desa/publications/world-population-prospects-the-2017-revision.html>>. Acesso em 04 de abril de 2017.

PARALTA, E.; FRANCES, A.; RIBEIRO, L.F. **Modelação da recarga do aquífero livre miocénico da Bacia de Alvalade e implicações ao nível da contaminação agrícola: um caso de estudo na infra-estrutura 12, bloco de rega de Canhestros-Ferreira do Alentejo**. Disponível em: <<http://www.lneg.pt/download/3831/29.pdf>>. Acesso em: 20 de outubro de 2017.

PEREIRA, C. **Águas Subterrâneas: Fontes legais e seguras de Abastecimento**. Disponível em: <<http://www.abas.org/arquivos/caderno5.pdf>>. Acesso em: 03 de maio de 2017.

PEREIRA, A.M. **Prospecção magnetométrica em intrusiva básica com indícios de mineralização aurífera no município de São Sepé-RS**.

Dissertação de Mestrado em Geociências e Meio Ambiente. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2014.

Portal São Francisco. **Poluição das águas subterrâneas**. Disponível em: <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/meio-ambiente/poluicao-das-aguas-subterraneas>>. Acesso em 15 de julho de 2017.

PINHEIRO, R. J.; RAUBER, A. C. C.; NUMMER, A. V.; DA SILVA, J. L. S; **Aplicação dos Métodos GOD e POSH para determinação da vulnerabilidade e perigo à contaminação dos aquíferos na cidade de Santa Maria-RS**. Disponível em: <[https://abrh.s3-sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/187/19a7f83aa5a7499a23ca0433b7750f5c\\_354b4bdec8e1107a770afca63c33e898.pdf](https://abrh.s3-sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/187/19a7f83aa5a7499a23ca0433b7750f5c_354b4bdec8e1107a770afca63c33e898.pdf)>. Acesso em 10 de outubro de 2017.

PRADO, D.F.B. **Poluentes orgânicos persistentes: A dúzia suja da convenção de estocolmo e a realidade brasileira**. Dissertação de Mestrado em Direito. Universidade Metodista de Piracicaba, Piracicaba, 2017.

Prefeitura Municipal de Caçapava do Sul. **Projeto de Pavimentação**. Disponível em: <[http://prefeitura.cacapava.net/arquivos/intranet/licitacoes/doc/221\\_.pdf](http://prefeitura.cacapava.net/arquivos/intranet/licitacoes/doc/221_.pdf)>. Acesso em: 10 de março de 2017.

Prefeitura Municipal de Caçapava do Sul. **Plano Municipal de Saneamento Básico**. Disponível em: <[http://prefeitura.cacapava.net/arquivos/smb/p\\_saneamento\\_basico.pdf](http://prefeitura.cacapava.net/arquivos/smb/p_saneamento_basico.pdf)>. Acesso em: 15 de julho de 2017.

SILVA, P. M.; LIESENFELD, K. A.; MARTINI, L.; KEMERICH P. D. C; FILHO, L. L. V. **Vulnerabilidade do Aquífero nas Proximidades do Cemitério Municipal de Caçapava do Sul – Rio Grande do Sul, Brasil**. Disponível em: <[http://www.anuario.igeo.ufrj.br/2017\\_1/2017\\_01\\_206\\_216.pdf](http://www.anuario.igeo.ufrj.br/2017_1/2017_01_206_216.pdf)>. Acesso em: 15 de julho de 2017.

**SAAE** São Gabriel. **Aquífero Guarani**. Disponível em: <<http://www.saaesaogabriel.ms.gov.br/aguas-ver/aquifero-guarani/2/>>. Acesso em: 13 de março de 2017.

SAITO, T.; YASUDA, H.; SUGANUMA, H.; INOSAKO, K.; ABE, Y; KOJIMA, T. **Predicting soil infiltration and horizon thickness for a large-scale water balance model in an arid environment**. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2073-4441/8/3/96/htm>>. Acesso em: 13 de setembro de 2017.

TERRA L.G.; SCHIAVO, B.N.V.; FERNANDES, G.D.; BORBA, W.F. E SILVA, J.L.S. **Estimativa da vulnerabilidade natural à contaminação do aquífero no município de São Sepé- RS**. Revista Monografias Ambientais – REMOA, 15(1): 85-93 (2016).

Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. **O aquífero – Ciclo Hidrológico.** Disponível em: <[http://www.ambiente.sp.gov.br/aquifero/def\\_aquifero.htm](http://www.ambiente.sp.gov.br/aquifero/def_aquifero.htm)>. Acesso em 22 de março de 2017.

SMA - Secretaria de Estado do Meio Ambiente. **As águas subterrâneas do Estado de São Paulo.** São Paulo: SMA, 2009.

STRECK, E. V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: EMATER-RS/UFRGS, 2008.

TEACHENGINEERING. **Hands-on Activity: What's Down the Well?** Disponível em: <[https://www.teachengineering.org/activities/view/cub\\_enveng\\_lesson04activity1](https://www.teachengineering.org/activities/view/cub_enveng_lesson04activity1)> . Acesso em 10 de março de 2017.

UNICEF. **Dia Mundial da Água: Quase 750 milhões de pessoas ainda não têm acesso a água potável adequada.** Disponível em: <[https://www.unicef.org/brazil/pt/media\\_29176.html](https://www.unicef.org/brazil/pt/media_29176.html)>. Acesso em: 10 de março de 2017.

UNICEF. **Progress on drinking water and sanitation: special focus on sanitation.** Disponível em: <[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/monitoring/jmp2008/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp2008/en/)>. Acesso em: 13 de março de 2017.

UNITED NATIONS. **UN-Water Global Analysis and Assessment of Sanitation and Drinking-Water.** Disponível em: <[http://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/glaas\\_report\\_2012\\_eng.pdf](http://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/glaas_report_2012_eng.pdf)>. Acesso em: 12 de março de 2017.

UNITED NATIONS. **World Population Prospects.** Disponível em: <[https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/files/key\\_findings\\_wpp\\_2015.pdf](https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/files/key_findings_wpp_2015.pdf)>. Acesso em: 05 de março de 2017.

USEPA – United States Environmental Protection Agency. **Groundwater contamination.** Disponível em: <<https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/mgwc-gwc1.pdf>>. Acesso em: 21 de março de 2017.

USGS – United States Geological Survey. **Aquifer Basics.** Disponível em: <<https://water.usgs.gov/ogw/aquiferbasics/>>. Acesso em: 17 de Março de 2017.

WWF-Brasil. **Água para Vida, Água para Todos.** Brasília: WWF, 2006.

## 8 APÊNDICES

## APÊNDICE A – Explicação dos valores utilizados no método GOD – parte 1/6

Poço	utme	utmn	Tipo de aquífero	Cobertura/ geologia	Nível freático	G	O	D	IV	Vulnerabilidade	Observações	Cidade
4300020758	258505	6614042	Confinado	Complexo granito-gnaissico	70	0,3	0,8	0,6	0,144	BAIXA	G seria 0,2, mas como a formação rochosa pode conter fissuras, G recebeu valor de 0,3	Caçapava
4300020759	264391	6612773	Confinado	Complexo granito-gnaissico	14	0,5	0,8	0,8	0,32	MÉDIA	G seria 0,2, mas devido a pouca espessa camada de solo siltoso (3 m), G recebeu valor de 0,5	Caçapava
4300020965	302947	6600966	Confinado	Complexo granito-gnaissico	0,41	1	0,8	1	0,101	EXTREMA	G seria igual a 0,6, mas como o nível freático está muito próximo da superfície, foi atribuído valor 1,0	Caçapava
4300021490	245117	6637299	Confinado	Complexo granito-gnaissico	2,80	1	0,9	1	0,83	EXTREMA	G seria igual a 0,6, mas como o nível freático está muito próximo da superfície, foi atribuído valor 1,0	Caçapava
4300022317	236381	6589825	Confinado	Complexo granito-gnaissico	18,90	0,6	0,9	0,8	0,84	EXTREMA	G seria igual a 0,2, mas como o solo é pouco espesso, foi atribuído valor 0,6	Caçapava
4300023292	280229	6593159	Confinado	Complexo granito-gnaissico	3,71	1	0,8	1	0,105	EXTREMA	G seria igual a 0,6, mas como o nível freático está muito próximo da superfície, foi atribuído valor 1,0	Caçapava
4300023794	258729	6615753	Confinado	Complexo granito-gnaissico	3	1	0,9	1	0,9	EXTREMA	G recebeu valor de 1,0, por não constar informações do nível freático e pelo solo apresentar pouca espessura	Caçapava
4300023860	280200	6593130	Confinado	Complexo granito-gnaissico	3,71	1	0,8	1	0,106	EXTREMA	G seria igual a 0,6, mas como o nível freático está muito próximo da superfície, foi atribuído valor 1,0	Caçapava

## APÊNCICE B – Explicação dos valores utilizados no método GOD – parte 2/6

Poço	utme	utmn	Tipo de aquífero	Cobertura/ geologia	Nível freático	G	O	D	IV	Vulnerabilidade	Observações	Cidade
4300020967	288575	6622970	Confinado	Grupo Guaritas	10,00	1	0,7	0,8	0,102	EXTREMA	G seria igual a 0,6, mas como o nível freático está muito próximo da superfície, foi atribuído valor 1,0	Santana da boa vista
4300020968	279060	6590448	Confinado	Grupo Guaritas	13,00	1	0,7	0,8	0,103	EXTREMA	G seria igual a 0,6, mas como o nível freático está muito próximo da superfície, foi atribuído valor 1,0	Santana da boa vista
4300020969	284650	6589990	Confinado	Grupo Guaritas	30,00	0,6	0,7	0,7	0,104	EXTREMA	G 0,6 - nível freático está distante da superfície	Santana da boa vista
4300021428	276148	6640954	Livre	Formacao Palermo	77,43	0,6	0,7	0,6	0,252	BAIXA	G seria igual a 1, mas como o nível freático é bem profundo e o estrato Palermo são formações sedimentares, as camadas de argila intercaladas devem agir como um selante e proporcionar características de aquífero confinado Portanto, G recebeu valor de 0,6	Caçapava
4300021433	280232	6641407	Livre	Formacao Rio Bonito	36,66	1	0,6	0,7	0,88	EXTREMA	G valor de 1 - Livre	Caçapava
4300021434	281796	6641441	Livre	Formacao Rio Bonito	31,97	1	0,6	0,7	0,89	EXTREMA	G valor de 1 - Livre	São Sepé

## APÊNDICE C– Explicação dos valores utilizados no método GOD – parte 3/6

Poço	utme	utmn	Tipo de aquífero	Cobertura/geologia	Nível freático	G	O	D	IV	Vulnerabilidade	Observações	Cidade
4300023324	279768	6641133	Livre	Formação Rio Bonito	36,6	0,8	0,7	0,7	0,392	MÉDIA	G seria igual a 1, mas como o nível freático é bem profundo e o estrato Rio Bonito são formações sedimentares, as camadas de argila intercaladas devem agir como um selante e proporcionar características de aquífero confinado Portanto, G recebeu valor de 0,8	São Sepé
4300023874	281801	6641439	Livre	Formação Rio Bonito	31,97	1	0,6	0,7	0,90	EXTREMA	G valor de 1 - Livre	Lavras do sul
4300020717	235253	6594764	Livre	Formação Rio Bonito	24,6	0,6	0,7	0,7	0,294	BAIXA	Apesar de ser um aquífero livre que receberia G = 1,0, por apresentar espessa camada de solo arenoso, siltiloso e conglomerado (que representam condições de confinamento), G recebeu valor de 0,6 (referente a aquífero não confinado - coberto)	Cachoeira do sul
4300016870	276149	6649425	Livre	Formação Rio do Rasto	1,30	1	0,8	1	0,85	EXTREMA	G valor de 1 - Livre	Cachoeira do sul
4300017009	297260	6618797	Livre	Formação Rio do Rasto	15,00	1	0,8	0,8	0,86	EXTREMA	G valor de 1 - Livre	Cachoeira do sul
4300025900	258480	6642093	Livre	Formação rosario do sul	7,34	1	0,7	0,8	0,82	EXTREMA	G valor de 1 - Livre	Cachoeira do sul
4300017010	297787	6617215	Livre	Formação Rio do Rasto	29,90	1	0,8	0,7	0,87	EXTREMA	G valor de 1 - Livre	Cachoeira do sul
4300020764	284221	6614567	Livre	Grupo Guaritas	8	1	0,8	0,8	0,64	ALTA	O = 0,8 por ser estrato formado por arenito fino	Cachoeira do sul

## APÊNDICE D – Explicação dos valores utilizados no método GOD – parte 4/6

Poço	utme	utmn	Tipo de aquífero	Cobertura/geologia	Nível freático	G	O	D	IV	Vulnerabilidade	Observações	Cidade
4300022738	257449	6633773	Livre Coberto	Complexo granito-gnaissico	6	0,9	0,9	0,8	0,648	ALTA	G seria igual a 0,6, mas como o nível freático está relativamente próximo da superfície, foi atribuído valor de 0,9	Caçapava
4300022739	262254	6624142	Livre Coberto	Complexo granito-gnaissico	1	0,9	0,9	1	0,81	EXTREMA	G seria igual a 0,6, mas como o nível freático está bem próximo à superfície, foi atribuído valor de 0,9	Caçapava
4300020716	235296	6594815	Livre Coberto	Formacao Hilarlo	18	0,6	0,5	0,8	0,24	BAIXA	O (0,5) devido ao estrato siltiloso	Caçapava
4300020769	263921	6638834	Livre Coberto	Formacao Hilarlo	2	1	0,8	1	0,8	EXTREMA	G seria igual a 0,6, mas como o nível freático está muito próximo da superfície, foi atribuído valor de 1,0	Caçapava
4300022740	265799	6640365	Livre Coberto	Formacao Hilarlo	45	0,4	0,5	0,6	0,12	BAIXA	G seria igual a 0,6, mas como o nível freático está bem profundo, foi atribuído valor de 0,4	Caçapava
4300020766	273364	6613140	Livre Coberto	Formação Hilarlo	9	0,7	0,8	0,8	0,448	MÉDIA	O = 0,8 por ser estrato formado por arenito médio a fino	Caçapava
4300020768	264370	6638761	Livre Coberto	Formação Hilarlo	8,6	0,7	0,8	0,8	0,448	MÉDIA	G seria igual a 0,6, mas como o nível freático está relativamente próximo da superfície e o solo é pouco espesso, atribui-se o valor de 0,7	Caçapava
4300023875	280158	6593266	Livre Coberto	Formação Hilarlo	3,71	1	0,9	0,9	0,9	EXTREMA	G seria igual a 0,6, mas como o nível freático está muito próximo da superfície, foi atribuído valor de 1	Caçapava

## APÊNDICE E – Explicação dos valores utilizados no método GOD – parte 5/6

Poço	utme	utmn	Tipo de aquífero	Cobertura/geologia	Nível freático	G	O	D	IV	Vulnerabilidade	Observações	Cidade
4300021445	277491	6618859	Livre	Grupo Santa Bárbara	1,03	1	0,9	1	0,9	EXTREMA	G seria igual a 0,6, mas como o nível freático está muito próximo da superfície, foi atribuído valor de 1,0	Santana da boa vista
4300023876	267491	6618859	Livre	Grupo Santa Bárbara	1,03	1	0,9	1	0,9	EXTREMA	G seria igual a 0,6, mas como o nível freático está muito próximo da superfície, foi atribuído valor de 1,0	Santana da boa vista
4300002184	260680	6628025	Livre Coberto	Complexo granito-gnaissico	3	1	0,9	0,9	0,81	EXTREMA	G seria igual a 0,6, mas como o nível freático está muito próximo da superfície, foi atribuído valor 1,0	Caçapava
4300002185	260720	6628000	Livre Coberto	Complexo granito-gnaissico	3	1	0,9	0,9	0,81	EXTREMA	G seria igual a 0,6, mas como o nível freático está muito próximo da superfície, foi atribuído valor 1,0	Caçapava
4300020715	261980	6625126	Livre Coberto	Complexo granito-gnaissico	2	1	0,9	0,9	0,81	EXTREMA	G seria igual a 0,6, mas como o nível freático está muito próximo da superfície, foi atribuído valor 1,0	Caçapava
4300020757	254788	6606400	Livre Coberto	Complexo granito-gnaissico	7,8	0,8	0,9	0,8	0,576	ALTA	G seria igual a 0,6, mas por apresentar relativamente camada de solo pouco espessa, G recebeu valor de 0,8	Caçapava
4300020760	260772	6627946	Livre Coberto	Complexo granito-gnaissico	3	1	0,9	0,9	0,81	EXTREMA	G seria igual a 0,6, mas como o nível freático está muito próximo da superfície, foi atribuído valor 1,0	Caçapava



## APÊNDICE F – Explicação dos valores utilizados no método GOD – parte 6/6

Poço	utme	utmn	Tipo de aquífero	Cobertura/geologia	Nível freático	G	O	D	IV	Vulnerabilidade	Observações	Cidade
4300020761	260668	6628031	Livre Coberto	Complexo granito-gnaissico	3	1	0,9	0,9	0,81	EXTREMA	G seria igual a 0,6, mas como o nível freático está muito próximo da superfície, foi atribuído valor 1,0	Caçapava
4300020762	269001	6616940	Livre Coberto	Complexo granito-gnaissico	3	1	0,9	0,9	0,81	EXTREMA	G seria igual a 0,6, mas como o nível freático está muito próximo da superfície, foi atribuído valor 1,0	Caçapava
4300020763	258760	6615918	Livre Coberto	Complexo granito-gnaissico	5,8	1	0,9	0,8	0,72	EXTREMA	G seria igual a 0,6, mas como o nível freático está muito próximo da superfície, foi atribuído valor 1,0	Caçapava
4300020765	280106	6593251	Livre Coberto	Complexo granito-gnaissico	3,71	1	0,9	0,9	0,81	EXTREMA	G seria igual a 0,6, mas como o nível freático está muito próximo da superfície, foi atribuído valor 1,0	Caçapava
4300020767	264015	6638871	Livre Coberto	Complexo granito-gnaissico	6	0,9	0,9	0,8	0,648	ALTA	G seria igual a 0,6, mas como o nível freático está relativamente próximo da superfície e o solo é pouco espesso, atribui-se o valor de 0,9	Caçapava
4300020770	266979	6618706	Livre Coberto	Complexo granito-gnaissico	12,7	0,6	0,9	0,8	0,432	MÉDIA	G igual 0,6 - lençol freático longe da superfície	Caçapava
4300020771	267445	6618845	Livre Coberto	Complexo granito-gnaissico	6	0,9	0,9	0,8	0,648	ALTA	G seria igual a 0,6, mas como o nível freático está próximo da superfície e o solo é pouco espesso, foi atribuído valor de 0,9	Caçapava