

**VULNERABILIDADE NATURAL DO AQUÍFERO NA  
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARDO - RS***NATURAL VULNERABILITY OF AQUIFER IN THE  
HYDROGRAPHIC BASIN OF RIO PARDO - RS***Felipe Henrique Moraes<sup>1</sup>, Marcelo Lovato Brum<sup>2</sup>, Juliano Dalcin Martins<sup>3</sup>,  
André Luis Domingues<sup>4</sup> e Alexandre Swarowsky<sup>5</sup>****RESUMO**

A crescente demanda de água decorrente do aumento populacional tem aumentado a pressão pela exploração de águas subterrâneas. Atividades potencialmente poluidoras quando localizadas em regiões vulneráveis à contaminação, podem acelerar o processo de degradação destes mananciais. Nesse sentido, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a vulnerabilidade natural à contaminação do aquífero na bacia hidrográfica do Rio Pardo, Rio Grande do Sul. Para avaliar a vulnerabilidade natural à contaminação do aquífero foi utilizado a metodologia GOD (Grau de confinamento, Ocorrência de estratos geológicos e Distância). As informações hidrogeológicas foram obtidas de 203 poços cadastrados no Sistema de Informação de Águas Subterrâneas (SIAGAS) do CPRM, para espacializar as variáveis G,O,D no software ArcGIS e elaborar o mapa de vulnerabilidade natural a contaminação do aquífero para a Bacia do Rio Pardo. A região de maior vulnerabilidade foi encontrada ao sul da bacia, e a de menor vulnerabilidade ao norte. Verificou-se que quanto mais próximo do exutório, mais elevado o nível de vulnerabilidade da bacia.

**Palavras-chave:** água subterrânea; GOD; contaminação; hidrogeologia.

**ABSTRACT**

*The growing demand for water resulting from the population increase has increased the pressure for the exploration of groundwater. Potentially polluting activities when located in regions vulnerable to contamination can accelerate the degradation process of these sources. In this sense, the present study aimed to assess the natural vulnerability to aquifer contamination in the hydrographic basin of Rio Pardo, Rio Grande do Sul. To assess the natural vulnerability to aquifer contamination, the GOD methodology was used. Hydrogeological information from 203 wells registered in the CPRM's Groundwater Information System (SIAGAS) was used to spatialize the variables G, O, D in the ArcGIS software and generate the map of natural vulnerability to aquifer contamination for the Rio Pardo Basin. The region of greatest vulnerability was found in the south*

---

1 Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Santa Maria, RS, Brasil.  
E-mail: felipymor@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9420-4544>

2 Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Santa Maria, RS, Brasil.  
E-mail: marcelolvtb@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3468-5346>

3 Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Santa Maria, RS, Brasil.  
E-mail: juliano.martins@ufsm.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2501-1067>

4 Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Santa Maria, RS, Brasil.  
E-mail: eng.domingues@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8338-8853>

5 Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Santa Maria, RS, Brasil.  
E-mail: aleswar@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0787-2691>

of the basin, and the region of least vulnerability in the north. It was found that the closer to the exutory the higher the level of vulnerability in the basin.

**Keywords:** vulnerability; GOD; contamination; hydrogeology.

## INTRODUÇÃO

A água é um bem precioso, com dotado de valor econômico e, portanto, de grande importância para o desenvolvimento econômico, político e social. Registros históricos demonstram que as atividades humanas se desenvolveram sempre em locais próximos à presença de rios, seja por meio das navegações, agricultura, e desenvolvimento industrial ou até mesmo por motivos religiosos e culturais (CRUZ, 2009).

Contudo o crescimento da população e das necessidades de recursos acabou resultando no aumento do consumo de água e de forma negativa a contaminação dos corpos hídricos. Sendo assim, fica evidente a importância na preservação dos recursos hídricos (MOECK *et al.*, 2018). Logo, este é um desafio a ser enfrentado, uma vez que a água contaminada sofre alterações nas suas características e qualidade, muitas vezes sendo prejudicial para o ser humano, fauna, solo e a flora, juntamente com a redução da disponibilidade (ANA, 2024).

Os recursos hídricos mesmo localizados em camadas abaixo da superfície, podem sofrer diversos fatores de contaminação. O uso intenso de fertilizantes e defensivos agrícolas para combater as pragas das lavouras, a deposição de resíduos industriais e urbanos de forma negligente podem ser dissolvidos e lixiviados por meio da infiltração no solo (GELAYE *et al.*, 2019; TUCCI, 2016). No ciclo hidrológico, as águas subterrâneas fazem parte da parcela natural das reservas de água doce de possível captação. Sendo que de todo o volume de água existente no planeta, apenas 3% são referentes às águas doces, destas, cerca de 30% são representadas pelas águas subterrâneas (SANASA, 2006).

A água subterrânea apresenta algumas vantagens se comparada as águas superficiais. Por serem águas que infiltram no solo, sofreram processos de purificação natural pelas camadas do solo (ASADI *et al.*, 2019). Essa purificação natural resulta, no geral, em águas de excelente qualidade e que não necessitam a utilização de processos caros para tratamento. As reservas, por serem subterrâneas, não ocupam espaço na superfície e são passíveis de serem retiradas por bombeamento quando não possuem pressão natural (SALAHAT, 2014), evidenciando seu potencial de abastecimento e importância na sociedade (DE ABREU, 2013).

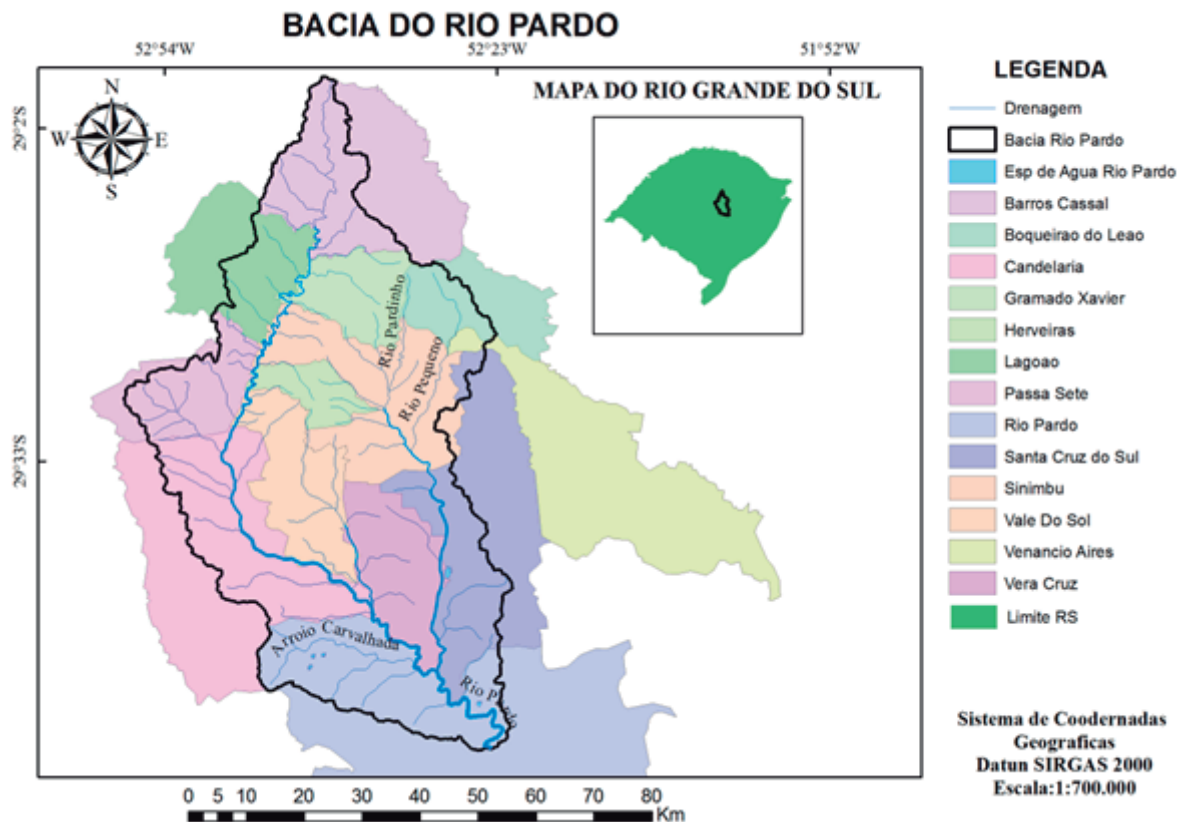
Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi aplicar o método de GOD (Grau de confinamento, Ocorrência de estratos geológicos e Distância) na Bacia do Rio Pardo para identificar os locais com maior potencial de contaminação das águas subterrâneas.

## METODOLOGIA

## Área de Estudo

A bacia hidrográfica do Rio Pardo está localizada na região central do estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas 28°50' a 30°00' de latitude Sul e 52°15' a 53°00' de longitude o este (Figura 1). Abrange as províncias geomorfológicas Depressão Central e Planalto Meridional. Possui uma área de 3.658,34 Km<sup>2</sup> e uma população estimada em 209.060 habitantes, abrangendo os municípios de Rio Pardo, Sinimbu, Vera Cruz, Lagoão, Boqueirão do Leão, Passa Sete, Gramado Xavier, Venâncio Aires, Barros Cassal, Candelária, Vale do Sol e Santa Cruz do Sul (SEMA-RS 2006).

Figura 1 - Mapa de localização da Bacia do Rio Pardo



Fonte: do Autor (2022).

Os principais cursos hídricos na bacia são: rio Pardinho, rio Pequeno, arroio Andréas, arroio Francisco Alves e o rio Pardo. Este último tem sua nascente ao Norte da bacia na cidade de Barros Cassal e desembocadura no rio Jacuí, na cidade de Rio Pardo. O principal uso da água nesta bacia se destina a irrigação. A exploração agrícola é intensa sendo que o desmatamento das encostas declivosas causa graves problemas de erosão. A poluição hídrica gerada por efluentes de origem humana e animal e pelo uso de defensivos agrícolas é outro grande problema encontrado na bacia (SEMA, 2006).

A bacia do Rio Pardo é dividida em três grandes áreas devido a topografia do terreno, para ficar mais fácil a compreensão. Uma porção mais alta constituída de serras (20% da área da bacia), predomina a agricultura e a pecuária, também contém áreas de florestamento com espécies exóticas, lavouras de pequenas dimensões. Corresponde à área de formação ao Planalto Meridional, formado em sua maioria por rochas basálticas da formação Serra Geral, sua altitude e superiores a 500 m, o relevo na maior área é ondulado. Nessa porção da bacia estão localizadas as sedes dos municípios de Barros Cassal, Boqueirão do Leão, Gramado Xavier e Lagoão.

Na região norte, que representa 40% da bacia, é composta por relevo abrupto da encosta do Planalto, a altitude varia de 200 a 500 m. Nesta área predominam onde propriedades rurais, são encontradas algumas características importantes, como os remanescentes florestais, que estão em todos os níveis de regeneração, juntamente com áreas conservadas, seu relevo é mais acidentado, nascentes dos principais cursos d'água e áreas de lavouras abandonadas com vegetação de nível secundária de crescimento.

Na porção a jusante, representa 40% de sua área, devido a sua localização e baixa altitude e do processo natural de lixiviação de anos, é composta por áreas mais planas e planícies levemente onduladas e várzeas, e devido aos cursos d'água é utilizada na agricultura para o cultivo de arroz irrigado, enquanto as zonas mais elevadas são utilizadas para a pecuária extensiva e para o cultivo agrícola de fumo, soja, milho, feijão etc. Sua fisiografia característica da Depressão Central sendo em termos geológicos um mosaico de áreas com formação de basalto da formação Serra Geral, arenito da formação Rosário do Sul, arenito da formação Botucatu e depósitos do Quaternário junto aos corpos de água principais.

Na terceira divisão, na região da baixa bacia se localizam os municípios de Candelária, Rio Pardo, Vera Cruz e Santa Cruz do Sul, sendo que Santa Cruz corresponde ao maior núcleo urbano da bacia, onde se concentram os maiores contingentes populacionais e a maior parte da atividade industrial. A região do Rio Pardo é um polo reconhecido mundialmente pela produção de fumo.

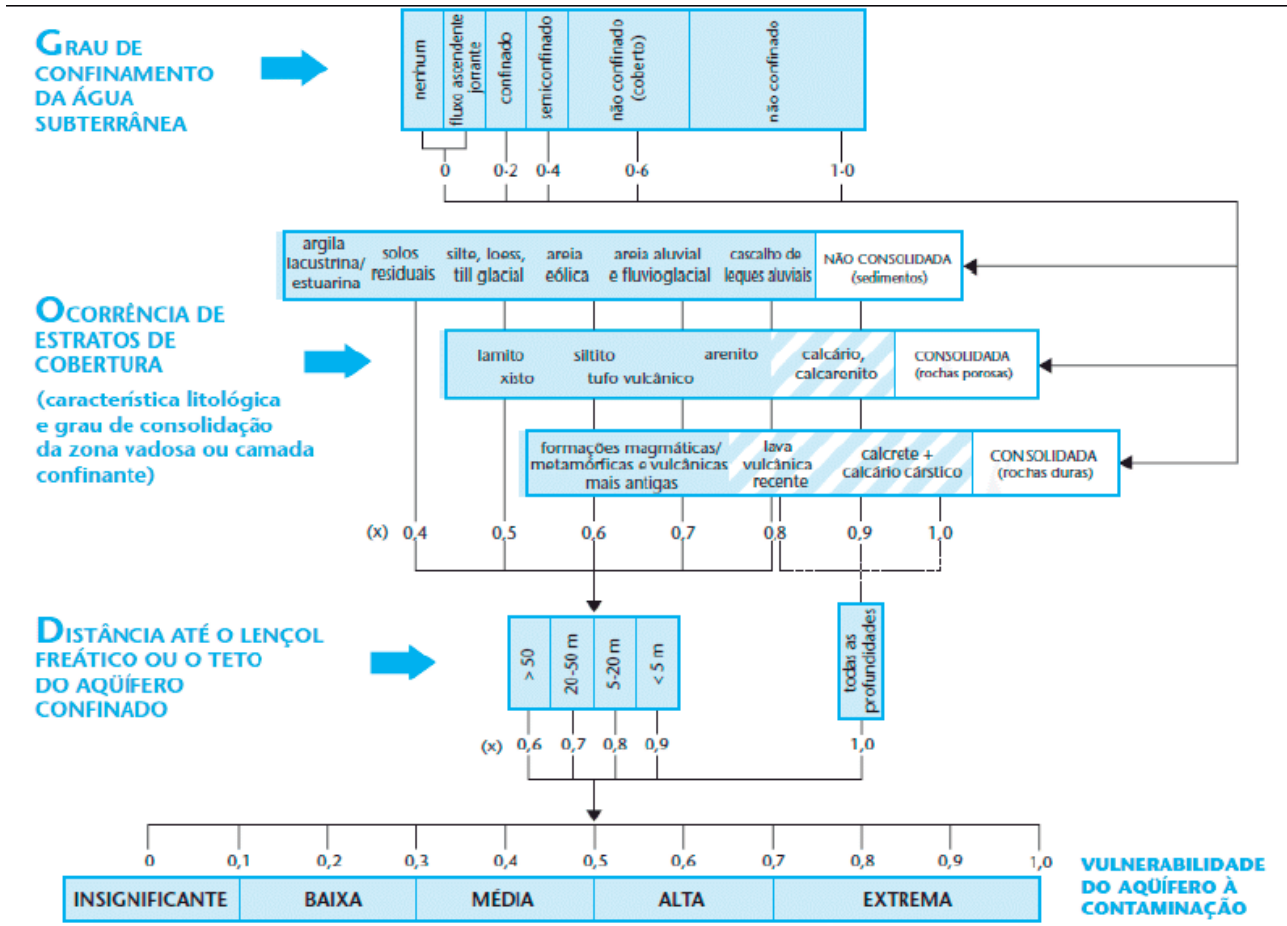
## Metodologia G.O.D

A metodologia GOD tem como finalidade a avaliação da vulnerabilidade natural de um aquífero (DJOURI *et al.*, 2019). É um método que vem sendo amplamente utilizado na América Latina desde a década de 1990. Sua aplicação é mais simples porque utiliza apenas três parâmetros, quando comparado a outros métodos mais complexos tais como DRASTIC, SINTACS e CRIPTAS.

A obtenção do índice de vulnerabilidade GOD (Figura 2), resulta em classes conforme apresentadas na Tabela 2 onde, por sua vez, evidenciam a vulnerabilidade do aquífero à contaminação e levando em consideração os seguintes parâmetros: o Grau de confinamento hidráulico da água subterrânea no aquífero em questão (G); a Ocorrência dos estratos de cobertura (zona vadosa ou camada confinante), em termos da característica hidrogeologia e do grau de consolidação que determinam

sua capacidade de atenuação do contaminante (O); e a Distância até o lençol freático ou até o teto do aquífero confinado (D) (FOSTER; HIRATA, 1988; FANNAKH & FARSANG, 2022).

**Figura 2** - Sistema GOD para avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação.



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

**Tabela 1** - Classes de vulnerabilidade à contaminação natural do aquíferos associados aos resultados da multiplicação dos parâmetros G,O,D.

0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Insignificante		Baixa		Média		Alta		Extrema		

Fonte: Foster *et al.* (2006).

A metodologia GOD consiste em dar valores as variáveis G, O e D, variando de 0 a 1 e posteriormente o produto G·D·O. O resultado corresponde a vulnerabilidade natural do aquífero. Cada letra da simbologia GOD representa um parâmetro, como pode ser visto na equação 1, sendo o índice de vulnerabilidade avaliado por uma escala como visto na figura 3 onde varia de extrema a insignificante.

$$\text{Equação 1: Índice de Vulnerabilidade} = G \cdot O \cdot D$$

Utilizando a metodologia GOD, é possível separar em cinco diferentes classificações quanto a vulnerabilidade natural à contaminação do aquífero, sendo elas, desprezível, baixa, moderada, alta e extrema. Na tabela 2 tem-se uma representação da metodologia, pode-se identificar como se interagem pelas características distintas do aquífero e qual a associação delas com a respectiva vulnerabilidade à contaminação natural.

**Tabela 1** - Tabela das classes de vulnerabilidade do aquífero.

CLASSE DE VULNERABILIDADE	DEFINIÇÃO CORRESPONDENTE
<b>Extrema</b>	vulnerável a maiorias dos contaminantes com impacto rápido em muitos cenários de contaminação
<b>Alta</b>	vulnerável a muitos contaminantes (exceto o que são fortemente adsorvidos ou rapidamente transformados) em muitas condições de contaminação
<b>Moderada</b>	vulnerável a alguns contaminantes, mas somente quando continuamente lançados ou lixiviados
<b>Baixa</b>	vulnerável somente a contaminantes conservados, a longo prazo, quando contínua e amplamente lançados ou lixiviados
<b>Insignificante</b>	presença de camadas confinantes sem fluxo vertical significativo de água subterrânea (percolação)

Fonte: (FOSTER *et al.*2002).

O mapa de vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos foi elaborado em ambiente SIG, no software ArcGIS. Sendo que os dados para formar as bases cartográficas quanti-qualitativas necessárias foram obtidas do (a): SIAGAS - sistema de informações de águas subterrâneas, Biblioteca digital da FEPAM, IBGE e GEOBANK - CPRM.

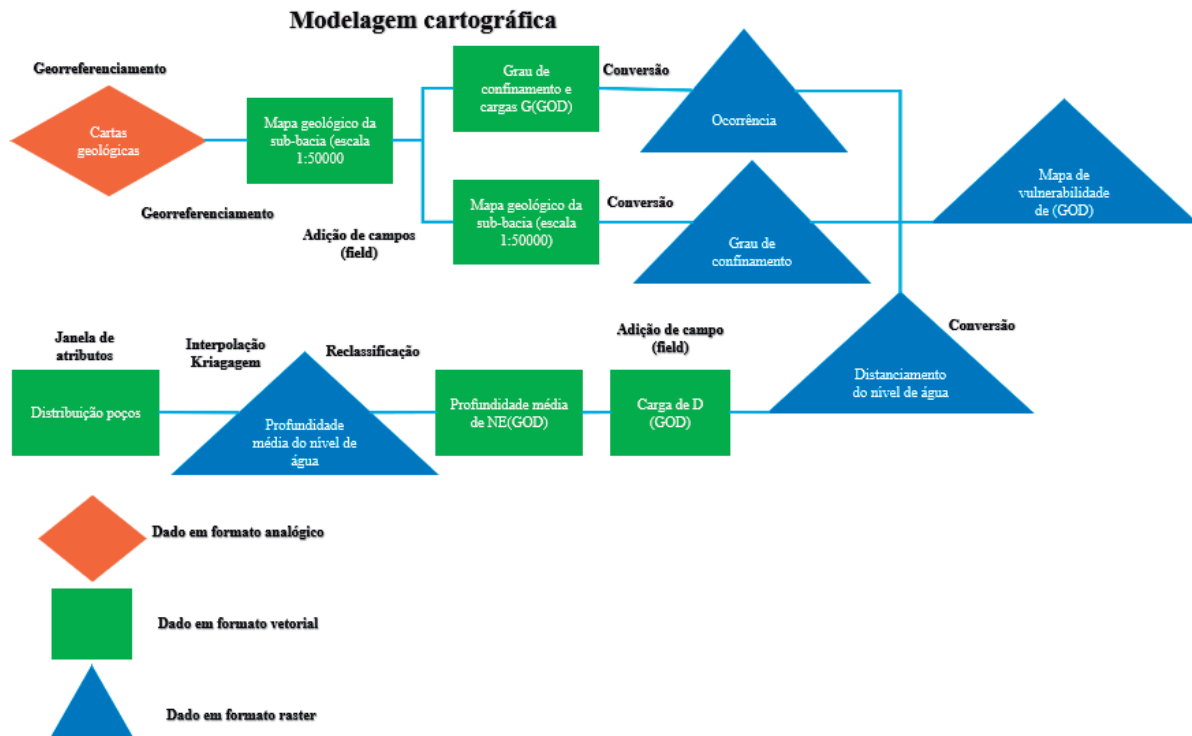
Partindo dessa base de dados vetoriais e informações de todos os poços cadastrados no SIAGAS, foi compilado um novo banco de dados específico para a Bacia do rio Pardo, contendo as informações necessárias para a aplicação e correto andamento da metodologia proposta.

A distribuição espacial destas informações foi realizada por meio do software ArcGIS, pelo método chamado IDW, que interpola matematicamente as informações a partir de uma planilha de dados contendo a coordenada de cada poço. Essa planilha foi organizada com as seguintes informações: as coordenadas UTM de cada poço em Datum SIRGAS 2000, Fuso 22S, e os parâmetros G, O e D do poço.

Na sequência, esses valores de diferentes níveis estáticos foram reclassificados atribuindo-se as cargas definidas com base no método GOD para os intervalos distintos de profundidade da água subterrânea. O fluxograma (Figura 3) apresenta as diferentes etapas realizadas em ambiente SIG para a elaboração do mapa de variação do nível estático dos poços.

Para gerar o mapa de vulnerabilidade foi disposto numa planilha no software Excel 2019 as coordenadas UTM dos poços e os dados G, O e D de cada poço. A partir da multiplicação dos valores G, O e D obteve-se para cada poço o grau de vulnerabilidade. Esta planilha foi posteriormente adicionada ao software ArcGIS e por interpolação foi gerado o mapa de vulnerabilidade.

Figura 3 - Modelagem Cartográfica para a elaboração dos mapas de vulnerabilidade à Contaminação de aquíferos.



Fonte: (RIBEIRO *et al.*, 2011).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos dados dos cadastros do SIAGAS/CPRM e das informações levantadas sobre a aplicação da metodologia e das unidades geológicas permitiu identificar a vulnerabilidade natural das águas subterrâneas do aquífero do rio Pardo. A aplicação do método “GOD” e a confecção dos mapas no software ArcGis revelaram áreas com diferentes níveis de vulnerabilidade, destacando regiões mais suscetíveis à contaminação.

Quanto ao tipo, o aquífero analisado sob os municípios classifica-se como um aquífero fissural. A geologia predominante é de derrames vulcânicos que originam rochas ácidas e básicas na Formação Serra Geral e seus produtos de intemperismo (RADAM, 1986; CARRARO 1974).

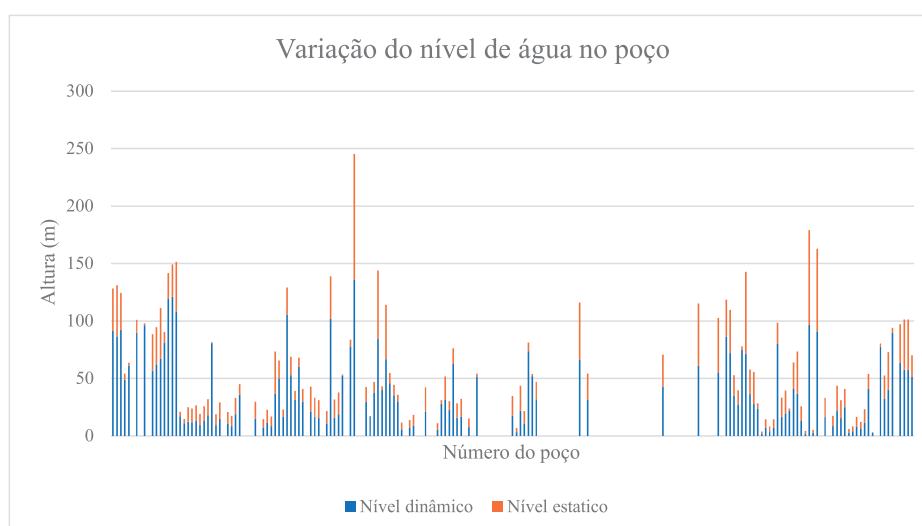
A análise dos perfis geológicos dos poços cadastrados revelou a predominância de basaltos, aparecendo também, arenitos intertrápicos e riolitos, portanto, materiais rochosos com distintas características hidráulicas intrínsecas, o que lhes confere diferentes graus de vulnerabilidade.

## Rebaixamento do nível Freático

Durante o processo de bombeamento de água do poço subterrâneo, ocorre o rebaixamento do nível de água, juntamente com a recarga de água pelas laterais do poço, esse equilíbrio onde tem a máxima retirada, chama-se de nível dinâmico, já que varia conforme o consumo (MOSTER, 2021). O nível estático é o nível do poço após a retirada de água e sua recarga, ou quando não está em uso. A profundidade da superfície do solo até o nível estático, é denominada de teto do aquífero ou nível freático (JESUS & SANTOS, 2022).

Tempo de recarga de um poço subterrâneo, é o tempo que leva para estabilizar o nível de água (nível estático), esse tempo de recarga está relacionado a estrutura geológica que o cerca (VAN LOPIK *et al.*, 2021). Na figura 4, é possível observar a diferença entre os níveis durante o repouso e o uso.

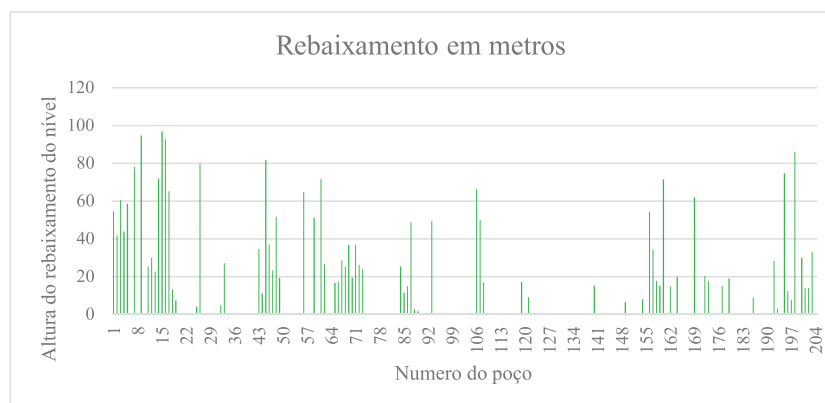
**Figura 4** -Variação do nível de água nos poços durante o uso durante o período analisado no estudo.



Fonte: do Autor 2022.

O tempo de recarga de um poço varia conforme as suas características naturais de seu aquífero. Na figura 5 é possível observar a variação dos poços através da diferença do nível dinâmico (ND - corresponde ao nível da água quando o poço está sendo bombeado) e do nível estático (NE - profundidade da água dentro do poço em repouso) sendo que as maiores diferenças são na região de domínio geológico de Vulcanismo fissural Mesozoico do tipo plateau e de unidade geológica Riodacito e andesito, e de menor variação foi a Formação Rosário do Sul de unidade geológica silto aluvionar que fica na região de Santa Cruz do Sul no bairro Bom Jesus.



**Figura 5** - Representação gráfica do rebaixamento do nível da água durante o uso.

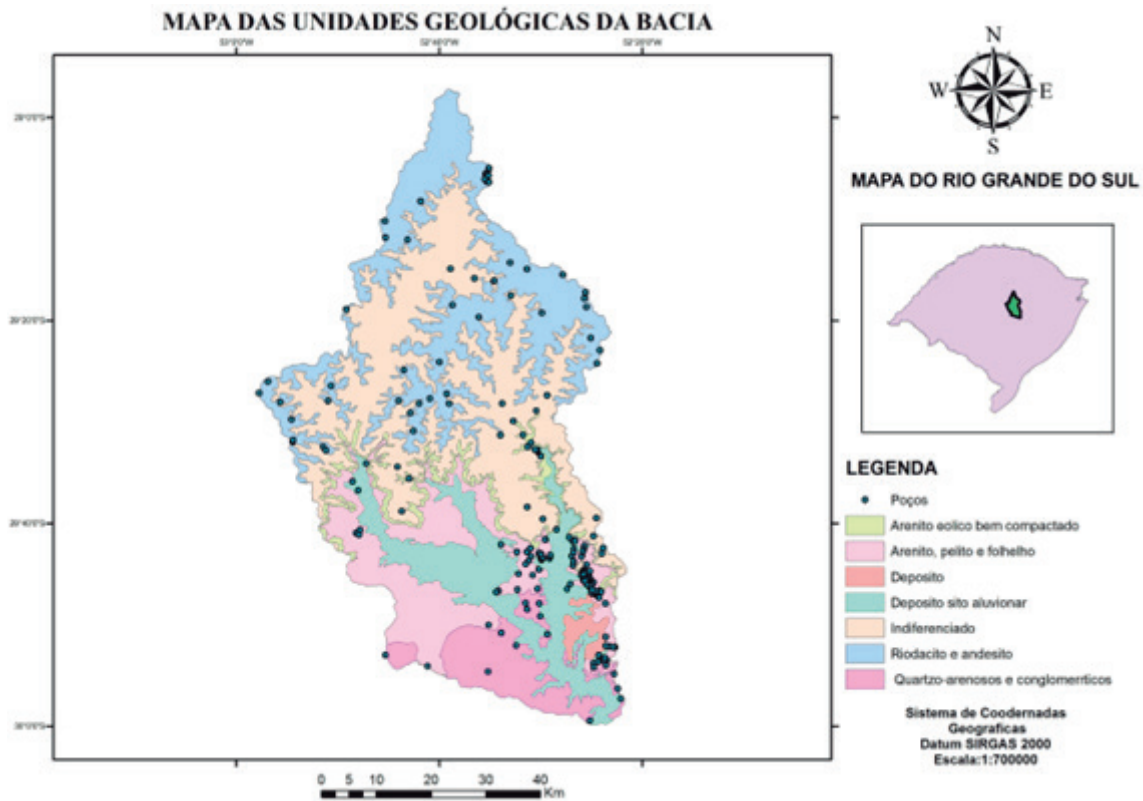
Fonte: do Autor 2022.

Dessa forma observa-se que a grande diversidade no tempo de recarga, devido a características de condutividades hidráulicas distintas em toda a bacia. Num exemplo em que um poço que tem “x” nível estático, comparado a outro poço com mesmo teto, porém com estruturas geológicas diferentes, o poço que tiver a menor variação entre níveis, tem uma condutividade maior, logo esse local é mais suscetível a contaminação devida as suas características geológicas. Isto pode ser agravado, quanto mais próximo da superfície estiver o teto do aquífero ou nível freático. Salienta-se que essa análise é válida para comparação de nível, mas pode sofrer alteração pela formação do aquífero, onde mesmas estruturas geológicas podem apresentar valores diferentes devido a forma de aprisionamento.

A bacia do Rio Pardo é composta por várias unidades geológicas (Figura 6). Na região de Rio Pardo ocorrem os poços de menor nível estático e de menor nível dinâmico. Já na região de Passa Sete os poços apresentam maior nível freático. Um fator importante, e que está diretamente relacionado a recarga dos aquíferos, é a presença de vegetação. Quanto mais antiga a vegetação, maior é a taxa de infiltração, sendo que em florestas nativas preservadas estima-se uma infiltração de 150 mm/h e em florestas mais novas tem-se 70 mm/h e em regiões de campos tem-se 30 mm/h (RIGHES, MORAES, BURIOL, 2020). Já o uso antrópico do solo, intensifica a impermeabilização do solo, reduzindo as taxas de infiltração, logo a recarga do aquífero é menor e o volume do escoamento superficial é maior. Os problemas causam vários danos, como a intensificação de processos erosivos do solo e inundações. O município de Candelária é um dos mais afetados por enchentes pela proximidade da cidade com o rio.

**Figura 6** - Mapa da representação das unidades Geológicas da bacia do Rio pardo.

Fonte: do Autor 2022.

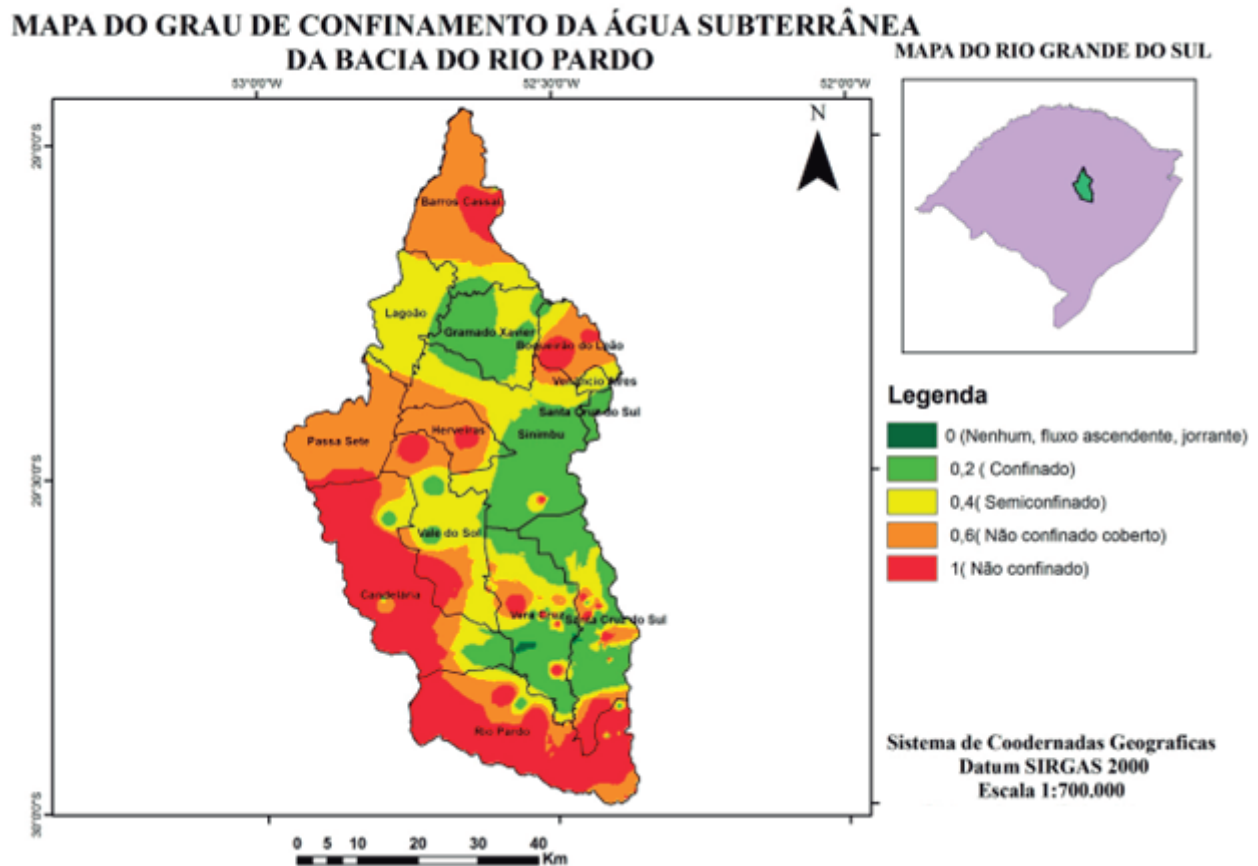


Mapa de Grau de Confinamento da Água Subterrânea

Para obter o parâmetro “G” da metodologia foi realizada a verificação dos dados obtidos pelos SIAGAS quanto a condição local, dos 203 poços, sendo a classificação nas seguintes categorias nenhum (0), confinado (0,2) semiconfinado (0,4), não confinado coberto (0,6) e não confinado (1), assim como a presença de aquífero livre e confinados em partes da bacia, posteriormente com esses dados foi realizado o mapa de grau de confinamento da bacia do Rio Pardo (Figura 7) classificando por cores.

Na região de Candelária e de Rio Pardo foi obtida grau 1, sendo a estrutura geológica arenito e quartzito-arenoso, e grau 0,2 em Santa Cruz, Vera Cruz e Sinimbu, com estrutura geologia siltó aluvionar e Riodacito e Andesito.

Figura 7 - Mapa de ocorrência de água subterrânea da Bacia do Rio Pardo (G).



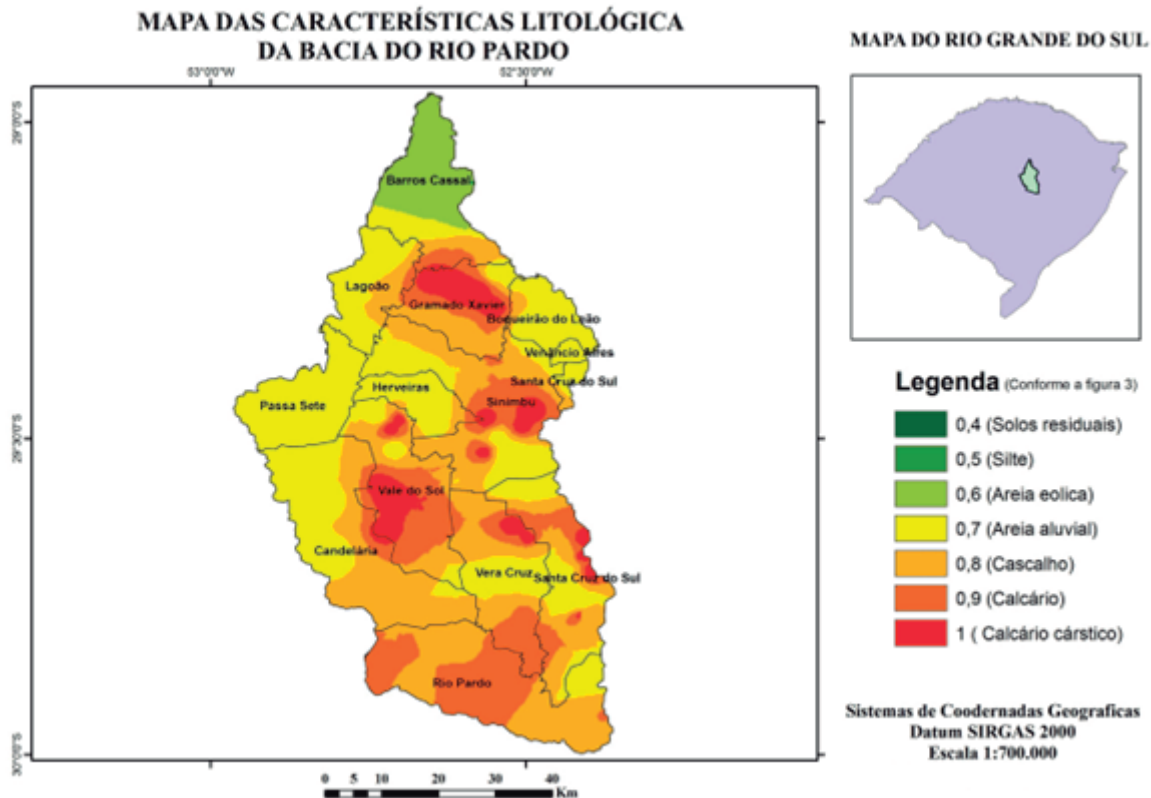
Fonte: do Autor 2022.

#### Mapa de litologia da zona não saturada

Para obter esse parâmetro foram utilizados os dados da estrutura geológica disponível no SIAGAS, com o cruzamento das coordenadas de cada um dos poços e por comparação ajustada ao tipo disponível na metodologia GOD, sendo classificados em 7 categorias (Figura 8).

Os valores 0,4 e 0,5 são categorizados como solos residuais e siltosos, sendo que o valor de 0,6 Areia eólica foi encontrado em Barros Cassal, 0,7 temos e grande parte da bacia, como Passa Sete, denominado de Areia aluvial e o valor de 0,8 mais ao centro da bacia e na extremidade sul. Em boa parte do mapa em pontos como em Vale do Sol, Gramado Xavier, e Sinimbu foram obtidos valores de 0,9 e 1 se tratando de Calcário Cárstico. Dessa forma, de acordo com as estruturas geológicas foi possível identificar as áreas com maior possibilidade de contaminação.

Figura 8 - Mapa de litologia da zona não saturada da Bacia do Rio Pardo (O).



Fonte: do Autor 2022.

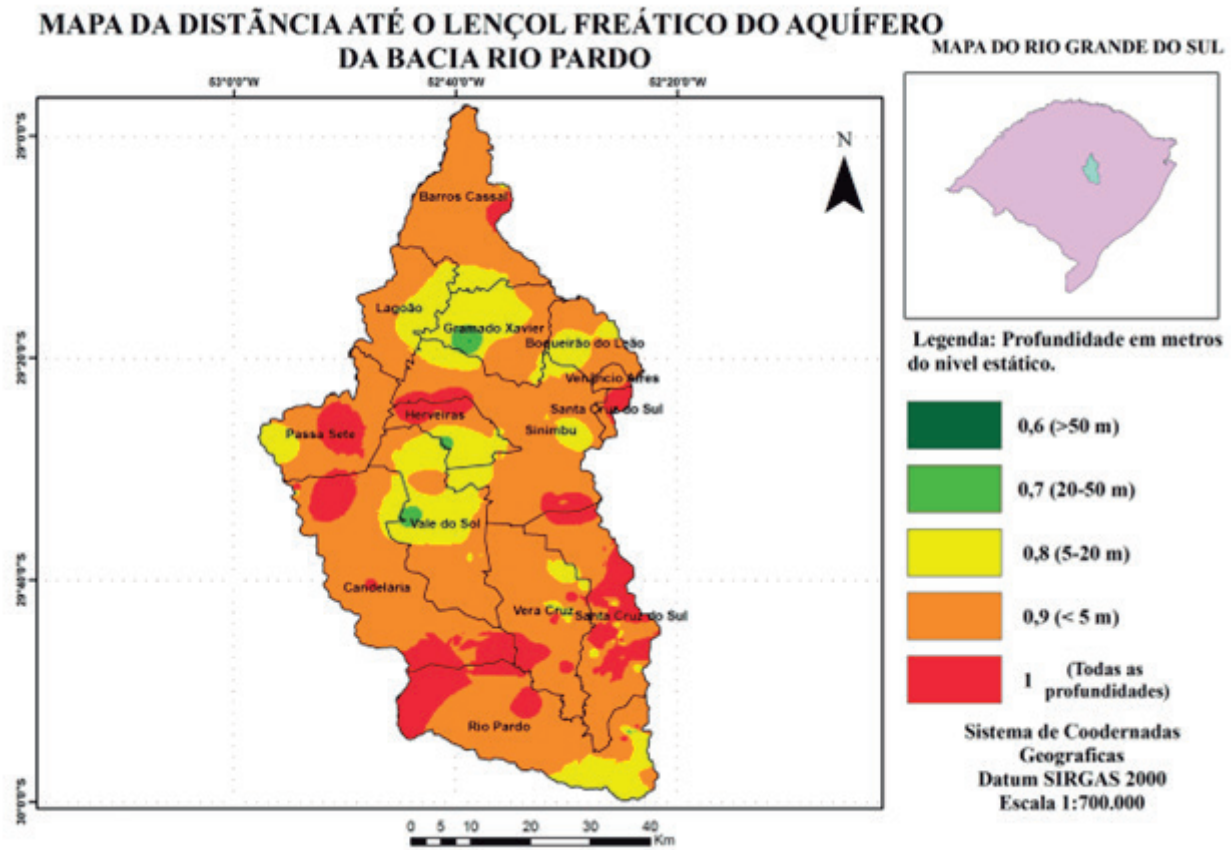
### Mapa da distância até o lençol freático

Através da tabela de dados obtidas do SIAGAS nas colunas onde consta o nível estático e freático dos poços foi possível traçar valores do teto do nível freático de cada poço, o nível do teto quanto menor, maior o risco de contaminação, resultado da menor profundidade, que é resultado natural do confinamento, que é mais suscetível a uma possível contaminante, somado que esse risco aumenta quando a estrutura geológica de maior condutividade hidráulica.

Nessas áreas é muito importante o respaldo do proprietário, tomando muito cuidado com defensivos, fertilizantes para que não ocorra a contaminação do aquífero.

Para a classificação do parâmetro “D” (nível freático) foi dividido em 5 categorias pela sua profundidade, como se instrui pela metodologia GOD e atribuído cor, onde verde representa o poços de profundidade de nível freático maior de 50 metros, que são de regiões da alta bacia do Rio Pardo e em alguns pontos específicos e 0,7 de 20 a 50 metros de teto, representado por verde claro, 0,8 de 5 a 20 metros representados pela cor amarela e temos laranja e vermelho com poços de nível freático 0 e 5 metros que estão localizados em grande parte da bacia (Figura 9).

Figura 9 - Mapa da distância até o lençol freático da Bacia do Rio Pardo.



Fonte: do Autor 2022.

### Mapa da vulnerabilidade do aquífero à contaminação

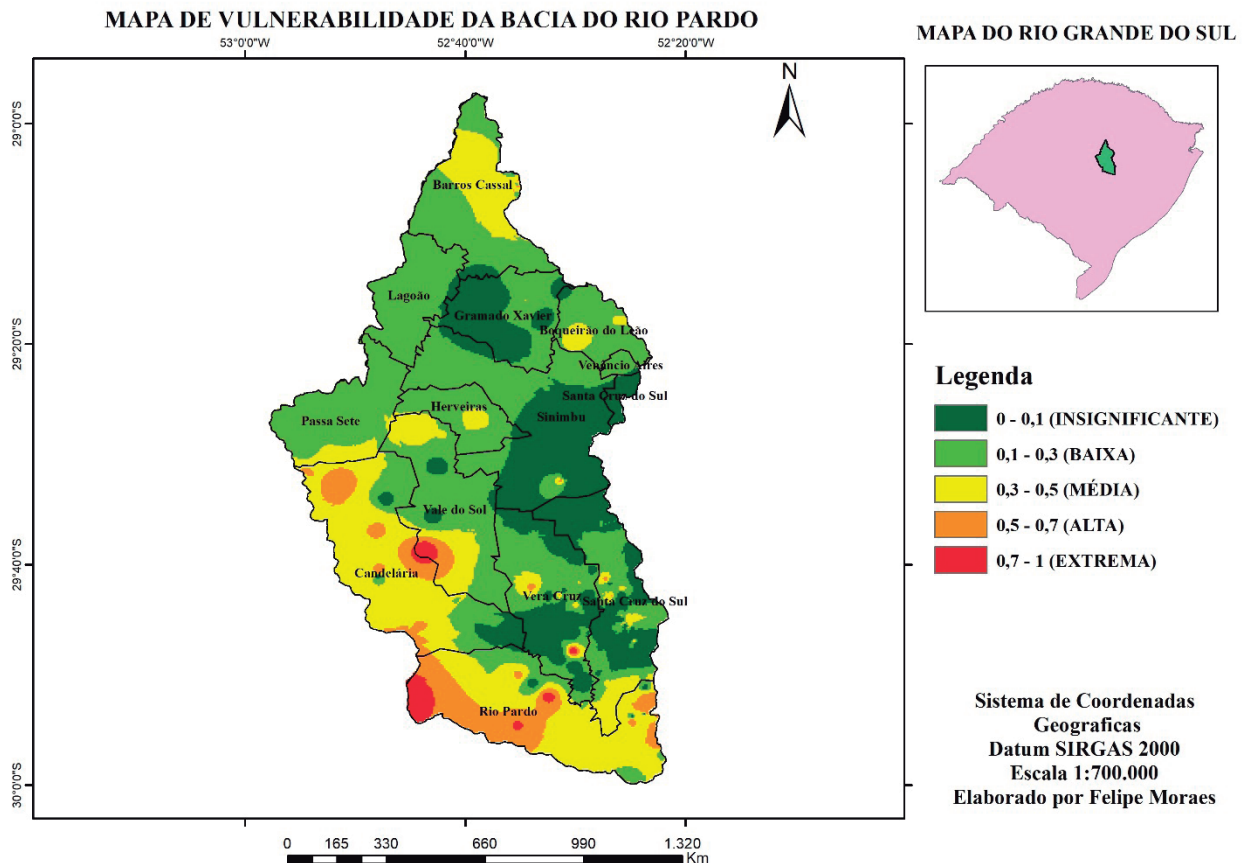
Pode se observa uma grande variação na área de estudo, sendo bastante homogênea, pela diversificação de suas características, podemos classificar o aquífero com profundidade de água subterrânea inferior a 5 metros na baixa bacia devido à maioria dos poços com teto de altura de 0 a 5 metros.

Através da metodologia GOD podemos determinar a vulnerabilidade usando os parâmetros (G,O,D) na Tabela 2, indicando a classe de vulnerabilidade, sendo especialmente representada na Figura 10, mostrando que a vulnerabilidade insignificante (índice 0,1 cor verde) e encontrada no local em que se observou solo Riodacito e andesito em grande parte no município de Gramado Xavier, pequena porção a leste de Santa Cruz e ao Centro de Sinimbu, Vera Cruz e um pequeno ponto em Vale do Sol.

Assim como a vulnerabilidade baixa (índice de 0,1 a 0,3 cor verde claro) em grande parte da bacia nos municípios de Vera Cruz, Santa Cruz, Vale do Sol, Herveiras, Passa Sete Lagoão Gramado Xavier Venâncio Aires Barros Cassal. Tivemos também vulnerabilidade média (índice de 0,3 a 0,5 cor amarela) situada em toda bacia em pequenas partes nos municípios de Heiveiras, Boqueirão do Leão, Herveiras, Passa Sete, Vera Cruz, Santa Cruz e Sinimbu, com partes maiores em Barros Cassal, quase todo território de Candelária e Rio Pardo.

Já valores mais próximos de 1 (um) com uma vulnerabilidade alta (índice de 0,5 a 0,7 cor laranja) situada em pequenos pontos nos municípios de Vera Cruz, Santa Cruz, Vale do Sol e em grande proporção em Candelária e maior proporção em Rio pardo. E os valores máximos de vulnerabilidade extrema (índice de 0,7 a 1 cor vermelha) localizada somente na baixa bacia situada a sul, sendo seus maiores no município de Candelária e Rio pardo e aparecendo em pequenos outros pontos a sul da bacia.

Figura 10 - Vulnerabilidade do aquífero à contaminação (GOD).



Fonte: do Autor 2022.

## CONCLUSÕES

Após uma análise abrangente, observou-se uma grande variação nos índices de vulnerabilidade ao longo da bacia. Nos municípios ao norte, onde predominam solos do tipo Riodacito e Andesito, os índices foram considerados baixos e insignificantes. Por outro lado, nos municípios ao sul e leste, com solos predominantemente de quartzo e Arenito, a vulnerabilidade foi classificada como extrema, especialmente na parte baixa da bacia. Destaca-se o município de Santa Cruz, que apresentou todos os índices, enquanto o município de Rio Pardo foi identificado como o mais vulnerável, e Gramado Xavier como o menos vulnerável.

Essa variação pode ser atribuída à intensa atividade agrícola na região, com destaque para o cultivo do arroz, que demanda grandes volumes de água e pode resultar no arrastamento e lixiviação

de fertilizantes e pesticidas para o aquífero, contaminando-o. Além disso, a presença de atividades industriais e o adensamento populacional também contribuem para a vulnerabilidade, juntamente com as características geológicas e hidrogeológicas da região, que podem tornar o aquífero mais suscetível à influência humana.

A utilização do método GOD (Grau de confinamento, Ocorrência de estratos geológicos e Distância) permitiu uma análise detalhada e precisa das áreas de maior risco de contaminação. A adaptação deste método ao contexto específico da bacia do Rio Pardo foi fundamental para identificar os locais com maior potencial de contaminação das águas subterrâneas.

Embora os resultados obtidos sejam considerados satisfatórios, é importante ressaltar que algumas limitações foram identificadas, como a falta de informações completas em alguns poços devido à época de sua abertura. Para garantir a precisão e confiabilidade dos dados, é fundamental o compromisso dos profissionais responsáveis pelo preenchimento correto das informações no sistema SIAGAS, destacando a importância da colaboração contínua para o aprimoramento das análises e tomadas de decisão relacionadas à gestão dos recursos hídricos na bacia do Rio Pardo.

## REFERÊNCIAS

DE ABREU, F.; CAVALCANTE, I.; MATTA, M. O sistema aquífero grande amazônia - saga: um imenso potencial de água subterrânea no brasil. **Águas Subterrâneas**, 2013. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/27831>. Acesso em: 12 mar. 2023.

ANA, AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Índice de qualidade das águas**. Disponível em: <https://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>. Acesso em: 22 fev. 2024.

ASADI, Esmacil *et al.* Groundwater quality assessment for sustainable drinking and irrigation. **Sustainability**, v. 12, n. 1, p. 177, 2019.

ABAS. **Águas subterrâneas, o que são?** Disponível em: <http://www.abas.org/educacao.php>. Acesso em: 03 set. 2022.

CRUZ, Rafael Cabral. **Água e educação, bacias hidrográficas e aspectos conceituais e práticos**. 1. ed., Santa Maria, Centro Universitário Franciscano, 2009.

DJOUDI, Salima *et al.* Assessing groundwater vulnerability to contamination in a semi-arid environment using DRASTIC and GOD models, Case of F'kirina Plain, North of Algeria. **IOSR Journal of Environmental Science**, v. 13, n. 7, p. 39-44, 2019.

FANNAKH, A.; FARSANG, A. DRASTIC, GOD, and SI approaches for assessing groundwater vulnerability to pollution: a review. **Environmental Sciences Europe**, v. 34, n. 1, p. 1-16, 2022.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. **Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas: um método baseado em dados existentes**. São Paulo: Instituto Geológico, 1993.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. & Rocha, G. A. **Riscos de poluição de água subterrânea: uma proposta de avaliação regional**. São Paulo: CEPIS/ OPS. 1988.

JESUS, J. SANTOS, M. Vulnerabilidade das águas subterrâneas no município de Itabaiana, Sergipe, pelo método god com o uso de SIG *in*: **Open Science Research IX**. Editora Científica digital, 2022.

GELAYE, Kidia K. *et al.* Effects of soil texture and groundwater level on leaching of salt from saline fields in Kesem irrigation scheme, Ethiopia. **Soil and Water Research**, v. 14, n. 4, p. 221-228, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE - RADAMBRASIL, **Levantamento de Recursos Naturais**. 1986.

MOECK, Christian *et al.* Improved water resource management for a highly complex environment using three-dimensional groundwater modelling. **Hydrogeology journal**, v. 26, n. 1, p. 133-146, 2018.

MOSTER, Claudia. **A dinâmica hidrológica da zona ripária monitorada pelo nível do lençol freático**. Editora Científica digital, 2021.

RIBEIRO, D.M.; ROCHA, W.F.; GARCIA, A.J.V. Vulnerabilidade Natural à Contaminação dos Aquíferos da Sub-bacia do Rio Siriri, Sergipe. **Águas Subterrâneas**. v. 25, n.1, p.91-102. 2011.

RIGHES, A., MORAES, F. and BURIOL, G. (2020) Instrumentation of Infiltrimeters with arduino to Determine Soil Water Infiltration Rate. **Agricultural Sciences**, 11, 1109-1115. doi: 10.4236/as.2020.

SANASA. **A água no nosso planeta - estatísticas I**. Disponível em: [http://www.sanasa.com.br/noticias/not\\_con3.asp?par\\_nrod=525&flag=PC-2](http://www.sanasa.com.br/noticias/not_con3.asp?par_nrod=525&flag=PC-2). Acesso em: 10 out. 2020.

SALAHAT, M.; Al-Qinna, M.; Mashal, K.; Hammouri, M. Identifying major factors controlling groundwater quality in semiarid area using advanced statistical techniques. **Water Resour. Manag.** 2014, 28, 3829-3841.



SEMA. **Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura**. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/resolucoes-crh>.

TUCCI, C. Regulamentação da drenagem urbana no Brasil. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 13, p. 29-42, 2016.

VAN LOPIK, J. H. *et al.* Contribution to head loss by partial penetration and well completion: implications for dewatering and artificial recharge wells. **Hydrogeology Journal**, v. 29, n. 2, p. 875-893, 202.