

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

Elisa Valéria Bonho Link Barbosa

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE E DO RISCO DE CONTAMINAÇÃO DAS
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO DA BACIA DO MAMPITUBA (DOM
PEDRO DE ALCÂNTARA, MAMPITUBA, MORRINHOS DO SUL E TRÊS
CACHOEIRAS, RS)**

Orientador(a) / Orientadores(ras):

Prof.(a) Dr.(a) Franciéle Schwanck Carlos;

Prof. Dr. Pedro Antonio Roehe Reginato

Porto Alegre, 2023

Elisa Valéria Bonho Link Barbosa

AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE E DO RISCO DE CONTAMINAÇÃO DAS
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO DA BACIA DO MAMPITUBA (DOM PEDRO
DE ALCÂNTARA, MAMPITUBA, MORRINHOS DO SUL E TRÊS CACHOEIRAS, RS)

Monografia apresentada a Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, como parte das exigências para a
obtenção do título de Bacharel em Geologia.

Orientadores:

Prof. Dra. Franciéle Schwanck Carlos

Profa. Dr. Pedro Antônio Roehe Reginato

Porto Alegre - Rio Grande do Sul

Março 2023

CIP - Catalogação na Publicação

Barbosa, Elisa Valéria
AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE E DO RISCO DE
CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO DA BACIA
DO MAMPITUBA (DOM PEDRO DE ALCÂNTARA, MAMPITUBA,
MORRINHOS DO SUL E TRÊS CACHOEIRAS, RS) / Elisa
Valéria Barbosa. -- 2023.
94 f.
Orientadora: Franciéle Schwanck Carlos.

Coorientadora: Pedro Antonio Roehe Reginato.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Geociências, Curso de Geologia, Porto Alegre,
BR-RS, 2023.

1. Água Subterrânea. 2. GOD. 3. Vulnerabilidade. 4.
Arcgis. 5. Bacia do Rio Mampituba. I. Schwanck Carlos,
Franciéle, orient. II. Antonio Roehe Reginato, Pedro,
coorient. III. Título.

ELISA VALÉRIA BONHO LINK BARBOSA

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE E DO RISCO DE CONTAMINAÇÃO DAS
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO DA BACIA DO MAMPITUBA (DOM
PEDRO DE ALCÂNTARA, MAMPITUBA, MORRINHOS DO SUL E TRÊS
CACHOEIRAS, RS)**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Geólogo e aprovado em sua forma final pelo Curso de Geologia, obtendo conceito _.

Porto Alegre, 24 de março de 2023.

Orientadores:

Prof. Dra. Franciéle Schwanck Carlos

Profa. Dr. Pedro Antônio Roche Reginato

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Tiago Vargas (UFRGS)

Prof. Dr. Alfonso Rizzo (UFRGS)

Prof. Dr. Antonio Pedro Viero (UFRGS)

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, aos meus pais Márcia e José, por todo amor, paciência, companheirismo e pelo apoio em todas as decisões da minha vida. Agradeço ao meu irmão Bruno pelas inúmeras conversas, desabafos e conselhos ao longo de toda graduação, a troca que temos é sempre especial. É realmente um privilégio de ter nascido numa família com pessoas tão incríveis.

Agradeço ao meu namorado Guilherme por todo suporte e conforto nos dias difíceis, que mesmo a distância sempre fez o possível pra me ver feliz e por estar tão radiante com minha conquista.

Agradeço minha orientadora Franciéle, que mesmo com a maternidade nunca deixou de se dedicar a me orientar e me auxiliar. Agradeço também ao meu orientador Pedro, pela paciência, dedicação e por toda disponibilidade durante a execução do projeto, possibilitando que eu finalizasse o trabalho, mais uma vez afirmo que a universidade deveria ter mais professores como o senhor.

Agradeço à UFRGS pela oportunidade de realizar este curso tão importante e aos meus professores da graduação por todos os aprendizados.

E, por fim, agradeço aos melhores colegas e amigos que poderia ter feito na vida, Luiza, Martin, Paula, Isa e Thaís. Agradeço imensamente todas as trocas que tivemos, todos os campos e todas risadas, vocês transformaram os piores momentos nos mais engraçados e tornaram possível a conclusão dessa etapa.

RESUMO

O trabalho em questão teve como propósito analisar a vulnerabilidade e o risco de contaminação das águas subterrâneas em parte da Bacia do Mampituba, localizada na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul, onde estão inseridos três sistemas aquíferos: Sistema Aquífero Guarani, Serra Geral e Quaternário Costeiro. A área de estudo corresponde aos municípios de Morrinhos do Sul, Mampituba, Dom Pedro de Alcântara e Três Cachoeiras, que tem os recursos hídricos como a principal fonte de abastecimento doméstico e rural. Para execução da pesquisa foi realizada busca por informações dos poços, que foram obtidos através de levantamento em campo, do SIAGAS, CORSAN, com as prefeituras e com as empresas de perfuração, a fim de unir a maior quantidade de dados possíveis. Foi realizado um estudo hidrogeológico para caracterização dos sistemas aquíferos e, quanto à vulnerabilidade, foi utilizado o método GOD. Para o cálculo de risco potencial foi realizada a identificação de fontes difusas e pontuais de contaminação, por meio de análises de imagens aéreas (Google Earth), tendo como base a metodologia POSH. Foram desenvolvidos mapas de vulnerabilidade para cada um dos parâmetros analisados, além dos mapas de risco de contaminação para cada um dos sistemas aquíferos. Os resultados obtidos identificaram vulnerabilidades com índices entre baixo, médio e alto para o SAG, baixo e médio para o SASG e médio, alto e extremo para o SAQC. Eram esperados níveis mais elevados de vulnerabilidade no SAQC pois corresponde a aquíferos livres, enquanto nas áreas onde o SAG se encontrava confinado o nível de vulnerabilidade esperado era menor. Os riscos potenciais de contaminação calculados para o SAG e para o SASG variaram entre nível reduzido, moderado e elevado, e para o SAQC ficaram entre reduzido, moderado, elevado e extremo. Os resultados gerados no presente trabalho podem servir como instrumento na gestão e no planejamento dos recursos hídricos da bacia, além de contribuir para o avanço do conhecimento hidrogeológico na região.

Palavras-chave: Água Subterrânea, GOD, Vulnerabilidade, ArcGIS, Bacia do Rio Mampituba.

ABSTRACT

The purpose of this work was to analyze the vulnerability and risk of groundwater contamination in part of the Mampituba Basin, located in the northeastern region of the state of Rio Grande do Sul, where three aquifer systems are inserted: Guarani Aquifer System, Serra Geral and Coastal Quaternary. The study area corresponds to the municipalities of Morrinhos do Sul, Mampituba, Dom Pedro de Alcântara and Três Cachoeiras, which have water resources as their main source of domestic and rural supply. The research was carried out by searching for information of the wells, which was obtained through field surveys, from SIAGAS, CORSAN, with the city halls and with the drilling companies, in order to gather as much data as possible. A hydrogeological study was carried out to characterize the aquifer systems and, as for vulnerability, the GOD method was used. To calculate the potential risk, diffuse and punctual sources of contamination were identified through aerial image analysis (Google Earth), based on the POSH methodology. Vulnerability maps were developed for each of the parameters analyzed, in addition to the contamination risk maps for each of the aquifer systems. The results obtained identified vulnerabilities with indexes between low, medium and high for the SAG, low and medium for the SASG, and medium, high and extreme for the SAQC. Higher levels of vulnerability were expected in SAQC because it corresponds to free aquifers, while in areas where the SAG was confined the expected level was lower. The potential risks of contamination calculated for SAG and SASG ranged from low, moderate and high level, and for SAQC were between low, moderate, high and extreme. The results generated in this work can serve as an instrument in the management and planning of water resources in the basin, in addition to contributing to the advancement of hydrogeological knowledge in the region.

Keywords: Groundwater, GOD, Vulnerability, ArcGIS, Mampituba River Basin.

LISTA DE SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

CE – Condutividade Elétrica

CORSAN - Companhia Riograndense de Saneamento

CPRM - Serviço Geológico do Brasil

DRHS - Departamento de Gestão de Recursos Hídricos e Saneamento

EPA - U.S. Environmental Protection Agency

GOD – Groundwater occurrence, Overall lithology of the un saturated zone, Depth to the water table

GPS – Global Positioning System

GSG – Grupo Serra Geral

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDW - Interpolação pela Ponderação do Inverso da Distância (Inverse distance weighting)

NE – Nível Estático

POSH - Pollutant Origin, Surcharge Hydraulically

SAG – Sistema Aquífero Guarani

SASG – Sistema Aquífero Serra Geral

SAQC – Sistema Aquífero Quaternário Costeiro

SEMA – Secretaria Estadual do Meio Ambiente

SIAGAS – Sistema de Informação de águas Subterrâneas

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

VIGIÁGUA - Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 LOCALIZAÇÃO E ÁREA DE ESTUDO	2
1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA/HIPÓTESE	3
1.3 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS	5
2 ESTADO DA ARTE / REFERENCIAL TEÓRICO	6
2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO GEOLÓGICA DA ÁREA DE ESTUDO	6
2.1.1 <i>Bacia do Paraná</i>	6
2.1.2 <i>Bacia de Pelotas</i>	10
2.2 CONTEXTUALIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MAMPITUBA	11
2.2.1 <i>Sistema Aquífero Serra Geral (SASG)</i>	13
2.2.2 <i>Sistema Aquífero Guarani</i>	14
2.2.3 <i>Sistema Aquífero Quaternário Costeiro</i>	15
2.3 VULNERABILIDADE DE AQUÍFEROS	15
2.4 RISCO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DE AQUÍFEROS	18
3 METODOLOGIA E ESTRATÉGIAS DE AÇÃO	21
3.1 LEVANTAMENTO DE DADOS E INVENTÁRIO	21
3.2 AVALIAÇÃO GEOLÓGICA	22
3.3 AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA	22
3.4 AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE	23
3.5 IDENTIFICAÇÃO DE FONTES DE CONTAMINAÇÃO E AVALIAÇÃO DO RISCO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO PELO MÉTODO POSH	25
3.5.1 <i>Fontes Pontuais</i>	25
3.5.2 <i>Fontes Difusas</i>	26
3.6 ANÁLISE DO RISCO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
4.1 RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NA ÁREA DE ESTUDO	29
4.2 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA	32
4.2.1 <i>Grupo Serra Geral</i>	34
4.2.2 <i>Formação Botucatu</i>	34
4.2.3 <i>Depósitos Colúvio Aluvionares</i>	35
4.2.4 <i>Depósitos de Barreira Pleistocênica III</i>	35
4.2.5 <i>Depósitos de Planície de Inundação</i>	35
4.3 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA	35
4.3.1 <i>Sistema Aquífero Guarani</i>	36
4.3.2 <i>Sistema Aquífero Serra Geral</i>	38
4.3.3 <i>Sistema Aquífero Quaternário Costeiro</i>	39
4.4 AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADE	40
4.4.1 <i>Sistema Aquífero Guarani</i>	40
4.4.1.1 Parâmetro G	40
4.4.1.2 Parâmetro O	41
4.4.1.3 Parâmetro D	42
4.4.1.4 Vulnerabilidade SAG	44
4.4.2 <i>Sistema Aquífero Serra Geral</i>	45
4.4.2.1 Parâmetro G	45
4.4.2.2 Parâmetro O	46
4.4.2.3 Parâmetro D	47
4.4.2.4 Vulnerabilidade SASG	48
4.4.3 <i>Sistema Aquífero Quaternário Costeiro</i>	50
4.4.3.1 Parâmetro G	50
4.4.3.2 Parâmetro O	51
4.4.3.3 Parâmetro D	52
4.4.3.4 Vulnerabilidade do SAQC	53
4.5 CARGA CONTAMINANTE POTENCIAL	54
4.5.1 <i>Carga Pontual</i>	54

4.5.2 Carga Difusa.....	56
4.5.3 Risco Potencial de Contaminação.....	60
4.5.3.1 Risco Pontual.....	60
4.5.3.2 Risco Difuso.....	63
5 CONCLUSÕES.....	66
REFERÊNCIAS.....	68
ANEXOS.....	73
ANEXO A.....	74
ANEXO B.....	76
ANEXO C.....	82

1 INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas são fontes essenciais para o abastecimento humano e para o desenvolvimento social das cidades, sendo elas, em sua maioria, fontes de água segura e de boa qualidade. Hoje no Brasil, segundo o Atlas Águas (ANA, 2021), cerca de 57% das cidades onde vivem 153 milhões de habitantes (85% da população urbana) dependem, exclusiva ou predominantemente, de mananciais superficiais. Abastecendo 15% da população, os mananciais subterrâneos são a forma exclusiva ou predominante de abastecimento de cerca de 2.500 sedes urbanas (43% das cidades).

Frente à importância das águas subterrâneas, pode-se pensar que a proteção dos aquíferos, no tocante à prevenção da deterioração da qualidade, venha recebendo a atenção necessária, sobretudo próximo aos grandes centros urbanos. Entretanto, por inúmeras razões, tal atenção não é dada (Foster e Hirata, 1993). Este cenário, por vezes, torna evidente o potencial elevado que a ação antrópica tem de gerar poluição nas águas superficiais e subterrâneas. Os números acerca do esgotamento sanitário nas cidades, por exemplo, ainda indicam situações muito precárias, com pouca infraestrutura e destaque em questão de políticas públicas. O que pode resultar na proliferação de doenças e na contaminação de corpos hídricos.

A gestão adequada das águas superficiais e subterrâneas é necessária para a manutenção da vida e de todas as atividades humanas. Populações em desenvolvimento e crescimento necessitam cada vez mais de água para uso diário, saneamento, indústria e produção de alimentos (Nogueira, 2010). Considerando este cenário, faz-se necessário expandir o estudo a respeito das características hidrogeológicas dos aquíferos, bem como a avaliação criteriosa durante a construção de novos poços para água subterrânea. Estas informações são fundamentais para conseguir analisar o grau de proteção no qual o aquífero se encontra, pois apesar de mais preservadas que as águas superficiais, as águas subterrâneas ainda podem sofrer contaminação quando o poluente infiltra pelas camadas superiores até o lençol freático.

Considerando os pontos expostos anteriormente, este estudo foi desenvolvido visando avaliar a vulnerabilidade e o risco potencial de contaminação dos sistemas aquíferos presentes em parte da Bacia do Rio Mampituba.

1.1 Localização e Área de Estudo

A Bacia do Rio Mampituba pertence a dois estados do sul do Brasil, tem cerca de 708,25km² do seu terreno pertencente ao estado do Rio Grande do Sul e 1.232,48km² de sua área na região de Santa Catarina. A população estimada, em território gaúcho, é de 45.855 habitantes, sendo 37.248 habitantes em áreas urbanas e 7.608 habitantes em áreas rurais (SEMA, 2020). Na Tabela 1, podemos verificar a relação entre as cidades e as respectivas porcentagens do território inserido na bacia.

Tabela 1: Porcentagem da área do município na bacia. Fonte: Diagnóstico do Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Mampituba (SEMA, 2020)

Municípios	Área do município (km ²)	Área do município na bacia (km ²)	Porcentagem da área do município na bacia
Araranguá	304,95	77,75	26 %
Balneário Arroio do Silva	94,19	80,52	86 %
Balneário Gaivota	148,49	148,49	100 %
Ermo	63,62	1,91	3 %
Jacinto Machado	437,04	66,03	15 %
Passo de Torres	96,84	95,30	98 %
Praia Grande	292,06	292,06	100 %
Santa Rosa do Sul	151,55	151,14	100 %
São João do Sul	179,71	179,71	100 %
Sombrio	142,48	139,57	83 %
Total SC		1232,48	
Cambará do Sul	1.201,60	139,18	12 %
Dom Pedro de Alcântara	79,10	51,19	65 %
Mampituba	157,99	157,99	100 %
Morrinhos do Sul	165,06	164,39	100 %
São Francisco de Paula	3.269,73	19,53	1 %
Torres	160,47	127,09	79 %
Três Cachoeiras	250,74	39,79	16 %
Três Forquilhas	216,82	9,09	4 %
Total RS		708,25	

Os municípios de Morrinhos do Sul, Mampituba, Três Cachoeiras e Dom Pedro de Alcântara, abrangidos no estudo, encontram-se nesta bacia, que se localiza na Região Hidrográfica das Bacias Litorâneas, no litoral norte do estado do Rio Grande do Sul (SEMA, 2020). A escolha da área de estudo levou em consideração a situação do abastecimento de água dos municípios e a presença de três sistemas aquíferos na região: Serra Geral, Guarani e Quaternário Costeiro. Além disso, a população inserida na área de estudo é estimada em 19.550 habitantes, segundo o CENSO 2021, sendo que a atividade econômica predominante é a agricultura de arroz e bananas, além da pecuária. A área é apresentada na Figura 1.

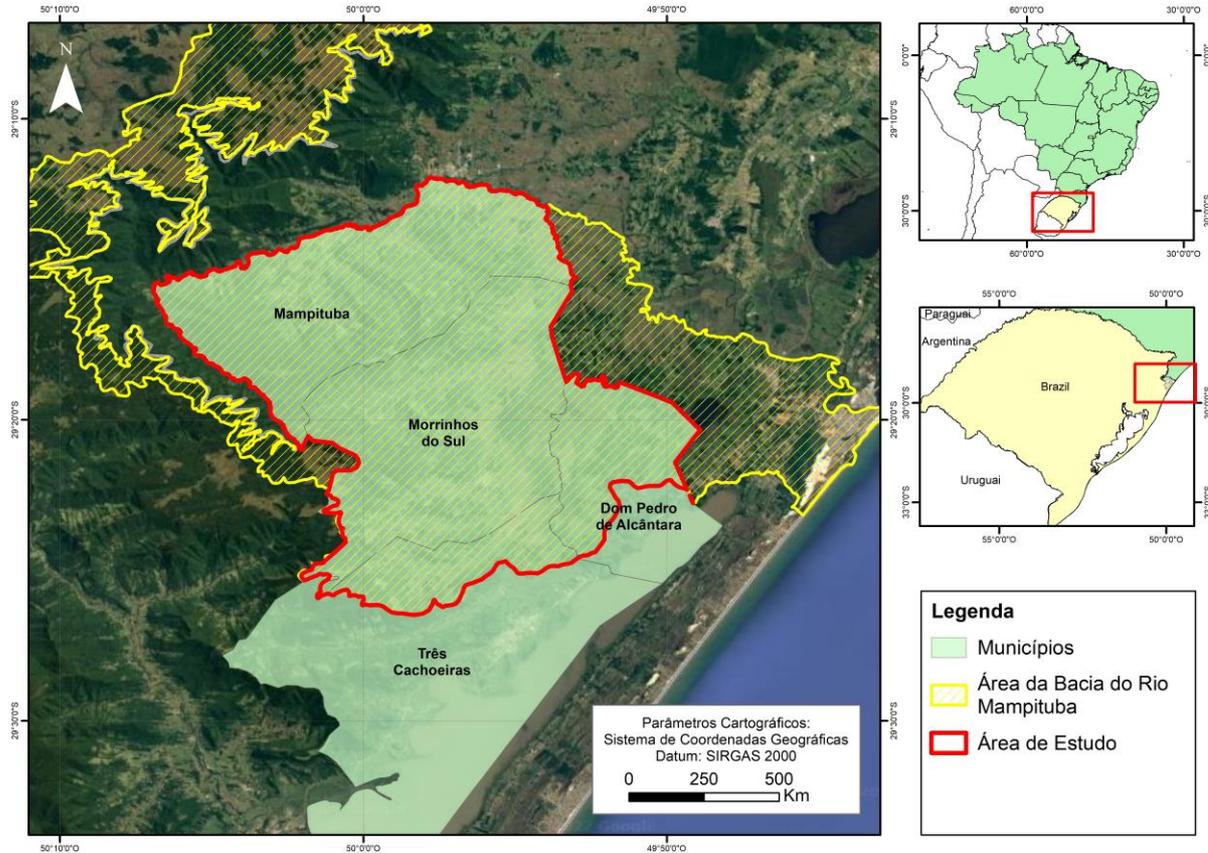


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo. Fonte da autora, a partir de dados do IBGE.

1.2 Caracterização do Problema/Hipótese

Os municípios de Dom Pedro de Alcântara, Mampituba, Morrinhos do Sul e Três Cachoeiras, inseridos na região de estudo, são predominantemente abastecidos por reservas subterrâneas (Figura 2), conforme informado no Atlas Água (ANA, 2021). A importância dessas reservas se associa a necessidade dos recursos hídricos para o desenvolvimento social e econômico dos municípios, visto que, além do abastecimento doméstico e industrial, eles têm como principais atividades econômicas a agricultura e pecuária. As atividades de agricultura realizadas na área correspondem predominantemente à produção de arroz, bananas e cana-de-açúcar, as quais exigem elevado consumo de água na produção.

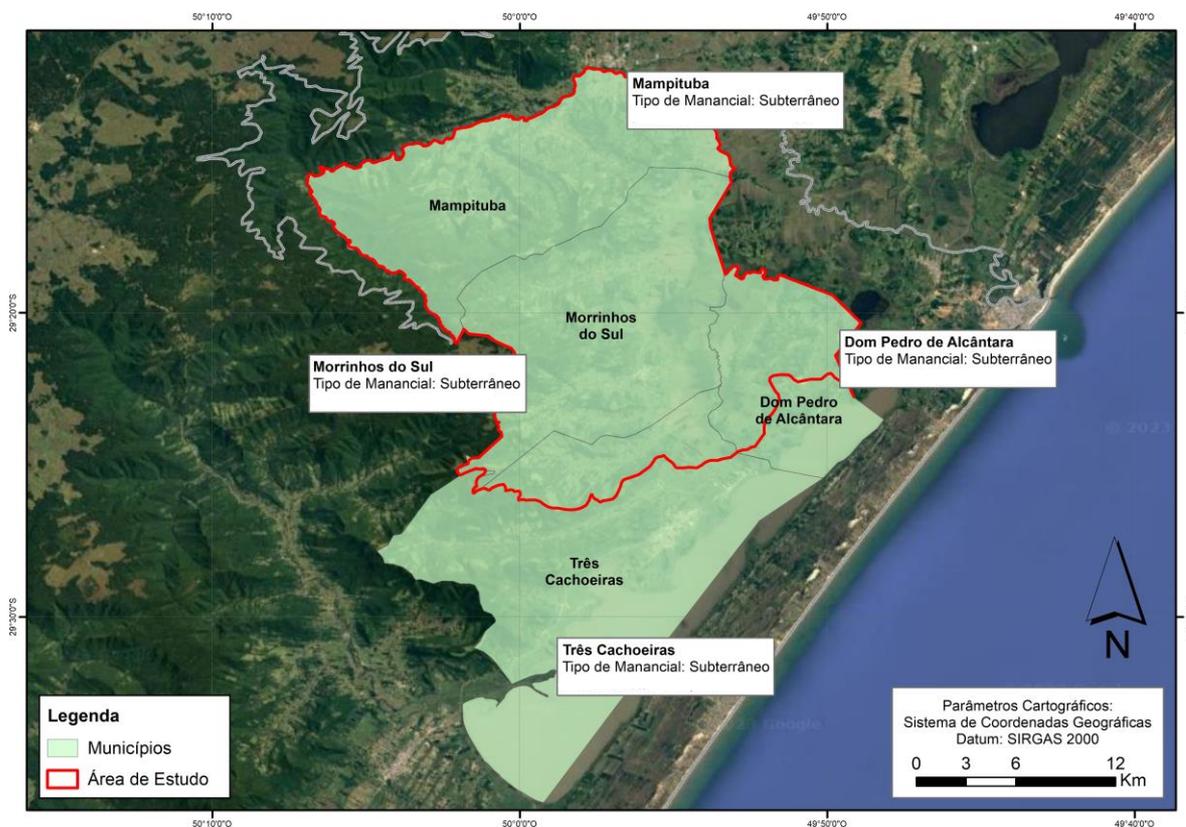


Figura 2: Tipo de abastecimento dos municípios do estudo. Fonte: Atlas Águas (ANA, 2021).

Bohn (2008), realizou um trabalho na Bacia do Mampituba que relacionava o tipo de produção agrícola com as principais pressões ambientais que cada sistema poderia causar. A produção de arroz irrigado, que ocorre nas áreas de várzea, representa alto risco de contaminação da água pelas aplicações de inseticidas, insumos e revolvimento do solo. A produção de cana-de açúcar representa baixo risco, mas ainda pode comprometer a água devido ao lançamento de vinhoto (sub-produto do processamento da cachaça) e do descarte dos resíduos gerados. A produção de bananas utiliza um fungicida que tem efeito tóxico baixo, portanto o risco de contaminação das águas é dado como baixo.

A região da Bacia do Mampituba, embora composta por municípios com população relativamente pequena, é de grande importância para o desenvolvimento social e agrícola do estado. Porém, apesar disso, ainda existem poucas informações e estudos acerca do abastecimento, da vulnerabilidade e dos riscos de contaminação dos aquíferos presentes na área.

Com base no que foi colocado percebe-se que a motivação para realização desse trabalho, foi a possibilidade de compreender melhor as características, zonas de vulnerabilidade e os riscos potenciais de contaminação das águas subterrâneas. Assim, as

informações e resultados obtidos através desse estudo poderão ser utilizadas como ferramenta de auxílio a gestores e outros pesquisadores, que terão maior quantidade de dados para auxiliar na gestão e no planejamento dos recursos hídricos.

1.3 Objetivos Gerais e Específicos

Esse trabalho foi desenvolvido visando avaliar a vulnerabilidade e o risco potencial de contaminação dos aquíferos presentes na área de Mampituba, Morrinhos do Sul e em parte das áreas de Dom Pedro de Alcântara e Três Cachoeiras, na região da Bacia do Mampituba.

Os objetivos específicos do presente trabalho são:

- Avaliar o uso da água subterrânea na área de estudo;
- Realizar a caracterização dos sistemas aquíferos existentes na região de estudo;
- Analisar a vulnerabilidade dos aquíferos presentes na área utilizando o método GOD;
- Avaliar o risco potencial de contaminações nos sistemas aquíferos existentes na área de estudo.

2 ESTADO DA ARTE / REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Contextualização Geológica da Área de Estudo

2.1.1 Bacia do Paraná

Os municípios de Dom Pedro de Alcântara, Mampituba, Morrinhos do Sul e Três Cachoeiras estão localizados na porção nordeste do estado do Rio Grande do Sul, entre a Bacia do Paraná e a Bacia de Pelotas. A primeira, com cerca de 1.050.000 km² apenas em território brasileiro, compreende três áreas de sedimentação independentes, separadas por profundas discordâncias: Bacia do Paraná propriamente dita, uma área de sedimentação que primitivamente se abria para o oceano Panthalassa a oeste (Milani e Ramos, 1998); a Bacia Serra Geral, compreendendo os arenitos eólicos da Formação Botucatu e os derrames vulcânicos da Formação Serra Geral; e a Bacia Bauru, uma bacia intracratônica (Milani e Melo, 2003).

Milani (1997) separou ciclos para a formação da bacia do Paraná em supersequências, nomeadas de: Rio Ivaí, Paraná, Gondwana I, II e III. Considerando esta classificação, na área de estudo há a ocorrência da Supersequência Gondwana III, o qual tem inserido o Grupo São Bento, que corresponde às Formações Serra Geral e Botucatu. A distribuição das Supersequências pode ser visualizada na Figura 3.

De acordo com o trabalho de Wildner e Lopes (2010), as condições de erosão em ampla escala ligadas à abrasão eólica do substrato no interior do Gondwana, refletiram-se na Bacia do Paraná como a mais pronunciada lacuna de seu registro estratigráfico (~35 Ma.). Sobre essa superfície depositou-se, a partir do final do Jurássico, a Supersequência Gondwana III, representada pelos arenitos róseos da Formação Botucatu, registro de extensos campos de dunas eólicas, sucedidos por intenso magmatismo registrado pelos derrames e intrusões de rochas básicas e ácidas de idade eocretácica da Formação Serra Geral (Valanginiano-Barremiano), relacionadas aos momentos iniciais de ruptura do Gondwana.

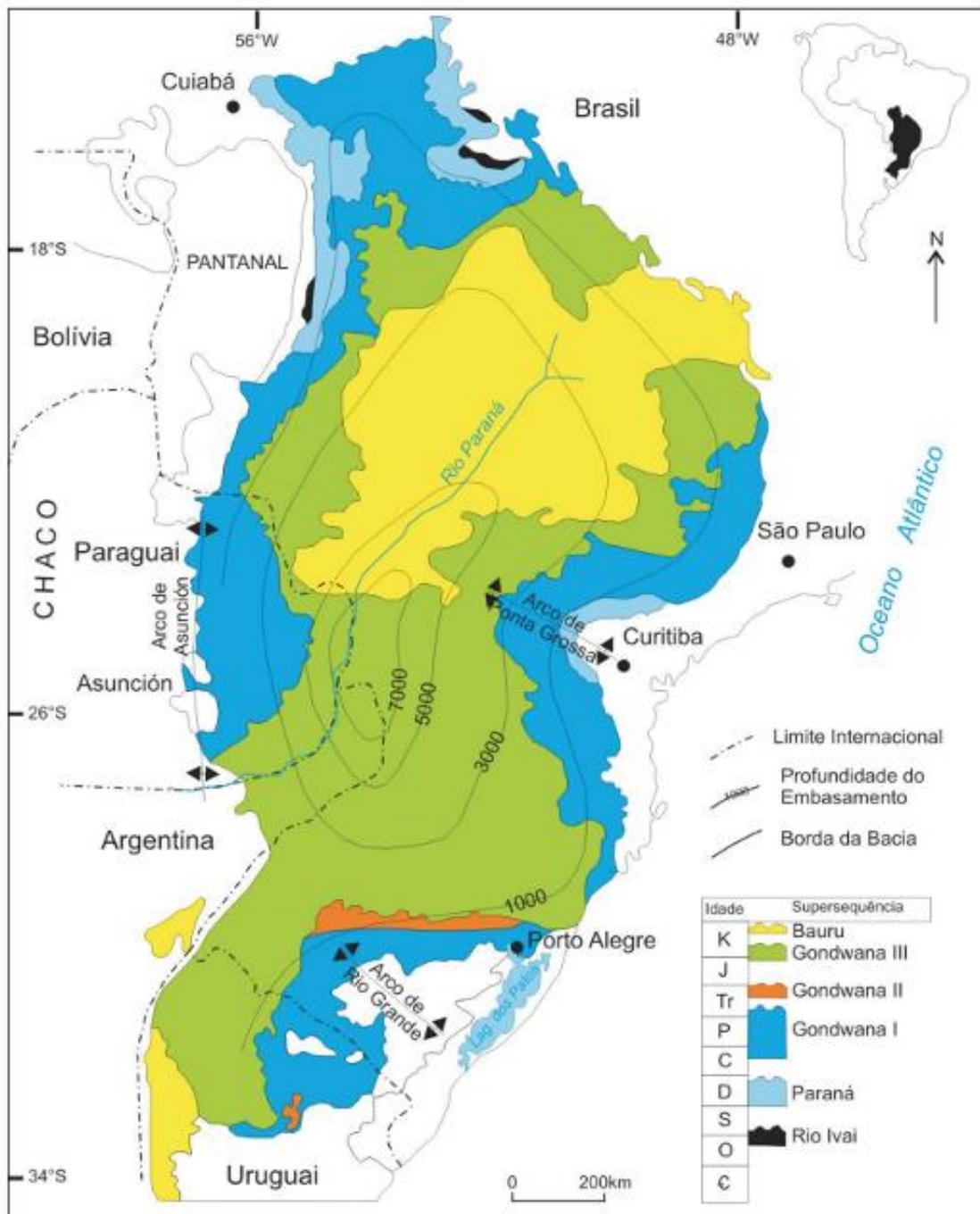


Figura 3: Distribuição das Superseqüências na bacia do Paraná (modificado de Milani, 1997).

O Mapa Geológico da Bacia do Paraná (CPRM, 2022) apresenta com detalhes a relação entre as unidades litoestratigráficas presentes na área e, além disso, evidenciou com maior precisão a extensão da bacia pelo território brasileiro. Na Figura 4, pode-se visualizar o mapa da geologia da Bacia do Paraná em detalhe para a área de estudo, onde fica destacado a presença do Grupo Serra Geral, com as Unidades Palmas, Torres, Vale do Sol e Botucatu.

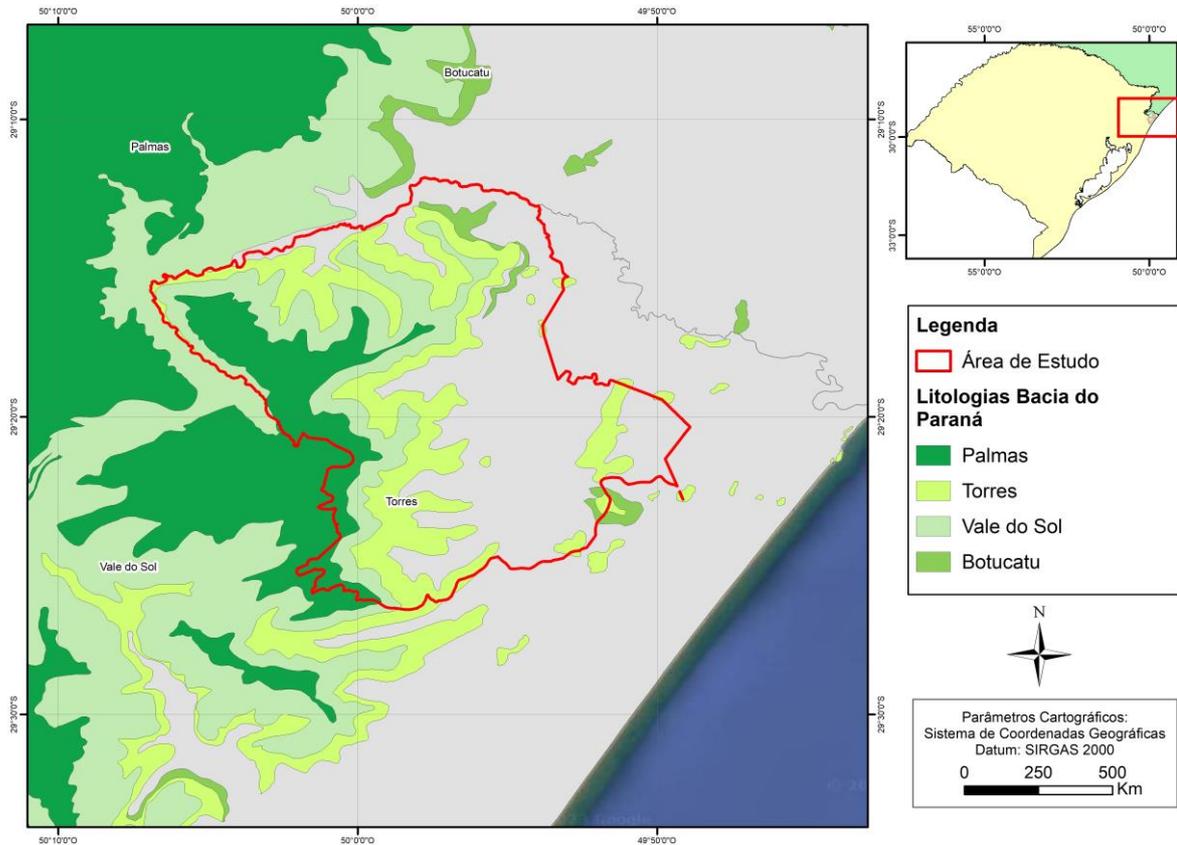


Figura 4: Unidades litoestratigráficas da Bacia do Paraná presentes na área de estudo, feito pela autora com dados da CPRM (2022).

Ao analisar a região de estudo no Mapa Geológico do Rio Grande do Sul (CPRM, 2008) e o Mapa Geológico da Bacia do Paraná (CPRM, 2022) se destaca estratigraficamente o Grupo Serra Geral (GSG), uma sequência vulcânica que atinge cerca de 1700m no centro da bacia (Piccirillo & Melfi, 1988; Frank *et al.*, 2009). Na área de estudo, que se localiza na borda da estrutura, a espessura pode variar de 500m a 700m (Frank *et al.*, 2009) e a estratigrafia presente corresponde à Formação Botucatu, Formação Torres, Formação Vale do Sol e Formação Palmas (Figura 5).

Segundo Rossetti & Simões (2021), a Formação Palmas é composta por rochas ácidas e com baixo-Ti, constituindo extensos platôs e camadas contínuas ao longo de centenas de metros. Além disso, ocorre nas porções de topo da pilha vulcânica e se intercala a andesitos basálticos. Em sua maioria representam derrames tabulares, domos, lobos de lava e sistemas de condutos complexos (Polo *et al.*, 2018; Rossetti *et al.*, 2018; Simões *et al.*, 2018a)

A Formação Torres, segundo Rossetti & Simões (2021), agrupa depósitos vulcânicos e sedimentares, relacionados ao magmatismo da Província Magmática Paraná-Etendeka (PMPE), e compõe a porção inferior do Grupo Serra Geral. Segundo o Mapa Geológico da Bacia do Paraná (CPRM, 2022) a Formação compreende basaltos e andesitos basálticos

intercalados na base com arenitos e heterolitos areia-lama; derrames pahoehoe em lençol, dedos e lobos de lava e estrutura anastomosada.

A Formação Vale do Sol corresponde ao empilhamento vertical de derrames tabulares espessos (>25m) de andesitos basálticos, que representam o estágio principal da construção da sequência vulcânica do Grupo Serra Geral no sul do Brasil (Rossetti & Simões, 2021). O Mapa Geológico da Bacia do Paraná (CPRM, 2022) destaca ainda que a Formação é composta por derrames *rubbly pahoehoe* (com brechas autoclásticas no topo), tabulares, espessos e extensos.

A Formação Botucatu é constituída predominantemente por arenitos eólicos, que formavam um imenso campo de dunas na porção central do Gondwana durante o Eo-Cretáceo (Rossetti & Simões, 2021). Esta formação é composta por arenitos rosados, com granulometria fina a média e com grãos arredondados, de aspecto fosco (Scherer, 2000).

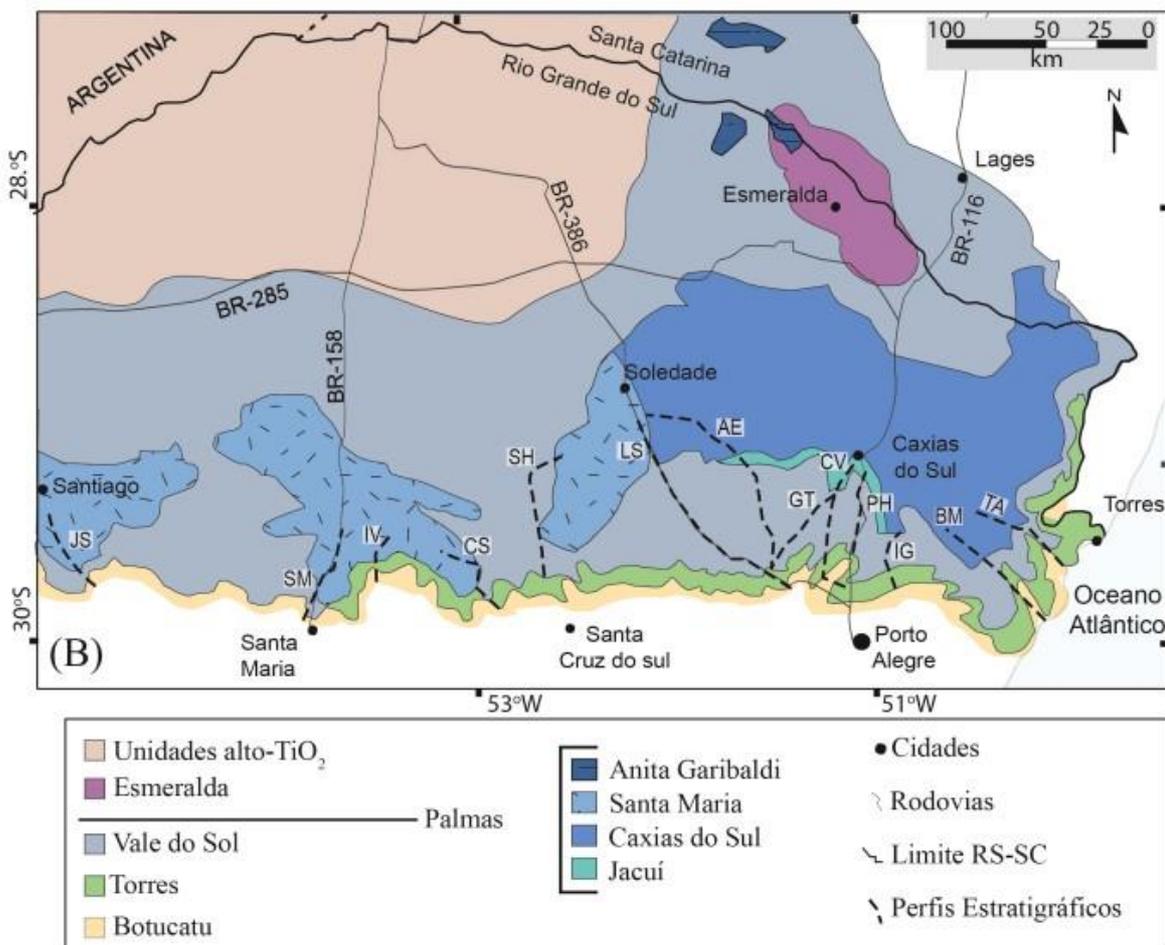


Figura 5: Grupo Serra Geral na região sul do Brasil (modificado de Rossetti *et al.*, 2018; Rossetti *et al.*, 2021).

2.1.2 Bacia de Pelotas

A Bacia de Pelotas, por sua vez, está localizada na margem leste do continente sul-americano entre o Cabo de Santa Marta (Santa Catarina) e La Coronilla (Uruguai). Segundo Barboza (2022), a planície costeira possui o registro mais completo de eventos quaternários, ao longo dos 770km de extensão e dos seus 10 a 15 km de largura (trecho Tramandaí-Torres), alcançando um valor máximo de 100km, próximo à Porto Alegre, como pode-se visualizar na Figura 6.

Tomazelli e Villwock (2000) destacam que esta configuração geológica e geomorfológica atual da PCRS resulta da atuação de vários processos – construtivos e destrutivos – que nela operaram em diferentes escalas de grandeza, temporal e espacial. As feições mais modernas da região representam apenas os últimos capítulos de uma longa história evolutiva e se encontram superimpostas a feições de escala maior. Dentre estas se destacam as feições controladas basicamente por processos tectônicos e que definem o arcabouço geológico-geomorfológico regional.

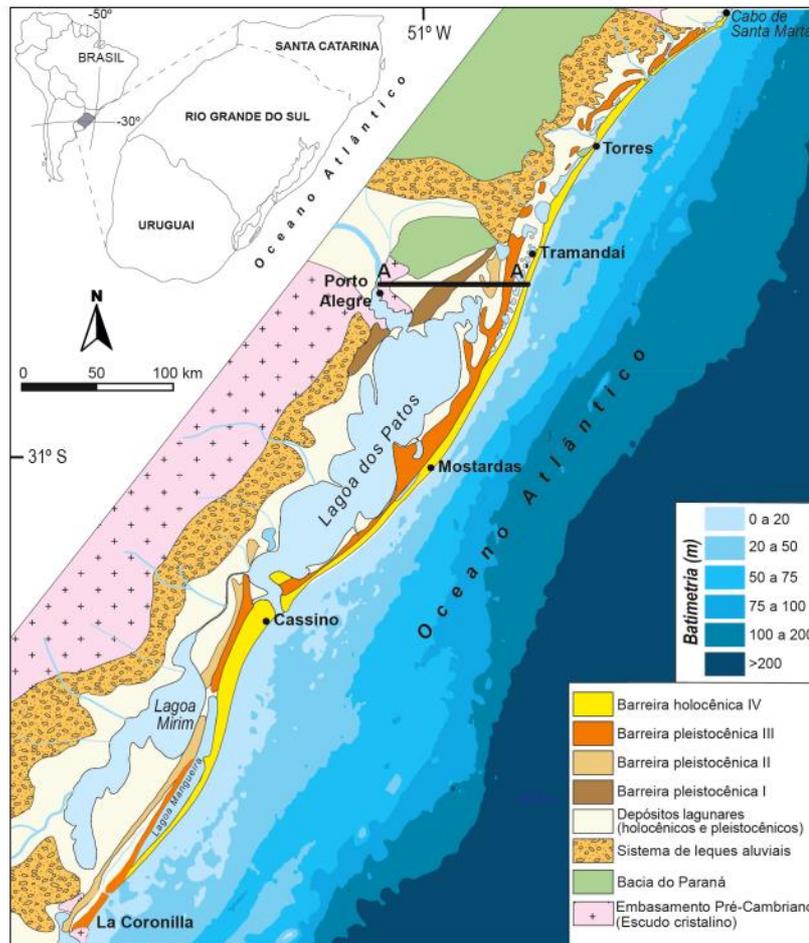


Figura 6: Mapa geológico simplificado da Bacia de Pelotas (modificado de Dillenburg & Barboza, 2014; Rosa *et al.*, 2017; Bitencourt *et al.*, 2020).

Ao longo da Planície Costeira do Rio Grande do Sul são identificados, conforme modelo proposto por Villwock *et al.* (1986), dois tipos principais de sistemas deposicionais: (1) um sistema de leques aluviais, que ocupa uma faixa contínua, ao longo da parte mais interna da planície; e (2) quatro distintos sistemas deposicionais transgressivos-regressivos do tipo laguna-barreira.

Na área de estudo estão presentes o sistema de leques aluviais e os depósitos de barreira pleistocênica III – depósitos de planície lagunar. No livro *Contribuições à Geologia do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina* (SBG, 2021), Barboza *et al.* (2021), destaca que o sistema de leques aluviais teve sua geomorfologia controlada principalmente pelas mudanças climáticas eustáticas, durante os períodos Terciário evoluindo ao longo do Quaternário. No texto, Barboza cita Tomazzeli *et al.* (2007) onde diz que durante os períodos climáticos mais úmidos, as formas originais dos leques aluviais foram suavizadas e alteradas, resultando, no final, na formação de uma rampa de depósitos aluviais, que mergulha suavemente, no sentido da bacia.

Além disso, outra unidade presente na área de estudo, são os depósitos de barreira pleistocênica III – depósitos de planície lagunar. Segundo Tomazzelli & Dillenburg (2007) a Barreira III é a que apresenta melhor preservação entre os sistemas pleistocênicos. Os depósitos a ela correlacionáveis se estendem, de maneira quase contínua, ao longo de toda a planície costeira da Bacia de Pelotas. Assim, o desenvolvimento da Barreira III possibilitou a formação dos grandes corpos lagunares, que ainda se destacam na paisagem da região costeira (Lagoa dos Patos (RS), Complexo Lagunar Santo Antônio dos Anjos, Imaruí e Mirim (SC)). Conforme Barboza *et al.* (2021), os depósitos sedimentares, correspondentes às fácies lagunares, associadas aos sistemas pleistocênicos I, II e III, são representadas por areia siltico-argilosas, mal selecionadas, maciças ou com laminação plano-paralela.

2.2 Contextualização Hidrogeológica da Bacia Hidrográfica do Rio Mampituba

A definição de água subterrânea, conforme Feitosa (2008), corresponde como aquela que ocorre abaixo do nível freático ou saturado, presente nas formações geológicas aflorantes, e nas formações geológicas profundas totalmente saturadas. As águas subterrâneas têm origem no ciclo hidrológico, que compreende ao sistema cíclico pelo qual a água percorre do oceano para a atmosfera, e daí para os continentes, de onde retorna, de forma superficial e subterrânea, para os oceanos. Este ciclo é coordenado através de diversos fatores, como a gravidade e densidade, para as etapas que ocorrem no solo e subsolo, e por fatores climáticos

como, por exemplo, temperatura do ar, ventos, umidade relativa do ar e insolação, que são responsáveis pela circulação das águas das superfícies para a atmosfera. (Figura 7).

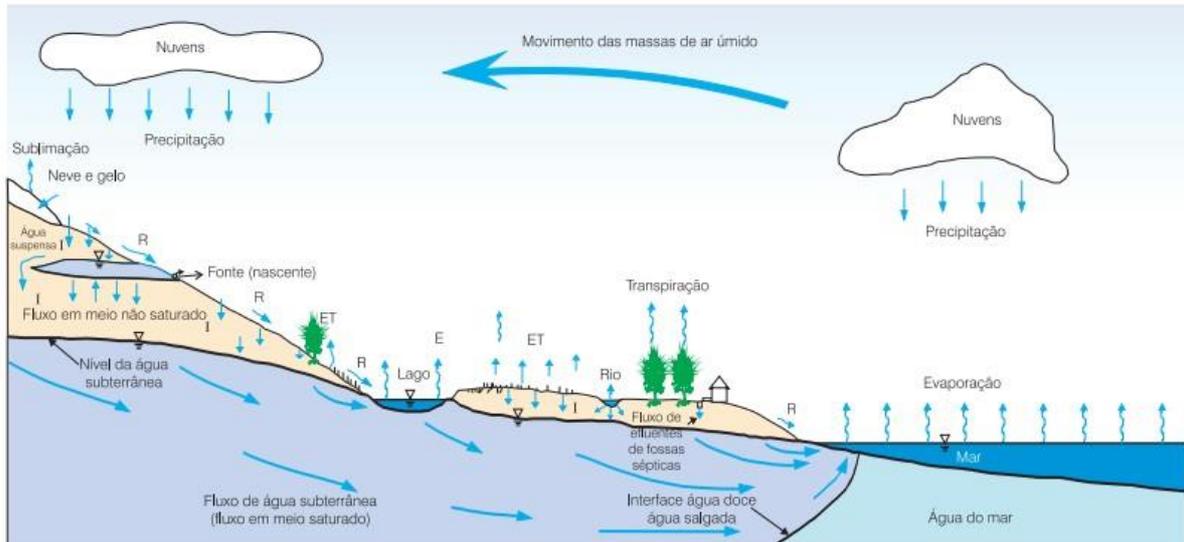


Figura 7: Representação esquemática do ciclo hidrológico com os componentes responsáveis pela circulação hídrica. Retirado de Feitosa *et al* (2008).

Conforme descreve Feitosa (2008), no geral as litologias podem ser divididas entre aquíferos, aquíferos e aquícludes. Os aquíferos são camadas nas quais a porosidade efetiva e a condutividade hidráulica são maiores, como os arenitos, indicando maior volume e circulação de água. Os aquíferos são corpos formados por rochas com coeficiente de porosidade efetiva e de condutividade hidráulica relativamente baixas, como siltitos ou arenitos muito finos, assim os volumes de água estocados nessas camadas são baixos e os fluxos mais lentos. Por fim, os aquícludes correspondem às rochas ou sedimentos que foram submetidas à intensos processos de compactação, resultando em porosidades efetivas e condutividades hidráulicas muito baixas, de forma que o volume de água que percorre o gradiente hidráulico é quase nulo.

Entre os primeiros trabalhos realizados sobre os aquíferos existentes no Estado do Rio Grande do Sul, destaca-se o de Hausman (1960), onde foi proposta uma divisão da distribuição das águas subterrâneas do estado em cinco grandes regiões, de acordo com às influências estruturais e morfológicas, que foram: Planalto Basáltico, Depressão Periférica, Planalto Cristalino, Planície Uruguia e Planície Litorânea.

Atualmente o Rio Grande do Sul está dividido em vinte e cinco bacias hidrográficas, agrupadas em três distintas Regiões Hidrográficas, a saber: Região Hidrográfica do Uruguai, Região Hidrográfica do Guaíba e Região Hidrográfica do Litoral (SEMA, 2020). Nesta está

inserida a Bacia Hidrográfica do Rio Mampituba, além da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí, do Litoral Médio, do Rio Camaquã e da Lagoa Mirim e do Canal São Gonçalo. Esta bacia contém quatro Sistemas Aquíferos: Serra Geral, Grupo Passa Dois, Formação Botucatu e Depósitos Litorâneos. Na área de estudo, temos a presença dos Sistemas Aquíferos Serra Geral II e III, Botucatu e Quaternário Costeiro I e II.

A Figura 8 evidencia a extensão dos sistemas aquíferos presentes na área de estudo.

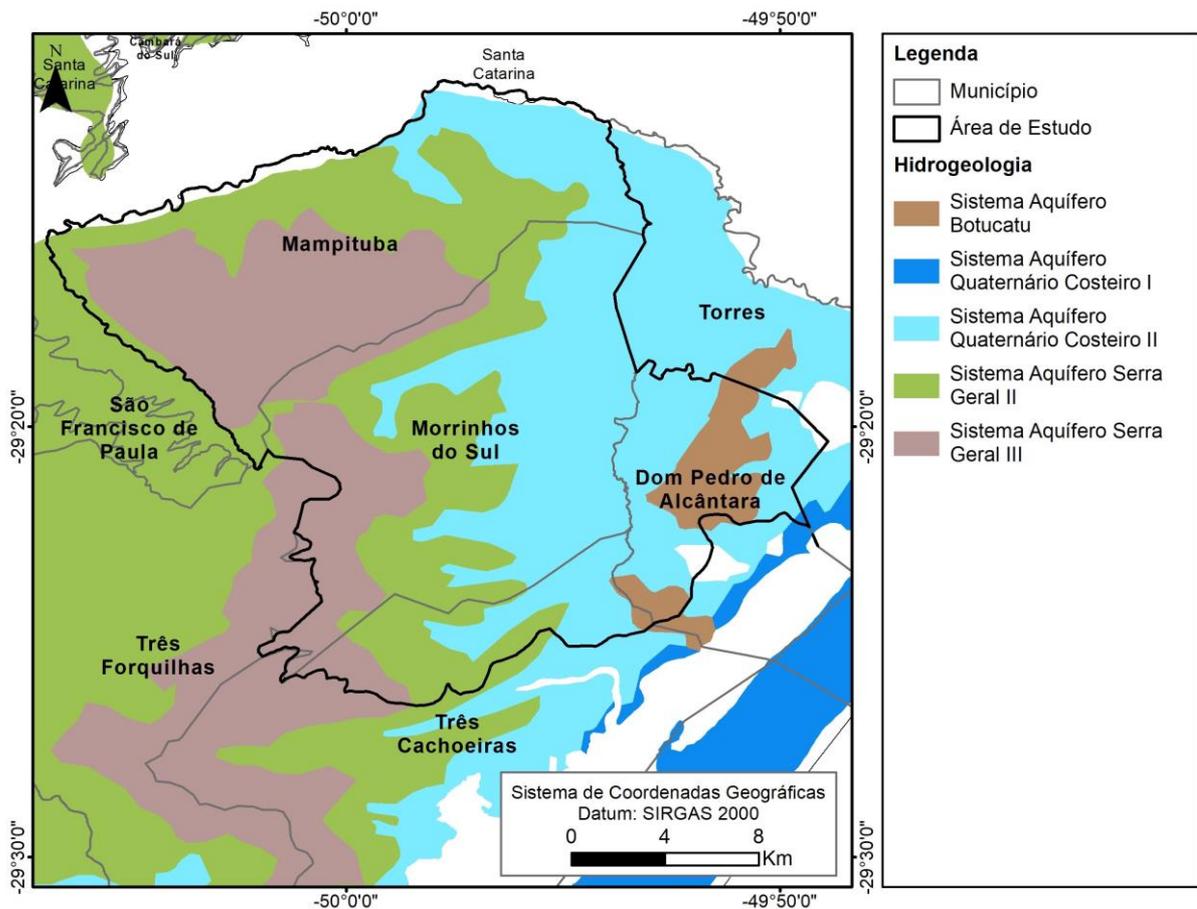


Figura 8: Mapa hidrogeológico da área de estudo. Elaborado pela autora com dados da CPRM (2005).

2.2.1 Sistema Aquífero Serra Geral (SASG)

O Sistema Aquífero Serra Geral (SAGS), segundo Viero *et al.* (2021), representa um dos principais sistemas aquíferos fraturados sendo o mais explorado do sul do Brasil, principalmente em razão do vasto território que abrange, da boa qualidade da água que possui, da boa vazão (média de 14 m³/h) e dos custos relativamente baixos de instalação de poços tubulares. De acordo com Reginato *et al* (2013), o condicionante geológico principal desse aquífero corresponde às estruturas tectônicas (sistemas de fraturas e falhas). Os condicionantes secundários consistem na estruturação primária da rocha (zonas de brechas

vulcânicas, vesiculares a amigdalóides e de disjunções e/ou diaclases), no relevo e tipo e espessura do solo. Assim, esse aquífero é caracterizado por uma forte anisotropia responsável por vazões variáveis e por capacidades específicas baixas.

O sistema aquífero Serra Geral está associado a uma sucessão vulcânica básica e ácida muito fraturada. Os aquíferos presentes nesse sistema são fraturados com diferentes características hidrogeológicas em cada região. Águas mais mineralizadas e muito alcalinas são possivelmente resultantes da influência das águas ascendentes do Aquífero Guarani (SEMA, 2020). Segundo o Relatório Hidrogeológico do Rio Grande do Sul (Freitas, M., Machado, J., 2005), os valores apresentados pelo Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul (CPRM, 2005) são médias gerais, pois existem variações nos parâmetros avaliados. Na área da Bacia do Mampituba, estão presentes os Sistema Aquífero Serra Geral II e III.

O Sistema Aquífero Serra Geral II (SASG II), corresponde a litologias predominantemente compostas por riolitos, riodacitos e em menor proporção, basaltos fraturados. A capacidade específica dessa unidade pode variar entre 2 m³/h/m, excepcionalmente em áreas mais fraturadas ou com arenitos na base do sistema, até 0,5 m³/h/m e as salinidades, em geral, apresentam valores inferiores a 250 mg/l (CPRM, 2005).

O Sistema Aquífero Serra Geral III (SASG III), de acordo com CPRM (2005), contém litologias que podem ter composição ácida (riolitos e riodacitos) ou básica (basaltos). Os fraturamentos mesmo quando intensos são descontínuos devido à dissecação e as águas das fontes são de baixa salinidade.

2.2.2 Sistema Aquífero Guarani

O Sistema Aquífero Guarani, conforme Machado (2005), é diferenciado considerando suas áreas aflorantes ou confinadas e é composto por nove unidades hidroestratigráficas: Botucatu, Guará, Arenito Mata, Caturrita, Alemoa, Passo das Tropas 1 e 2, Sanga do Cabral e Pirambóia.

Machado & Freitas (2005) descreveram a área aflorante no estado correspondente à depressão central, entre os municípios de Santana do Livramento à oeste e Santo Antônio da Patrulha à leste. Considerando o fato do sistema ser composto por diferentes unidades estratigráficas, suas litologias variam desde rochas sedimentares arenosas de granulometria média a grossa (Botucatu, Guará, Passo das Tropas 1 e 2) até rochas com granulometria muito fina, com siltitos e arenitos argilosos (Alemoa e Sanga do Cabral).

As áreas confinadas do Sistema Aquífero Guarani se estendem desde a região da Cuesta do Haedo, na fronteira oeste, até o litoral nordeste do estado. O sistema está confinado pelas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral e o principal aquífero encontrado é da unidade hidroestratigráfica Botucatu (Machado, 2005).

A unidade hidroestratigráfica Botucatu, presente na região objetivo do estudo, é constituída de arenitos eólicos finos a médios, bem consolidados e bem selecionados, de composição quartzosa e coloração rósea a avermelhada. É homogêneo com comportamento variado e suas características variam muito de acordo com o local (CPRM, 2005). As vazões encontradas podem ser superiores a 50 m³/h, com capacidade específica entre 0,5 e 2 m³/h/m e a salinidade, na região leste, apresenta valores abaixo de 400 mg/l, geralmente (Machado, 2005).

2.2.3 Sistema Aquífero Quaternário Costeiro

Conforme o Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul (CPRM, 2005), na região da planície costeira do estado estão presentes o Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I e II, que compreendem todos os aquíferos associados com os sedimentos da planície costeira do Estado, desenvolvendo-se desde o Chuí até Torres.

O Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I (SAQC I), corresponde a uma sucessão de camadas de sedimentos arenosos de granulometria fina a média, com coloração esbranquiçada, intercaladas com camadas sedimentares siltico-arenosas a argilosas. As capacidades específicas em geral são altas, ultrapassando 4 m³/h/m e com salinidades inferiores a 400 mg/l (CPRM, 2005).

O Sistema Aquífero Quaternário Costeiro II (SAQC II), compreende uma sucessão de camadas sedimentares arenosas finas, esbranquiçadas intercaladas com camadas de argila de coloração acinzentada. As capacidades específicas do sistema aquífero variam de baixas a médias, entre 0,5 e 1,5 m³/h/m e os sólidos totais dissolvidos variam entre 600 e 2000 mg/l (CPRM, 2005).

2.3 Vulnerabilidade de Aquíferos

Conforme destacado por Guiguer e Kohnke (2002), a ideia da vulnerabilidade se baseia no fato de que o contexto físico dos aquíferos oferece um certo grau de proteção às

águas subterrâneas contra contaminações de diversas origens. Desta forma, algumas áreas são mais vulneráveis à contaminações que outras.

Existem diversas metodologias para avaliar a vulnerabilidade de um aquífero, por exemplo, DRASTIC (Aller *et al.* 1985), desenvolvida pela EPA (U.S. Environmental Protection Agency), que considera sete fatores hidrogeológicos para o cálculo do índice. Os parâmetros são: Profundidade do nível da água (D), Recarga ao aquífero (R), Litologia do aquífero (A), Tipo de solo (S), Topografia do local (T), Textura da zona vadosa (I) e Condutividade hidráulica do aquífero (C). Como este método necessita maiores informações hidrogeológicas ele não é muito utilizado em locais ou países em desenvolvimento, onde esses dados não existem ou são de difícil acesso.

Outro método muito utilizado é AVI, desenvolvido por Van Stempvoort *et al.* (1992), que utiliza informações a respeito da espessura da camada sedimentar e da condutividade hidráulica. A classificação final é dividida em 5 classes que se referem ao tempo que um contaminante levaria num percurso vertical para chegar até o aquífero.

O método GOD, desenvolvido por Foster e Hirata (1988), é utilizado para obtenção do índice de vulnerabilidade em países em desenvolvimento, por necessitar de informações mais comumente disponíveis. Segundo Guiguer e Kohnke (2002), a metodologia GOD é a mais simplificada das três. A principal vantagem encontra-se na facilidade da utilização e no fato de utilizar os parâmetros mais importantes, como a profundidade do lençol freático, as litologias da zona vadosa e de camadas confinantes e condição do aquífero. Na Figura 9 podemos observar a dinâmica do método e os pesos de cada parâmetro.

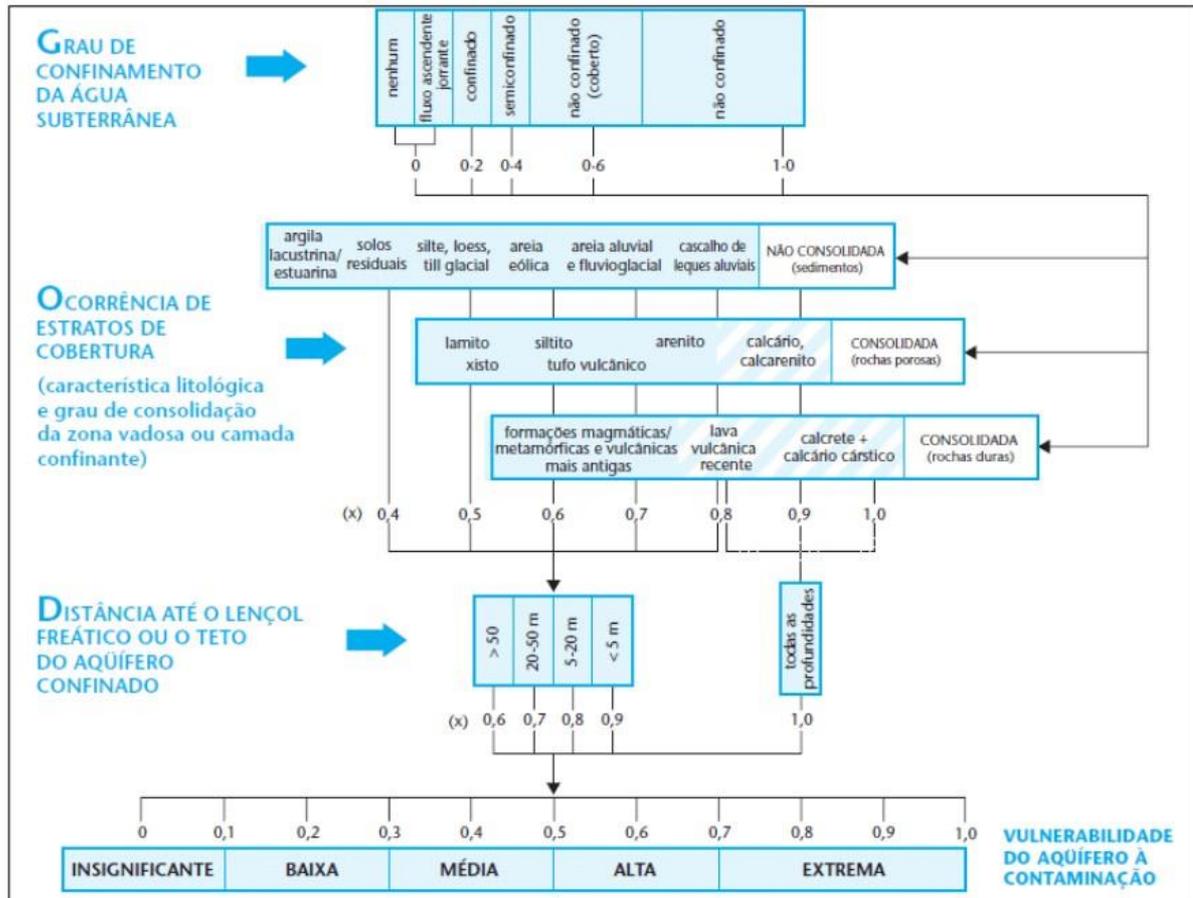


Figura 9: Esquema de avaliação do método GOD, retirada de FOSTER *et al.* (2006).

Reginato (2013) realizou um estudo sobre a vulnerabilidade do Sistema Aquífero Serra Geral, na região central da bacia hidrográfica Taquari-Antas, onde uma das metodologias aplicadas para avaliação foi o método GOD. No trabalho foi gerado um mapa que indicou a ocorrência das classes de vulnerabilidade baixa (79,1%) e média (20,9%) na região, no qual o parâmetro profundidade do nível de água foi o que teve maior influência na classificação.

Na região de Cidreira e Balneário Pinhal, Trindade (2022) realizou um trabalho de análise da vulnerabilidade e do risco potencial de contaminação para o Sistema Aquífero Costeiro. O estudo classificou a vulnerabilidade de acordo com o grau de confinamento, o aquífero livre obteve na área classificações de vulnerabilidade baixa (0,25%), média (38,30%) e alta (61,43%), enquanto o aquífero confinado/semiconfinado apresentou resultados entre insignificante (0,82%), baixa (24,76%), média (73,21%) e alta (1,16%).

Costa (2018) realizou um estudo nos municípios de Ivoti, Dois Irmãos e Morro Reuter, sobre a vulnerabilidade das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Guarani, que está presente na área de forma livre e também confinada. De maneira geral, a análise apontou a

vulnerabilidade do SAG como baixa (49%) e insignificante (39,08%), predominantemente, devido a cobertura de rochas vulcânicas e confinamento do aquífero, presente na maior parte da área. Entretanto, nas áreas caracterizadas como livre o aquífero apresentou uma vulnerabilidade média.

2.4 Risco Potencial de Contaminação de Aquíferos

De acordo com Foster e Hirata (1993), é condição essencial para o desenvolvimento de estratégias, visando à preservação dos recursos hídricos, a caracterização de áreas ou atividades com maior risco de degradação dos aquíferos, a fim de priorizar a aplicação de recursos técnicos e financeiros em locais de maior interesse sócio-econômicos e ambientais.

Levando em consideração a proteção dos recursos, é de fundamental importância o mapeamento de potenciais fontes de contaminação dos aquíferos e, segundo Sodré (2012), os mecanismos de poluição das águas podem ser divididos em duas categorias. A primeira consiste nas fontes de poluição pontuais que podem ser identificadas e diagnosticadas, sendo que, em muitos casos, é possível estabelecer ações corretivas ou mesmo punitivas. O descarte de esgotos domésticos ou industriais, tratados ou não, são exemplos de fontes pontuais. As fontes difusas de poluição, por outro lado também denominadas não-pontuais, são aquelas cuja origem não pode ser facilmente identificada. Cargas difusas, originadas em extensas áreas, podem ser transportadas de inúmeras maneiras até atingir o corpo aquático receptor (Sodré, 2012).

Conforme Feitosa (2008), as contaminações das águas subterrâneas podem ser associadas a diferentes origens, porém as mais comuns são relacionadas à atividades industriais, domésticas e agrícolas. As atividades industriais podem envolver contaminações através de compostos químicos, metais, elementos radioativos e chorumes (ou outros resíduos químicos). As atividades domésticas também podem envolver contaminação por chorumes e resíduos, assim como por acidentes com fossas sépticas e redes de esgoto. As origens agrícolas envolvem possíveis contaminações através de substâncias como herbicidas, pesticidas ou fertilizantes.

O método POSH, que foi utilizado no presente estudo, foi desenvolvido por Foster (2002) e necessita de informações a respeito do potencial de geração de carga contaminante das fontes de contaminação. A avaliação da carga contaminante é realizada analisando a sobrecarga hidráulica, a concentração e a mobilidade e persistência dos contaminantes no meio. Com a obtenção dessas informações, se cruzam esses dados com as informações a

respeito da vulnerabilidade do aquífero e, assim, se obtém o risco potencial de contaminação das águas subterrâneas (Figura 10).

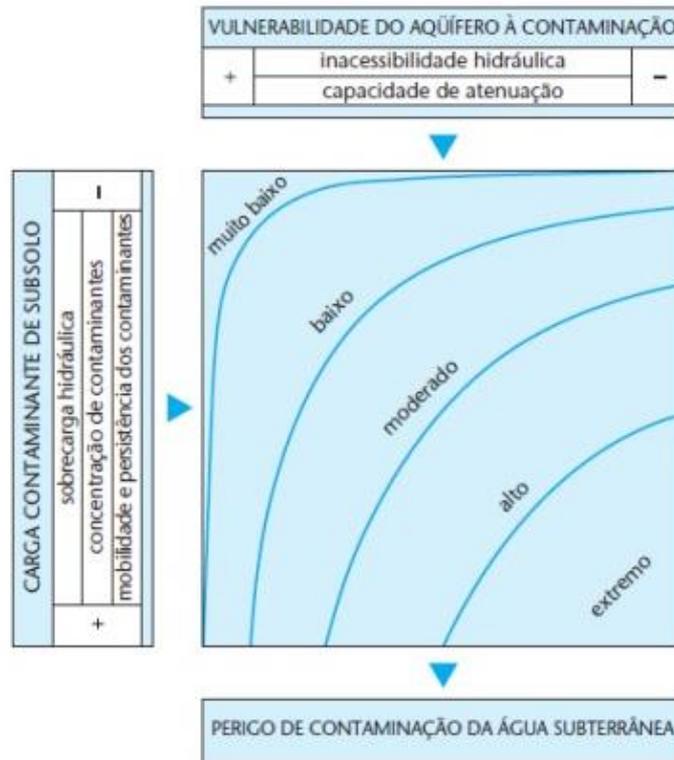


Figura 10: Esquema para avaliação do perigo de contaminação de água subterrânea. Extraído de Foster *et al.* (2006). Adaptado de Foster & Hirata (1988).

Algumas atividades com potencial fonte de contaminação foram classificadas, de acordo com Foster *et al.* (2006), em origem pontual ou difusa, além da divisão entre potencial elevado, moderado e reduzido, conforme pode ser observado nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2: Classificação das fontes de contaminação difusas. Retirado de Foster *et al.* (2006).

POTENCIAL DE CARGA CONTAMINANTE DE SUBSOLO	FONTE DE CONTAMINAÇÃO	
	saneamento <i>In situ</i>	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, plantações com alta eficiência de irrigação em regiões áridas e semi-áridas

Tabela 3: Classificação das fontes de contaminação pontuais. Retirado de Foster *et al.* (2006).

POTENCIAL DE GERAR CARGA CONTAMINANTE NO SUBSOLO	FONTES DE CONTAMINAÇÃO				
	deposição de resíduos sólidos	áreas industriais*	lagoas de águas residuais	outras (urbanas)	mineração e exploração de petróleo
Elevado	resíduo industrial tipo 3, resíduo de origem desconhecida	indústria tipo 3 ou qualquer atividade que manuseie >100 kg/d de produtos químicos perigosos	todos os resíduos industriais tipo 3, qualquer efluente (exceto esgoto residencial) se a área >5 ha		operações em campos de petróleo, mineração de metais
Moderado	chuva >500 mm/a com resíduos residenciais/ agroindustriais/ industriais tipo 1, ou todos os demais casos	indústria tipo 2	esgoto residencial se a área >5 ha, demais casos não relacionados acima ou abaixo	postos de gasolina, vias de transporte com tráfico regular de produtos químicos perigosos	algumas atividades de mineração/ extração de materiais inertes
Reduzido	chuva <500 mm/a com resíduos residenciais/ agroindustriais/ industriais tipo 1	indústria tipo 1	águas residuais residenciais, mistas, urbanas, agroindustriais e de mineração de não metálicos	cemitérios	
<p>* solos contaminados de indústrias abandonadas devem ter a mesma classificação que a da própria indústria</p> <p>Indústrias Tipo 1: madeiras, manufaturas de alimentos e bebidas, destilarias de álcool e açúcar, processamento de materiais não metálicos</p> <p>Indústrias Tipo 2: fábricas de borracha, fábricas de papel e celulose, indústrias têxteis, fábricas de fertilizantes, usinas elétricas, fábricas de detergente e sabão</p> <p>Indústrias Tipo 3: oficinas de engenharia, refinarias de gás/petróleo, fábricas de produtos químicos/farmacêuticos/plásticos/pesticidas, curtumes, indústrias eletrônicas, processamento de metal</p>					

O estudo de Trindade (2022), realizado na região litorânea do estado, avaliou o risco potencial de contaminação do aquífero livre como moderado a alto, através do mapeamento de fontes como áreas de agricultura, pecuária, formação campestre floresta plantada e massas d'água no uso do solo. Para o aquífero avaliado como confinado/semiconfinado, os resultados obtidos indicaram o risco como baixo a moderado, considerando as fontes e o mapa de vulnerabilidade.

3 METODOLOGIA E ESTRATÉGIAS DE AÇÃO

A metodologia utilizada na realização do proposto trabalho foi definida a partir de informações disponíveis na literatura científica do tema e da disponibilidade de dados, sendo desenvolvidas cinco etapas que serão descritas a seguir, conforme a Figura 11.

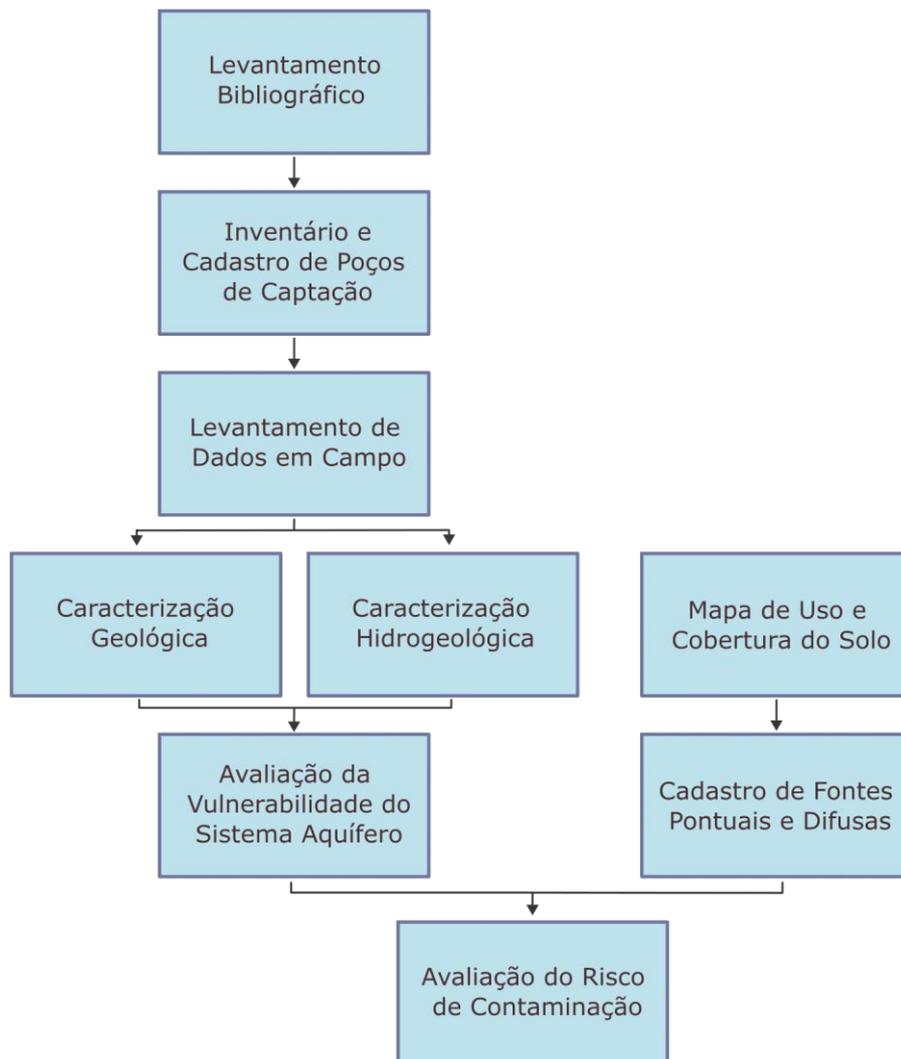


Figura 11: Fluxograma com as etapas de desenvolvimento da metodologia.

3.1 Levantamento de Dados e Inventário

Esta etapa envolveu a coleta e identificação do conjunto de dados dos poços da região da Bacia do Mampituba. O levantamento foi realizado consultando informações provenientes da CPRM - SIAGAS (Sistema de Informação de Águas Subterrâneas), CORSAN (Companhia Riograndense de Saneamento), de dados das prefeituras, da vigilância sanitária e de empresas

de perfuração atuantes na área, assim como os poços que foram identificados em trabalhos de campo.

No trabalho de campo foram realizadas atividades de cadastramento de poços e fontes potenciais de contaminação. A respeito dos poços, estes tiveram suas informações coletadas acerca da localização (coordenadas com uso do GPS Garmin Etrex de navegação), uso da água, dados construtivos (tipo e profundidade, diâmetros, revestimento, laje de proteção sanitária), dados hidrogeológicos (nível estático, vazão), bem como outros dados que estavam disponíveis sobre os poços presentes na área.

Para o caso das fontes potenciais de contaminação foi realizada uma identificação visual, com descrição do tipo e com a obtenção de coordenadas de localização com uso de GPS de navegação. Estes dados foram organizados em tabelas de *Excel* e posteriormente utilizados na localização dos pontos nos mapas gerados via *ArcGIS*.

3.2 Avaliação Geológica

Esta etapa foi realizada através da interpretação e da análise do mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul (CPRM, 2008), do Mapa Geológico da Bacia do Paraná (CPRM, 2022), do Diagnóstico do Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Mampituba (Fase A – Diagnóstico), realizado pelo DRHS (Departamento de Gestão de Recursos Hídricos e Saneamento), além de dados de outros trabalhos e pesquisas realizadas na região, bem como informações obtidas em campo.

A análise e identificação das litologias que ocorrem em profundidade foi feita através das informações obtidas dos perfis geológicos dos poços tubulares presentes na área de estudo. Estes perfis foram utilizados na realização de seções geológicas para interpretação de contatos das diferentes camadas.

Nesta etapa também foi realizado o trabalho de campo com avaliação de afloramentos, a fim de identificar litologias e estruturas presentes na área.

3.3 Avaliação Hidrogeológica

A caracterização hidrogeológica da área de estudo foi realizada através da análise dos perfis geológicos dos poços, do levantamento de dados existentes, pela elaboração e interpretação das informações que foram armazenadas no banco de dados dos pontos de captação. Além disso, foi realizada a interpretação do mapa hidrogeológico do Rio Grande do

Sul (CPRM - 2005) e outros estudos feitos na região, como o Plano de Bacia (DRHS). A situação dos poços foi identificada de acordo com as informações obtidas do SIAGAS bem como dos dados coletados em campo. Com esses dados foi feita inicialmente uma avaliação da importância e uso dos recursos hídricos subterrâneos na região de estudo.

Além disso, a caracterização hidrogeológica foi feita com levantamento de informações e análises estatísticas descritivas normais, como média, mediana, desvio padrão, máximo e mínimo, a respeito dos diferentes parâmetros como nível estático, capacidade específica, vazões, entre outros coletados a partir dos dados de construção de poços.

3.4 Avaliação da Vulnerabilidade

A etapa de avaliação da vulnerabilidade envolveu o uso do método GOD (*Groundwater occurrence, Overall lithology of the unsaturated zone, Depth to the water table*), descrito por Foster e Hirata (1993). As informações utilizadas nessa metodologia são:

(G) Grau de confinamento do aquífero (livre, confinado, semi-confinado);

(O) Ocorrência de estratos de cobertura;

(D) Distância até o lençol freático ou teto do aquífero confinado (espessura da zona vadosa).

A escolha por esse método foi feita levando em consideração a disponibilidade dos dados, visto que ele utiliza informações as quais se tem maior facilidade de acesso em relação a outras metodologias. Os índices atribuídos podem variar de 0 a 1,0 para cada um dos parâmetros (G, O e D) e foram estabelecidos de acordo com a interpretação dos dados adquiridos previamente na elaboração do banco de dados dos poços, na avaliação geológica e na avaliação hidrogeológica.

Para o parâmetro G foram considerados os tipos de aquíferos e seus respectivos graus de confinamento. Para os aquíferos fraturados do Sistema Aquífero Serra Geral foram considerados valores entre 0,6 e 1,0 (aquíferos não confinados com e sem cobertura), dependendo da espessura estimada de solos existentes na área de localização do poço (Tabela 4). Para isso foi feita uma análise do Mapa Exploratório de Solos do Estado do Rio Grande do Sul (IBGE, 2002), procurando identificar o tipo e espessura média, sendo que em locais onde os solos tendem a apresentar maior espessura os valores do parâmetro G foram considerados menores (0,6 por exemplo). Já em áreas de ocorrência de solos rasos (neossolos) foram considerados valores mais elevados (0,9 por exemplo). Para os aquíferos granulares, Sistemas Aquíferos Costeiro e Guarani (Unidade hidroestratigráfica Botucatu), foram avaliados dados

de perfil dos poços para identificar se os aquíferos captados são do tipo não confinado, semi-confinado ou confinado.

Além disso para o SAG, os poços que não continham informações sobre o perfil geológico, também foram analisados conforme a posição no mapa de solos, chegando a valores entre 0,2 a 0,9 de acordo com a metodologia GOD. O peso 0,2 foi atribuído aos poços que se encontravam confinados por camadas de basalto, os pesos de 0,6 e 0,7 foram atribuído conforme a espessura do solo na área (Tabela 5) e os pesos de 0,8 e 0,9 correspondem aos poços em locais com presença de chernossolo e gleissolo, respectivamente. O peso de 0,9 também foi indicado para os locais onde o Botucatu era aflorante, conforme mapa geológico.

Tabela 4: Peso utilizado para a espessura dos solos encontrados nas áreas dos poços.

Espessura do solo/sedimento	Peso
Sem solo ou sedimento	1
1-5m	0,9
5-10m	0,8
10-15m	0,7
15-20m	0,6

Para a caracterização do parâmetro O foi avaliada a presença de estratos de cobertura sobre o aquífero. No caso dos poços que continham o perfil geológico a análise foi realizada com base na identificação das camadas, estratos e tipos de sedimento que ocorrem sobre os aquíferos. Entretanto, para os poços que não continham perfil, a determinação do parâmetro foi realizada através do método GOD modificado, localizando esses pontos no mapa geológico ou no mapa de solos da área e identificando a respectiva unidade existente na área de localização do poço. A análise do mapa de solos foi realizada com base no estudo de Gomes *et al.* (2021), no qual foram avaliados os modelos DRASTIC e GOD, para vulnerabilidade de aquíferos fraturados. O estudo utilizou a classificação de Streck (2008), que avalia a aptidão dos solos para disposição de resíduos, a fim de classificar a zona vadosa (Tabela 5).

Tabela 5: Classificação dos solos quanto a aptidão para disposição de resíduos (Extraído de Streck, 2008).

Tipo de solo	Classe
Latossolos, Nitossolos e Argissolos	Adequada
Latossolos médios, Argissolos, Cambissolos	Regular
Argissolos arenosos, Chernossolos, Luvisolos, Neossolos Regolíticos	Restrita
Planossolos, Neossolos Quartzarênicos, Neossolos Flúvicos, Gleissolos, Organossolos	Inadequada

Para o parâmetro D são considerados os valores obtidos do nível estático dos poços, avaliando a profundidade do lençol freático ou do topo do aquífero, em relação a aquíferos confinados. Para os poços que não continham dados de NE disponíveis foram utilizados os valores da média, determinados a partir da caracterização hidrogeológica para cada sistema aquífero. Para os níveis estáticos com resultados maiores que 50m foi considerado valor de 0,6, variando até 0,9 para as profundidades menores que 5m.

Os índices foram multiplicados entre si para chegar na classificação final e, posteriormente, foram feitos testes com diferentes tipos de interpoladores para criar os mapas de vulnerabilidade dos aquíferos da região, como Inverso do Quadrado da Distância (IQD), sendo que os resultados foram analisados a fim de decidir qual o melhor método a ser aplicado no desenvolvimento do estudo. Estes mapas foram gerados utilizando os softwares *Arcgis*, *Qgis* e *Google Earth*. Por fim, as classes foram obtidas podendo variar entre insignificante, baixa, média, alta e extrema.

3.5 Identificação de Fontes de Contaminação e Avaliação do Risco Potencial de Contaminação pelo Método POSH

A avaliação do risco potencial de contaminação do aquífero foi realizada com o método POSH (Foster, 2002), que consiste em identificar potenciais fontes de contaminação, sejam difusas ou pontuais, que ocorrem na região e avaliar em conjunto com outros fatores como, por exemplo, a capacidade hidráulica da área, para avaliar de forma qualitativa esse potencial.

3.5.1 Fontes Pontuais

Para identificar e caracterizar potenciais fontes de contaminação pontuais, inicialmente, houve a criação de um banco de dados, através do software *Excel*. Foram coletadas informações por meio de levantamentos em imagens de satélite utilizando o software *Google Earth* em conjunto com a análise de processos de licenciamento ambiental realizados pelas prefeituras municipais. A pesquisa foi realizada buscando dados de empreendimentos, indústrias, cemitérios, aterros sanitários, postos de gasolina e operações de mineração, por exemplo. A localização, o porte e o ramo de atividade, foram outros dados buscados para realização do banco, na Tabela 6 podemos visualizar a relação entre o potencial de geração de carga contaminante e o tipo de fonte.

Tabela 6: Classificação das fontes de contaminação pontuais. Fonte: Foster *et al.* (2006).

POTENCIAL DE GERAR CARGA CONTAMINANTE NO SUBSOLO	FONTES DE CONTAMINAÇÃO				mineração e exploração de petróleo
	deposição de resíduos sólidos	áreas Industriais*	lagoas de águas residuais	outras (urbanas)	
Elevado	resíduo industrial tipo 3, resíduo de origem desconhecida	indústria tipo 3 ou qualquer atividade que manuseie >100 kg/d de produtos químicos perigosos	todos os resíduos industriais tipo 3, qualquer efluente (exceto esgoto residencial) se a área >5 ha		operações em campos de petróleo, mineração de metais
Moderado	chuva >500 mm/a com resíduos residenciais/ agroindustriais/ industriais tipo 1, ou todos os demais casos	indústria tipo 2	esgoto residencial se a área >5 ha, demais casos não relacionados acima ou abaixo	postos de gasolina, vias de transporte com tráfego regular de produtos químicos perigosos	algumas atividades de mineração/ extração de materiais inertes
Reduzido	chuva <500 mm/a com resíduos residenciais/ agroindustriais/ industriais tipo 1	indústria tipo 1	águas residuais residenciais, mistas, urbanas, agroindustriais e de mineração de não metálicos	cemitérios	
<p>* solos contaminados de indústrias abandonadas devem ter a mesma classificação que a da própria indústria</p> <p>Indústrias Tipo 1: madeireiras, manufaturas de alimentos e bebidas, destilarias de álcool e açúcar, processamento de materiais não metálicos</p> <p>Indústrias Tipo 2: fábricas de borracha, fábricas de papel e celulose, indústrias têxteis, fábricas de fertilizantes, usinas elétricas, fábricas de detergente e sabão</p> <p>Indústrias Tipo 3: oficinas de engenharia, refinarias de gás/petróleo, fábricas de produtos químicos/farmacêuticos/plásticos/pesticidas, curtumes, indústrias eletrônicas, processamento de metal</p>					

3.5.2 Fontes Difusas

No caso das fontes difusas, a identificação e caracterização se deu através da análise dos mapas de uso e cobertura do solo disponibilizados pelo Mapbiomas respectivos ao ano de 2021. Além disso, foi avaliada a cobertura da rede de esgoto e as práticas agrícolas das áreas atingidas pelo estudo, de acordo com dados fornecidos pelo IBGE e pelo DRHS (Departamento de Gestão de Recursos Hídricos e Saneamento) no Diagnóstico do Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Mampituba (Fase A – Diagnóstico). A relação entre a carga contaminante e os tipos de fontes de contaminação difusas pode ser identificado conforme a Tabela 7.

Tabela 7: Classificação das fontes de contaminação difusas. Fonte: Foster *et al.* (2006).

POTENCIAL DE CARGA CONTAMINANTE DE SUBSOLO	FONTE DE CONTAMINAÇÃO	
	saneamento <i>in situ</i>	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, plantações com alta eficiência de irrigação em regiões áridas e semi-áridas

3.6 Análise do Risco Potencial de Contaminação

Com a etapa de identificação das possíveis fontes finalizada, houve a avaliação das cargas contaminantes pelo método POSH, que consistiu na identificação do tipo de atividade de cada empreendimento e atribuiu-se valores 1 a 3, reduzida (1), moderada (2) e elevada (3), respectivamente.

Com o auxílio do software *Arcgis*, as informações obtidas e organizadas no banco de dados foram transformadas em duas camadas de pontos, uma de fontes difusas e outra de fontes pontuais, para visualização espacial. A partir dessa malha de pontos foi definido um polígono de influência das fontes com distinção de cores a partir da classificação. O procedimento foi realizado com o objetivo de facilitar futuros manuseios com outros dados e aprimorar o processo de análise, o que permite avaliar e identificar zonas do município onde pode haver maior concentrações de empreendimento potencialmente poluidores.

Por fim foram desenvolvidos mapas no software *Arcgis* para a caracterização do uso e ocupação do solo das áreas urbanas e rurais, a partir das informações adicionadas no banco de dados. Foi realizado o cruzamento dos mapas de fontes contaminantes pontuais e difusas com o mapa de vulnerabilidade, tendo como base o fluxograma da Tabela 8. Assim, foi gerado o mapa final de risco de contaminação das águas subterrâneas, que possibilitou a identificação das áreas com potencial de contaminação, de acordo com o método POSH. Os resultados obtidos serão apresentados e debatidos no capítulo seguinte.

Tabela 8: Classificação do perigo de contaminação em relação as fontes. Modificado de Barbosa e Filho (2011).

Risco de contaminação em relação a fontes pontuais e difusas		Potencial de Contaminação		
		Reduzido	Moderado	Elevado
Índice de Vulnerabilidade	Insignificante	Desprezível	Desprezível	Baixo
	Baixo	Desprezível	Baixo	Moderado
	Médio	Baixo	Moderado	Alto
	Alto	Moderado	Alto	Alto
	Extremo	Moderado	Alto	Extremo

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Recursos Hídricos Subterrâneos na Área de Estudo

A água subterrânea é de fundamental importância no desenvolvimento dos municípios, além do consumo humano e industrial, a área de estudo tem como principal atividade econômica a agricultura e pecuária, que dependem do abastecimento de água segura e de qualidade para sua produção. O uso da água na região é destinado essencialmente ao abastecimento público e doméstico, além da irrigação, dessedentação animal, do abastecimento industrial e comercial. O abastecimento de água nos municípios de Dom Pedro de Alcântara, Morrinhos do Sul e Mampituba é realizado via poços tubulares, que são mantidos pelas prefeituras (3 primeiros municípios) e CORSAN (Três Cachoeiras). Já na zona rural o abastecimento e os poços são individuais ou coletivos, sendo que nesse último caso são mantidos por associações de moradores.

No desenvolvimento do inventário foram encontrados 82 poços presentes na área de estudo ou próximos, que foram obtidos através dos registros do SIAGAS, do SIOUT, de outros projetos e das empresas de perfuração. Além disso, parte deles foi obtido através do levantamento de dados em campo, quando foram adicionados 6 poços ao inventário que foram mapeados presencialmente, 3 poços tubulares e 3 escavados. Nas Figuras 12 e 13 pode-se observar o local e estado de conservação de alguns poços encontrados na área.



Figura 12: Poço tubular 4765/MDF (esquerda) e ISO 26 (direita) em Morrinhos do Sul. Fonte: Fotos registradas pela autora.



Figura 13: Poços escavados encontrados no município de Mampituba. Fonte: Fotos registradas pela autora.

Não foi possível, entretanto, obter informações construtivas ou hidrogeológicas desses poços adicionados em campo pois nos órgãos responsáveis não constam registros desses pontos. Além disso, outros materiais também apresentaram deficiência de informações importantes, como localização, perfil geológico, uso e situação, apesar disso os dados foram analisados em conjunto com as informações disponíveis. Dos 82 poços presentes no inventário, 19 estão fora ou sobre o limite delimitado da área de estudo, porém foram mantidos pois contribuem para o desenvolvimento do estudo. A distribuição geográfica de todos os poços pode ser visualizada na Figura 14.

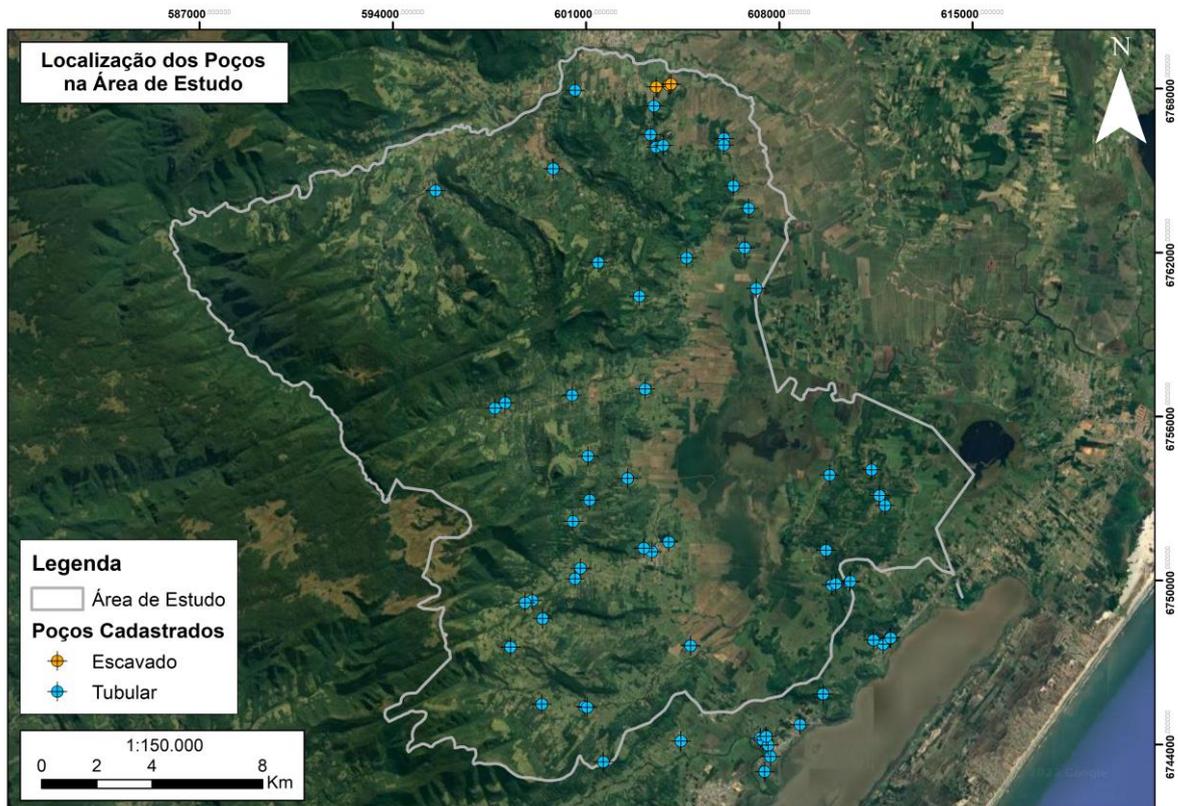


Figura 14: Distribuição geográfica dos poços cadastrados no inventário.

O gráfico da Figura 15 demonstra a relação entre os tipos de poços encontrados na área e o banco de dados, contido no Anexo B que demonstra o total de informações que estavam disponíveis. Dos 82 poços cadastrados apenas 45 continham informações a respeito dos proprietários, 20 eram de propriedade das prefeituras, 11 eram particulares, 9 de propriedade de associações de moradores e comunidades e 5 da CORSAN.

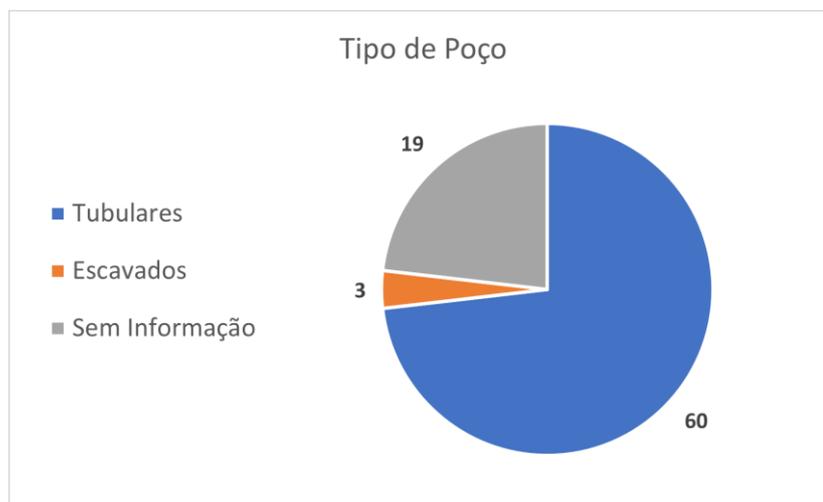


Figura 15: Gráfico do número de poços cadastrados no banco de dados gerado no presente estudo para a área de estudo.

Na realização do estudo foram obtidos dados através da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano – VIGIÁGUA, onde foi possível analisar alguns parâmetros como Fluoreto, Cloro Residual livre, Coliformes totais, Escherichia coli e Turbidez, em análises realizadas no período de 2014 a 2022. Diversos resultados indicaram que houve ocasiões em que a água apresentou presença da bactéria Escherichia coli, de coliformes totais e valores acima dos limites para fluoreto. Aproximadamente 16,22% das análises realizadas para os parâmetros de E. coli e coliformes totais apresentaram resultados positivos, que podem indicar possível contaminação das águas subterrâneas.

4.2 Caracterização Geológica

A caracterização geológica da área de estudo foi realizada através da análise de mapas geológicos da região, de estudos bibliográficos e da análise dos poços tubulares que continham informações do perfil litológico. As informações obtidas permitiram a realização de um mapa geológico da área de estudo (Figura 16), onde foram identificadas as unidades litoestratigráficas do Grupo Serra Geral, fácies Torres, Palmas e Vale do Sol, a Formação Botucatu e os sedimentos da planície litorânea como os depósitos colúvio-aluvionares, depósitos de planície lagunar, depósitos praias eólicos e depósitos de planície de inundação.

Em campo foi possível conferir alguns afloramentos, principalmente cortes de estrada, que colaboraram com a caracterização das unidades geológicas presentes na área de estudo.

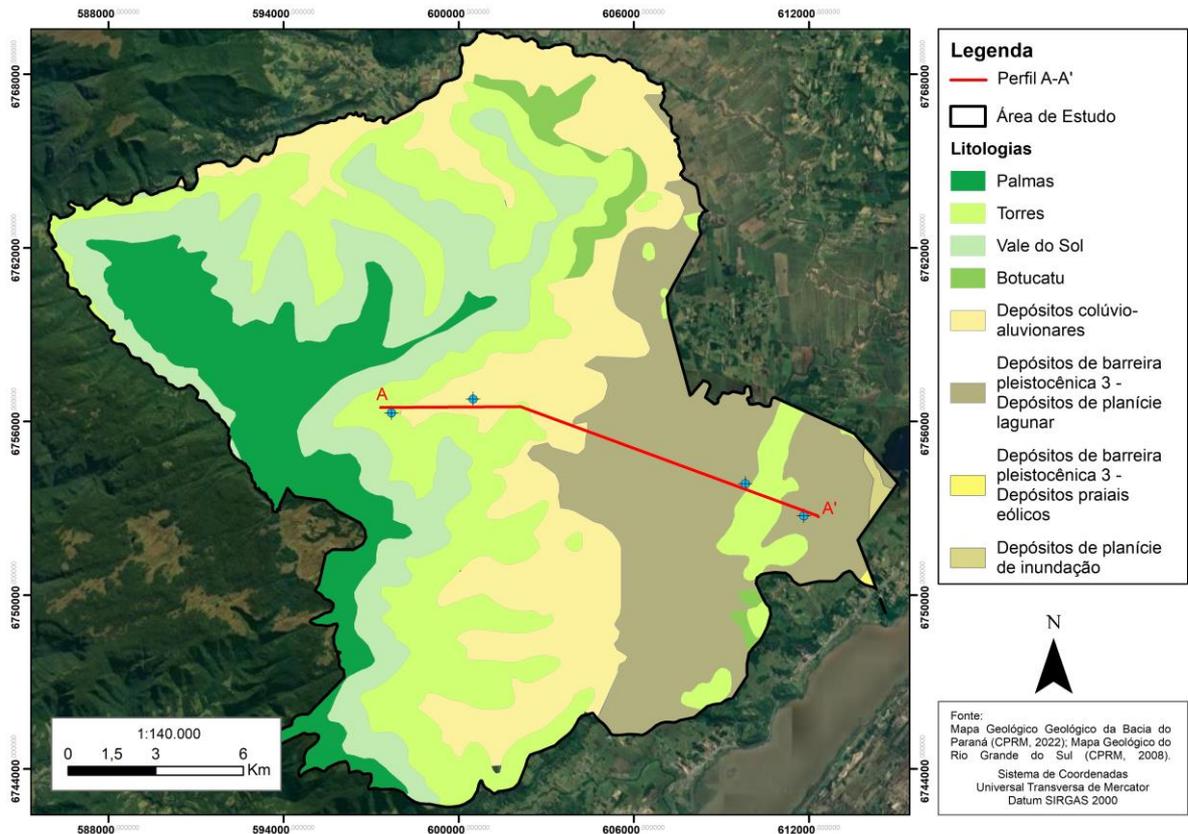


Figura 16: Mapa Geológico da área de estudo.

A partir do mapa e da análise do perfil de construção dos poços, foi possível elaborar o perfil geológico, apresentado na Figura 17, que evidencia as relações estratigráficas entre as unidades litológicas Grupo Serra Geral e Formação Botucatu presentes em parte da área de pesquisa.

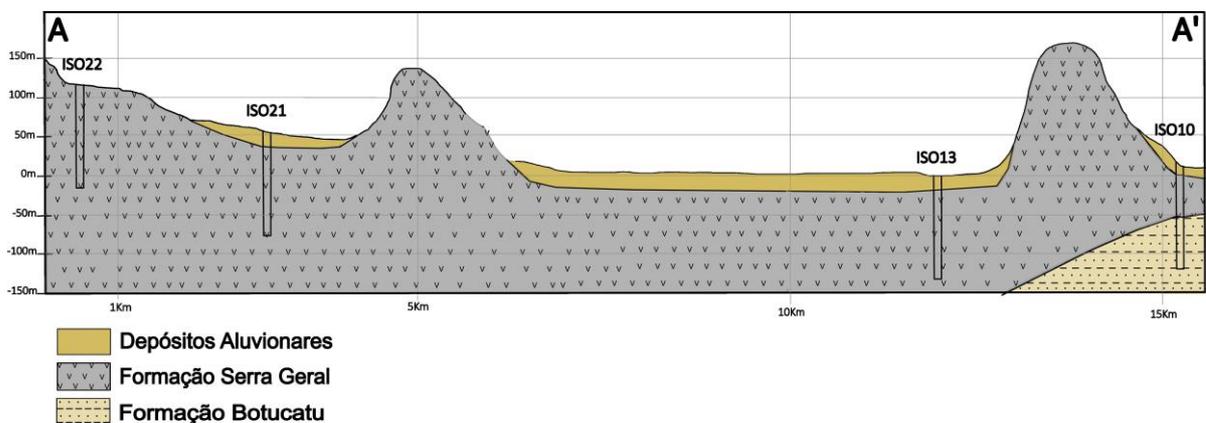


Figura 17: Perfil A-A' modificado do Google Earth.

4.2.1 Grupo Serra Geral

As rochas vulcânicas do Grupo Serra Geral na área de estudo são compostas pelas Formações Palmas, Torres e Vale do Sol. A Formação Palmas é composta por rochas ácidas, em sua maioria, representadas por derrames tabulares, domos, lobos de lava e sistemas de condutos complexos (Polo *et al.*, 2018; Rossetti *et al.*, 2018; Simões *et al.*, 2018). A Formação Torres é composta por rochas mais primitivas, dentro dos intervalos amostrados, e podem ser classificadas como basaltos e andesitos basálticos (Rosseti *et al.*, 2021). As rochas da Formação Vale do Sol são compostas por derrames tabulares espessos de andesitos empilhados verticalmente.

4.2.2 Formação Botucatu

As rochas sedimentares da Formação Botucatu são compostas por arenitos, com granulometria fina a média e com alta esfericidade (CPRM, 2006). A unidade está presente na área de estudo em formato aflorante e confinado, pelos derrames do Grupo Serra Geral. Em campo foi possível conferir alguns afloramentos, principalmente cortes de estrada, que colaboraram com a caracterização da litologia, como é possível visualizar na Figura 18.



Figura 18: Afloramento de corte de estrada evidenciando os arenitos da Formação Botucatu presentes na área. Imagem feita pela autora durante trabalho de campo.

4.2.3 Depósitos Colúvio Aluvionares

Os depósitos colúvio aluvionares são compostos por cascalho, areia e argila, depositados em ambientes de calhas de rios e planícies de inundação.

4.2.4 Depósitos de Barreira Pleistocênica III

O Sistema Laguna-Barreira III, que corresponde aos depósitos de planície lagunar e depósitos praias e eólicos, está associado a um terceiro evento transgressivo-regressivo. Os depósitos de planície lagunar são constituídos por areia siltico-argilosa, mal selecionada e com laminação plano-paralela incipiente (CPRM, 2006) e os depósitos praias eólicos são compostos por areia quartzosa fina, bem selecionada, laminação plano-paralela e cruzada (CPRM, 2006).

4.2.5 Depósitos de Planície de Inundação

Os depósitos de planície de inundação são observados próximos aos leitos de rios e correspondem à sedimentos inconsolidados que podem variar a granulometria desde cascalhos a argilas.

4.3 Caracterização Hidrogeológica

As águas subterrâneas correspondem à principal fonte de abastecimento para os municípios abrangidos no estudo. Na região da Bacia Hidrográfica do Mampituba, conforme mapa da Figura 19, verifica-se a presença dos Sistemas Aquíferos Guarani, Serra Geral e Quaternário Costeiro.

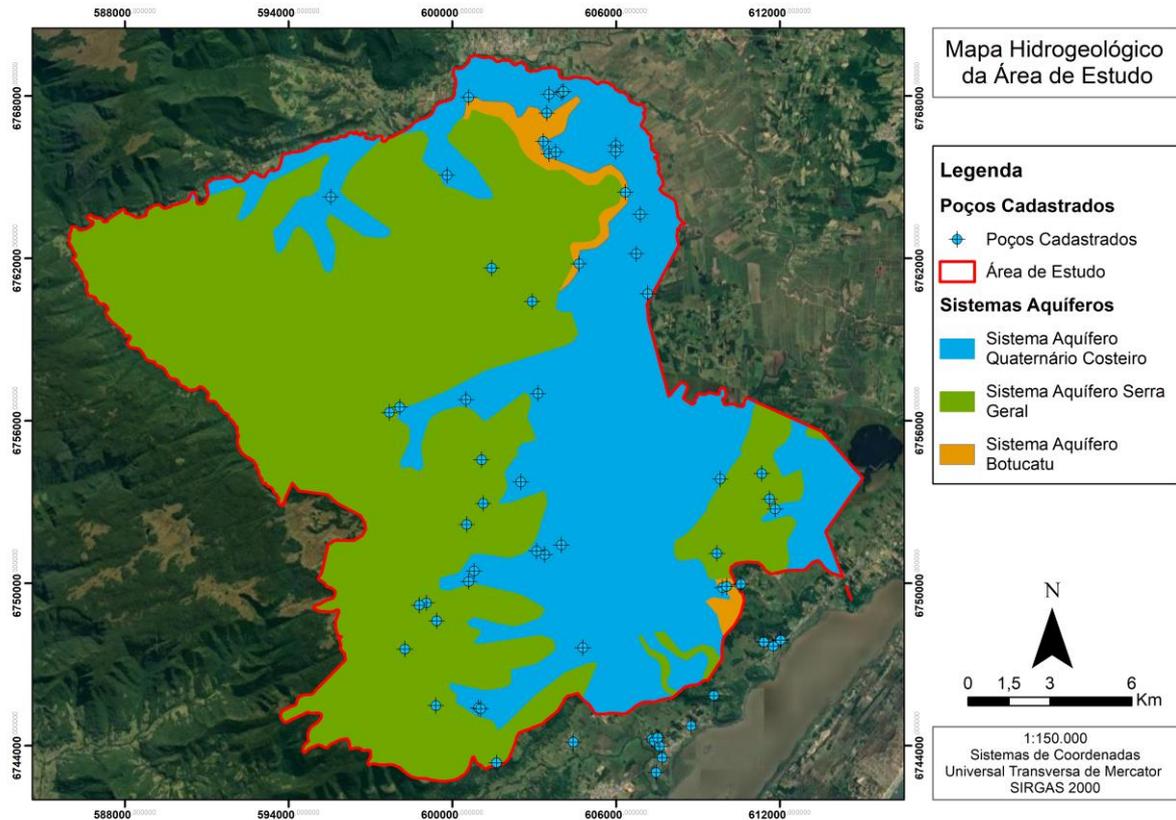
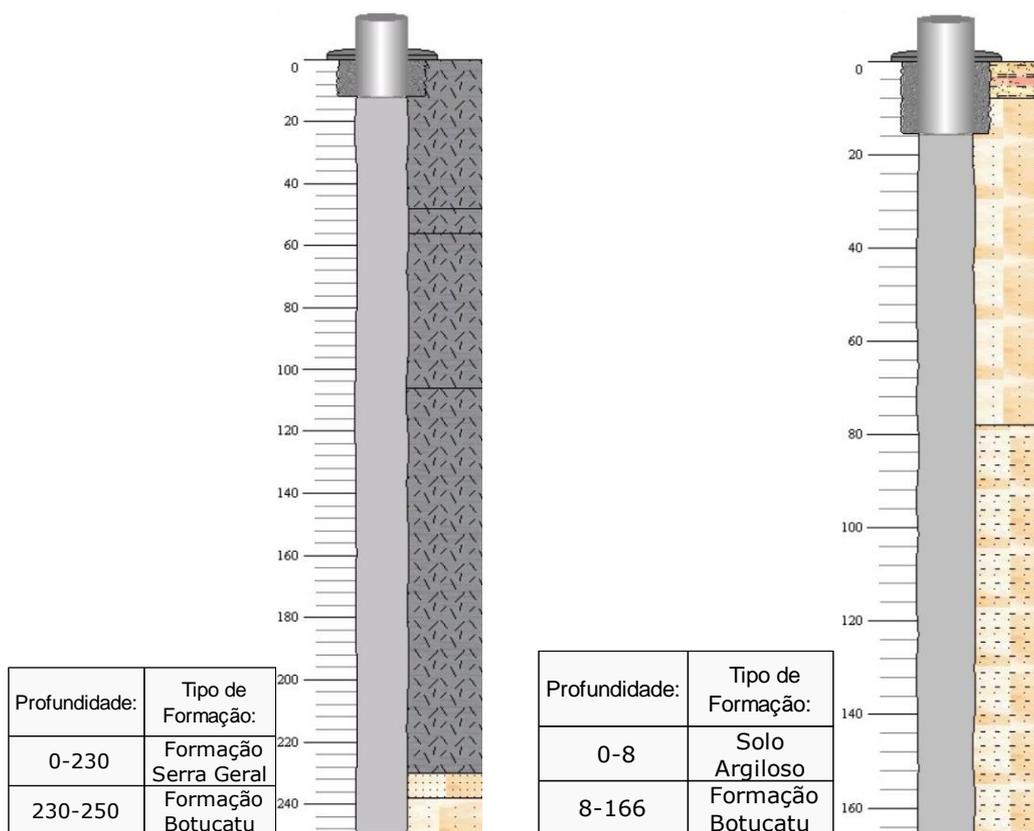


Figura 19: Mapa Hidrogeológico da área de estudo com a localização dos poços cadastrados no banco de dados. Feito pela autora com dados da CPRM (2005).

4.3.1 Sistema Aquífero Guarani

A caracterização hidrográfica do Sistema Aquífero Guarani foi feita através da análise dos 15 poços pertencentes ao SAG, que apresenta litologia com arenitos de granulização média, coloração rosada e estratificações cruzadas de grande porte, correspondentes à Formação Botucatu. A unidade hidroestratigráfica Botucatu pode estar presente na área tanto no formato livre quanto confinado, onde estão presentes as rochas vulcânicas do Grupo Serra Geral acima. Nas Figuras 20 e 21 abaixo pode-se visualizar dois exemplos de poços na região que compreendem aquíferos livre e confinado.



Figuras 20 e 21: Poços com captação confinada e livre no Sistema Aquífero Guarani (SIAGAS).

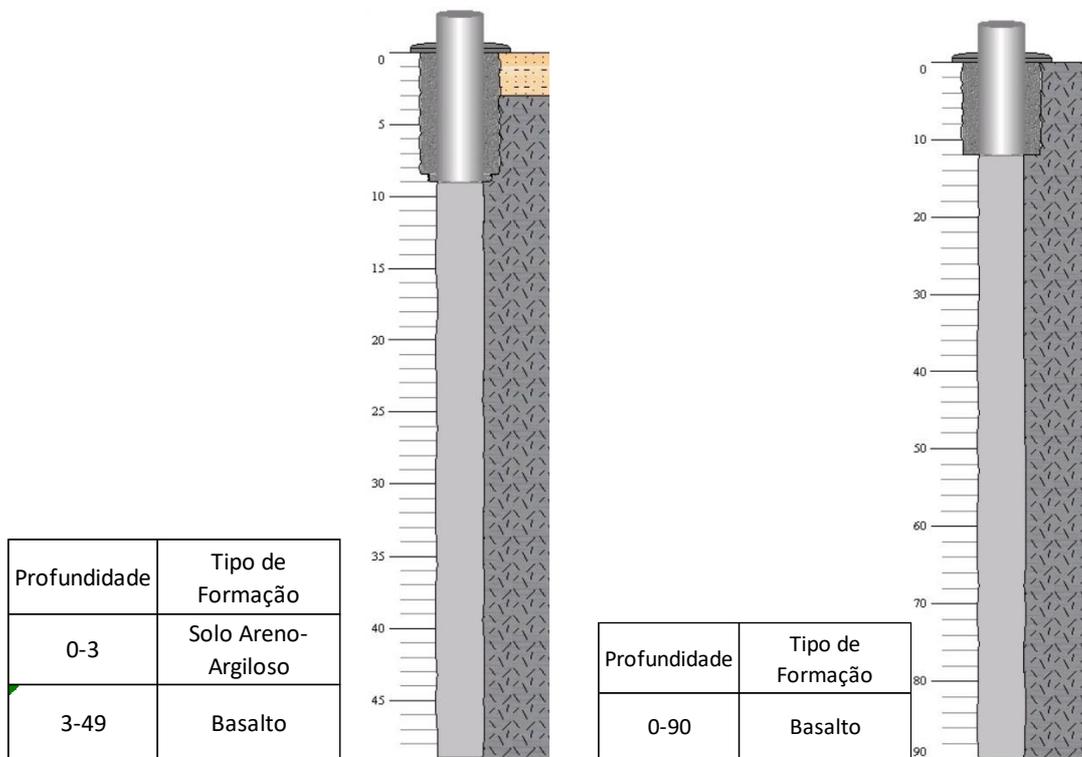
Dos 15 poços que captam água do SAG, apenas 10 continham informações de Nível Estático (NE) e Vazão, onde a média ficou como 9,21 m e 12,47 m³/h, respectivamente, mas pode-se observar que, em sua maioria, os poços possuem de 100 a 150m de profundidade. O valor encontrado para a média referente ao NE foi de 9,21 m de profundidade e a média calculada para a vazão foi de 12,47 m³/h, conforme pode ser visualizado na Tabela 9. A grande variação entre os valores de profundidade e NE pode ser devido aos diferentes graus de confinamento que o aquífero pode estar submetido.

Tabela 9: Dados dos poços do SAG.

	NE (m)	Profundidade (m)	Vazão Q m ³ /h
Média	9,21	159,9	12,47
Mediana	5,27	144	11
Máximo	30,89	250	37,7
Mínimo	2,66	78	3,5
Desvio Padrão	8,5	52,91	8,96
N° de Dados	10	15	10

4.3.2 Sistema Aquífero Serra Geral

A análise dos dados do Sistema Aquífero Serra Geral foi feita com base nos 14 poços que captam água SASG dentre os 65 totais observados na área de estudo. A litologia presente corresponde aos aquíferos fissurais presentes nas rochas vulcânicas do Grupo Serra Geral, com litologia composta por basaltos e rochas vulcânicas ácidas, pode ser observado na Tabela 10 que a profundidade pode chegar a 318m, porém em média fica entre 50-100. Além disso, o NE fica em média a 22,76m de profundidade e a vazão encontrada fica na média de 12,46 m³/h. As Figuras 22 e 23 representam perfis de poços que podem ser encontrados na área de estudo.



Figuras 22 e 23: Poços com captação confinada e livre no Sistema Aquífero Serra Geral (SIAGAS)

Tabela 10: Dados dos poços do SASG.

	NE (m)	Profundidade (m)	Vazão Q m ³ /h
Média	22,76	120,17	12,46
Mediana	21,04	90	11
Máximo	39,52	318	37,7
Mínimo	6	49	3,5
Desvio Padrão	9,79	70,9	8,96
Nº de Dados	8	12	10

4.3.3 Sistema Aquífero Quaternário Costeiro

O Sistema Aquífero Quaternário Costeiro corresponde aos aquíferos porosos presentes nos sedimentos da planície costeira do litoral do Rio Grande do Sul, com camadas arenosas que podem estar intercaladas com camadas argilosas. Dos 65 poços inseridos na área de estudo, 20 captam água do SAQC sendo que, conforme a Tabela 11, a profundidade pode chegar a 200m, porém em média fica entre 50 – 100m, o nível estático fica numa média de 7,65 m e a vazão medida dos poços com uma média de 9 m³/h. Na Figura 24 pode-se visualizar o poço ISO 28 localizado no município de Morrinhos do Sul e a espessura da camada de areia média.

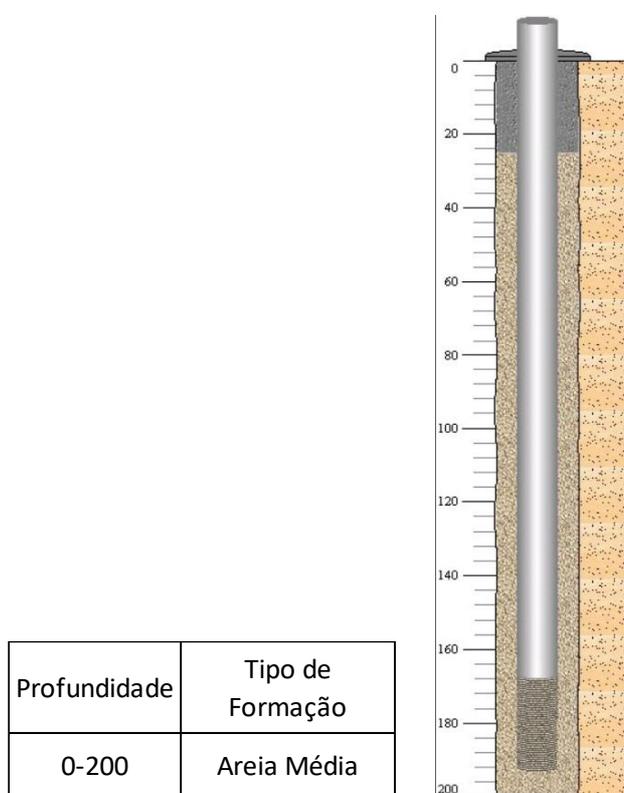


Figura 24: Poços com captação confinada e livre no Sistema Aquífero Quaternário Costeiro (SIAGAS).

Tabela 11: Dados dos poços do SAQC.

	NE (m)	Profundidade (m)	Vazão Q m ³ /h
Média	7,65	80,94	9
Mediana	3,35	72	10
Máximo	37,6	200	12
Mínimo	0,19	2,75	4
Desvio Padrão	9,84	61,14	3,31
N° de Dados	18	20	15

4.4 Avaliação de vulnerabilidade

A partir das informações obtidas e interpretadas no banco de dados, foram selecionados os poços para a avaliação da vulnerabilidade para cada um dos sistemas aquíferos que estão presentes na área de estudo: Sistema Aquífero Guarani, Sistema Aquífero Serra Geral e Sistema Aquífero Quaternário Costeiro. Na área de estudo estão presentes 65 poços ao todo, onde 15 pertenciam ao SAG, 14 captavam do SASG, 3 com captação mista de ambos os sistemas e ainda 20 que captam água do SAQC. Porém, 16 dos 65 poços contabilizados no banco de dados não puderam ser utilizados no cálculo do índice de vulnerabilidade pois não continham informações sobre coordenadas, perfil geológico e dados hidrogeológicos, como NE, vazão, entre outros, esses poços foram utilizados somente para caracterização do uso d'água na área.

Os mapas finais de vulnerabilidade para cada sistema aquífero foram gerados através da ferramenta de interpolação “IDW” no software ArcGis e os intervalos de vulnerabilidade foram estabelecidos de acordo com o método GOD. A escolha por essa ferramenta de interpolação foi feita com base no estudo de Hernandez *et al.* (2020) e de Vargas *et al.* (2022) para os aquíferos fraturados.

Para a avaliação do SAG e do SASG foi considerada toda a área de estudo como de ocorrência dos sistemas aquíferos, pois os mesmos tendem a ocorrer em toda a área, mas em profundidades diferentes. Para o SAQC, entretanto, foi considerado apenas a área de ocorrência do sistema, visto que o mesmo não tem ocorrência em outras áreas.

4.4.1 Sistema Aquífero Guarani

4.4.1.1 Parâmetro G

O parâmetro G do método GOD corresponde ao grau de confinamento da água subterrânea no local dos poços e para o SAG foram obtidos resultados entre 0,2 e 0,9. Os poços avaliados com peso 0,9 correspondem às áreas onde a Formação Botucatu é aflorante e, portanto, correspondem a aquíferos livres. Os poços com peso entre 0,8 a 0,6 compreendem as áreas com presença de solo com diferentes espessuras. Os pesos de 0,2, entretanto, foram atribuídos aos poços que captam água de aquíferos confinados pelo Grupo Serra Geral.

O mapa gerado para o parâmetro G para os poços que captam água do Sistema Aquífero Guarani, pode ser visualizado na Figura 25.

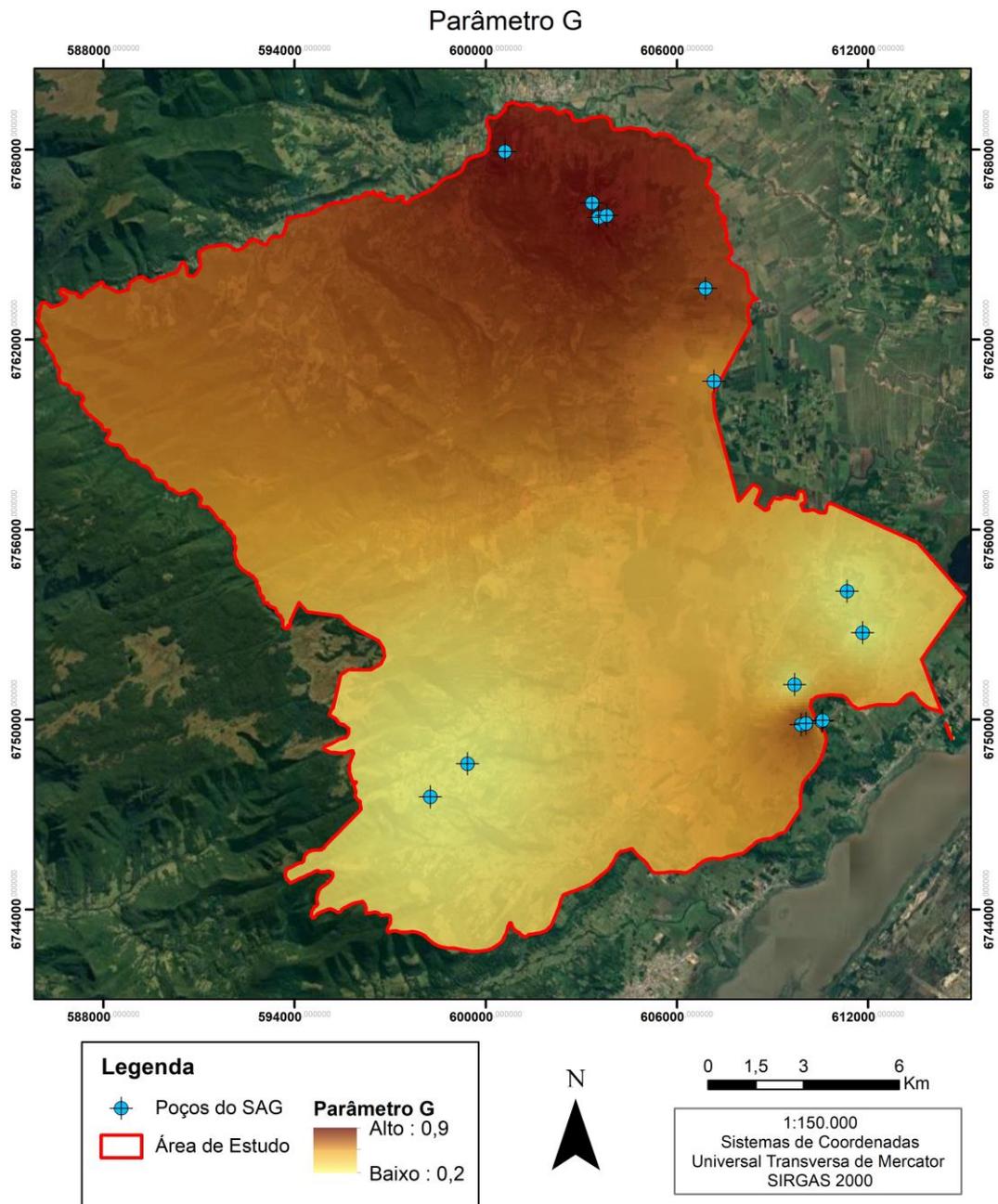


Figura 25: Mapa do Parâmetro G para o SAG, elaborado pela autora.

4.4.1.2 Parâmetro O

A classificação do Parâmetro O foi feita avaliando os dados geológicos dos perfis dos poços e o Mapa Exploratório de Solos do Estado do Rio Grande do Sul (IBGE, 2002). Os resultados apresentaram valores que variam de 0,5 a 0,8, onde 0,5 corresponde aos estratos de cobertura com presença de rocha intemperizada, 0,7 para os poços presentes onde há as

rochas vulcânicas do Grupo Serra Geral e 0,8 para arenito. O mapa obtido para o parâmetro O pode ser visualizado abaixo, na Figura 26.

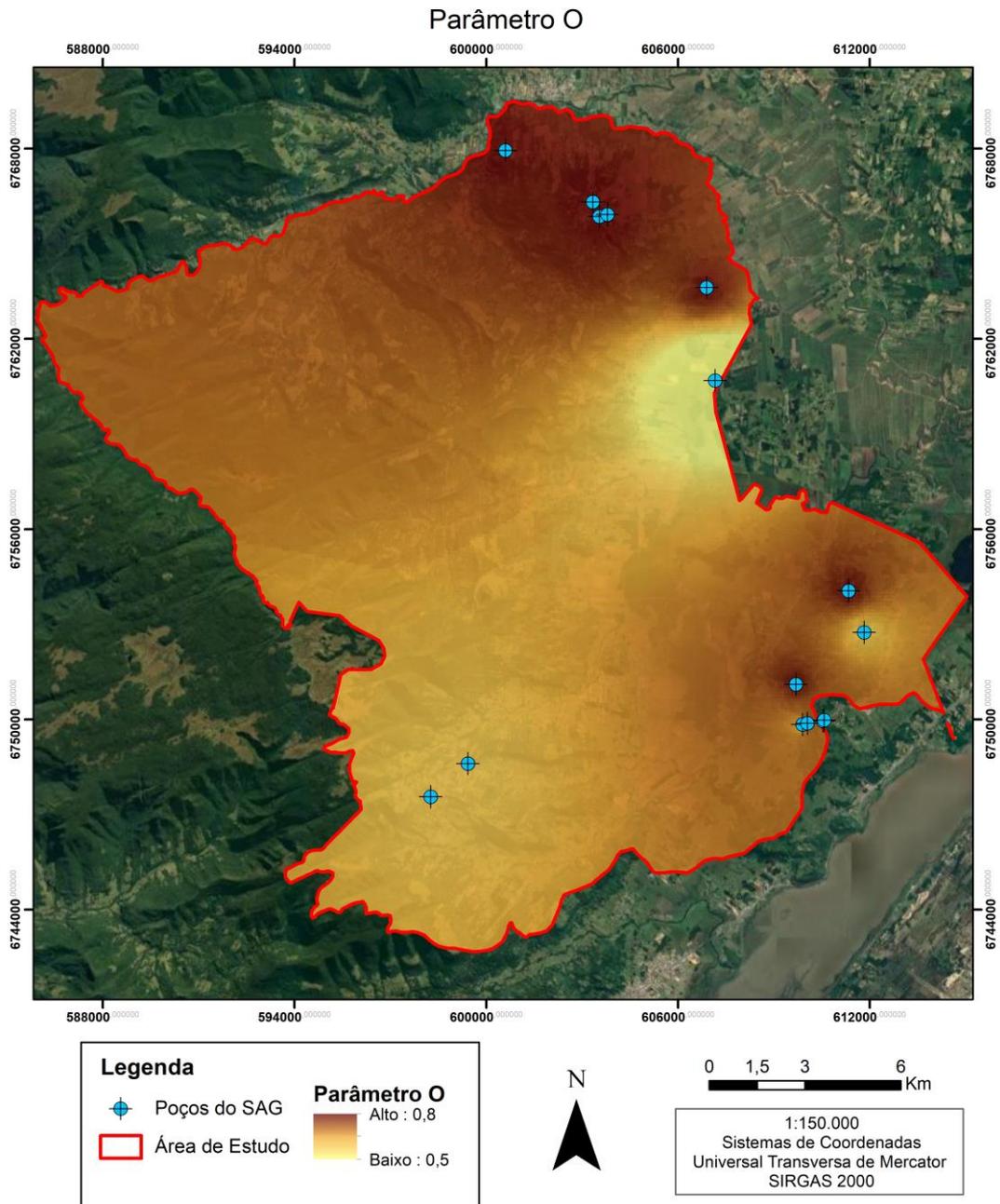


Figura 26: Mapa do Parâmetro O para o SAG, elaborado pela autora.

4.4.1.3 Parâmetro D

O parâmetro D corresponde a profundidade dos níveis estáticos dos poços ou a profundidade do topo das camadas aquíferas. Na classificação realizada para o SAG os poços receberam pesos que variam de 0,7 a 0,9, onde 0,7 compreende profundidades entre 20-50m,

0,8 profundidades entre 5-20m e 0,9 profundidades menores que 5m. Os poços que não continham a informação do nível estático foram calculados com a média obtida para o NE entre os poços do SAG. Embora o aquífero ocorra na maior parte como confinado, não foram utilizadas informações a respeito da profundidade do topo das camadas aquíferas, pois esse dado era escasso e disponível para poucos poços. O mapa do Parâmetro D pode ser observado na Figura 27.

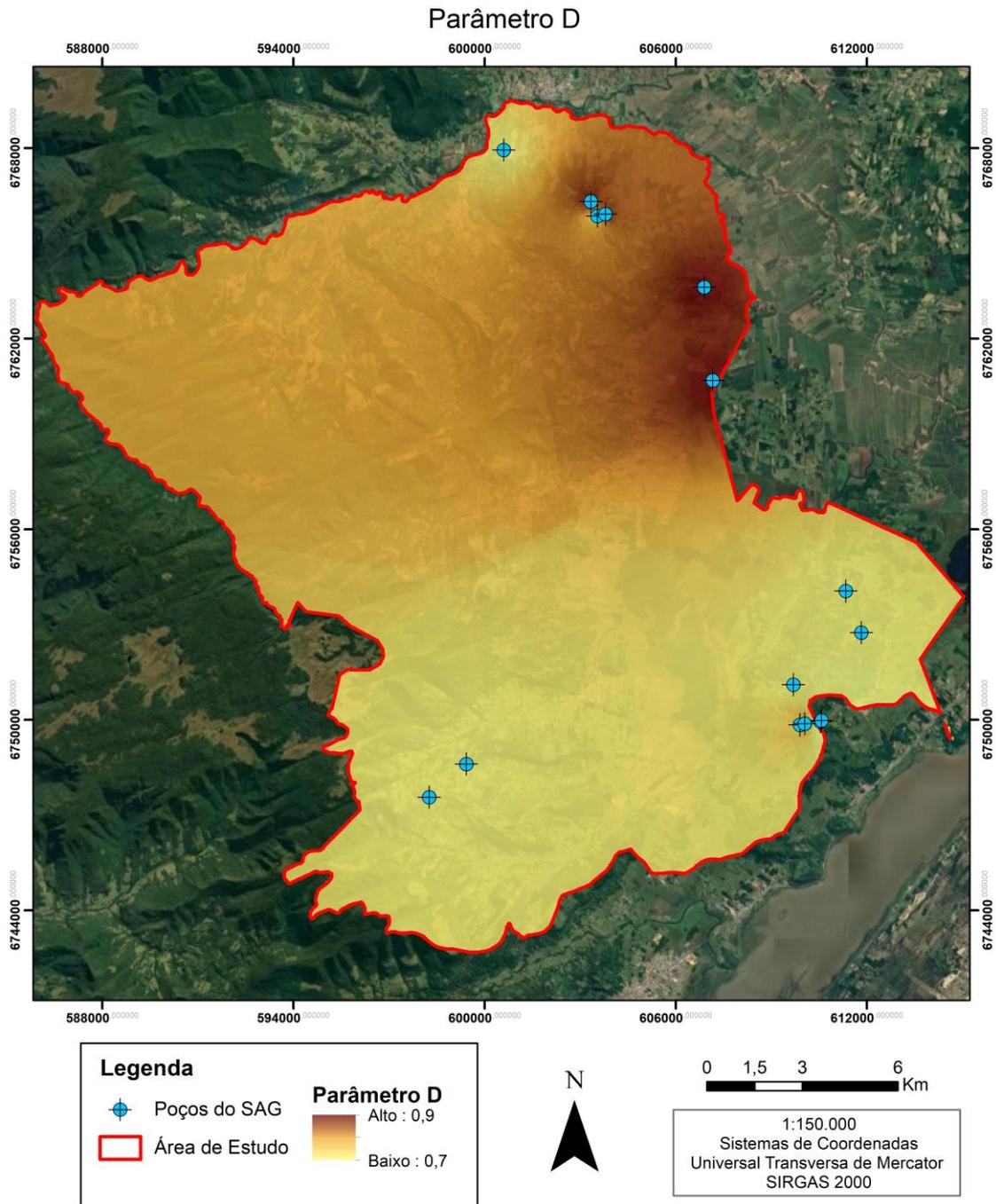


Figura 27: Mapa do Parâmetro D para o SAG, elaborado pela autora.

4.4.1.4 Vulnerabilidade SAG

Os 15 poços que tem sua captação do Sistema Aquífero Guarani tiveram seus parâmetros multiplicados com a finalidade de se obter o índice de vulnerabilidade GOD, de 0 a 1, que representam as classes insignificante, baixa, média, alta e extrema. Essa classificação foi gerada através de uma tabela com os dados dos respectivos poços e os pesos foram atribuídos para cada parâmetro analisado, gerando índices que variaram de baixo a alto (Anexo C). Cerca de 41,67% dos poços apresentaram índice baixo, 35,23% dos poços foram classificados com índice médio e 23,10% com alto índice de vulnerabilidade. O mapa gerado a partir da multiplicação entre os parâmetros pode ser visualizado na Figura 28, assim como a área ocupada e as porcentagens estão representadas na Tabela 12.

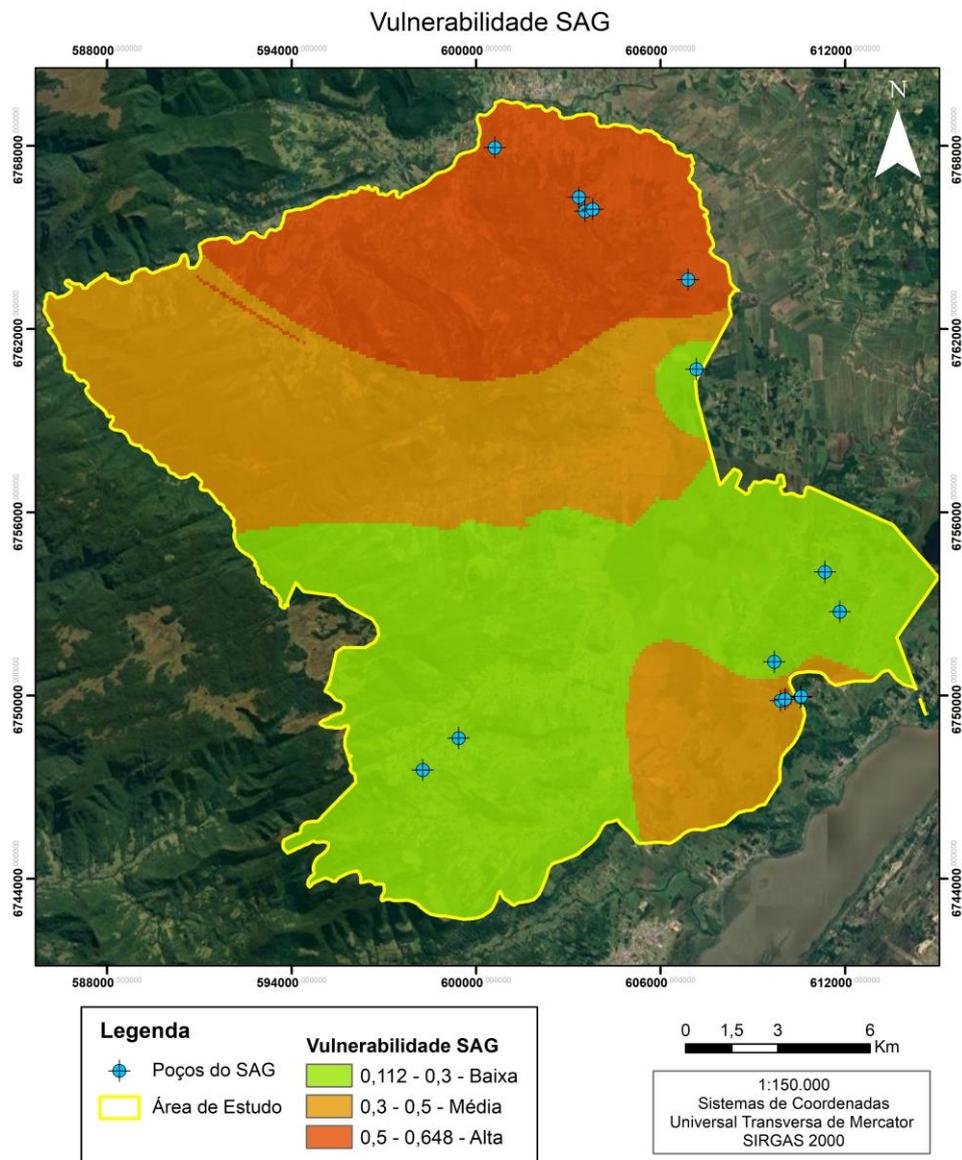


Figura 28: Mapa de Vulnerabilidade para o SAG, elaborado pela autora.

Tabela 12: Extensão das áreas classificadas pelo método GOD.

Vulnerabilidade	Área Km²	%
Baixa	172,1	41,67%
Média	145,49	35,23%
Alta	95,41	23,10%
Área Total	413	100,00%

O mapa de vulnerabilidade e a tabela com as respectivas áreas ocupadas indicam que, em sua maioria, os poços que captam água da porção confinada do SAG apresentaram baixa vulnerabilidade e os poços presentes nas áreas onde o aquífero era aflorante resultaram em média e alta vulnerabilidade. Além disso, os valores de NE também influenciaram nos resultados, considerando que os locais onde a profundidade era menor os índices ficaram mais altos.

4.4.2 Sistema Aquífero Serra Geral

4.4.2.1 Parâmetro G

Na classificação do parâmetro G dos poços do SASG foram obtidos resultados que variam de 0,6 a 1. O poço avaliado com peso 1, apresentava perfil que demonstrava não haver nenhuma cobertura sedimentar acima da formação, os poços avaliados com 0,9 apresentaram solo com espessura de até 5m, os avaliados com peso 0,8 apresentavam solo com espessura de 5 a 10m, os que foram classificados com peso de 0,7 continham espessura de 10-15m e, por fim, os poços que foram avaliados com peso 0,6 no parâmetro G apresentaram solo com espessura de 15-20m. O mapa gerado para o parâmetro G sobre os poços que captam do Sistema Aquífero Serra Geral pode ser visualizado na Figura 29.

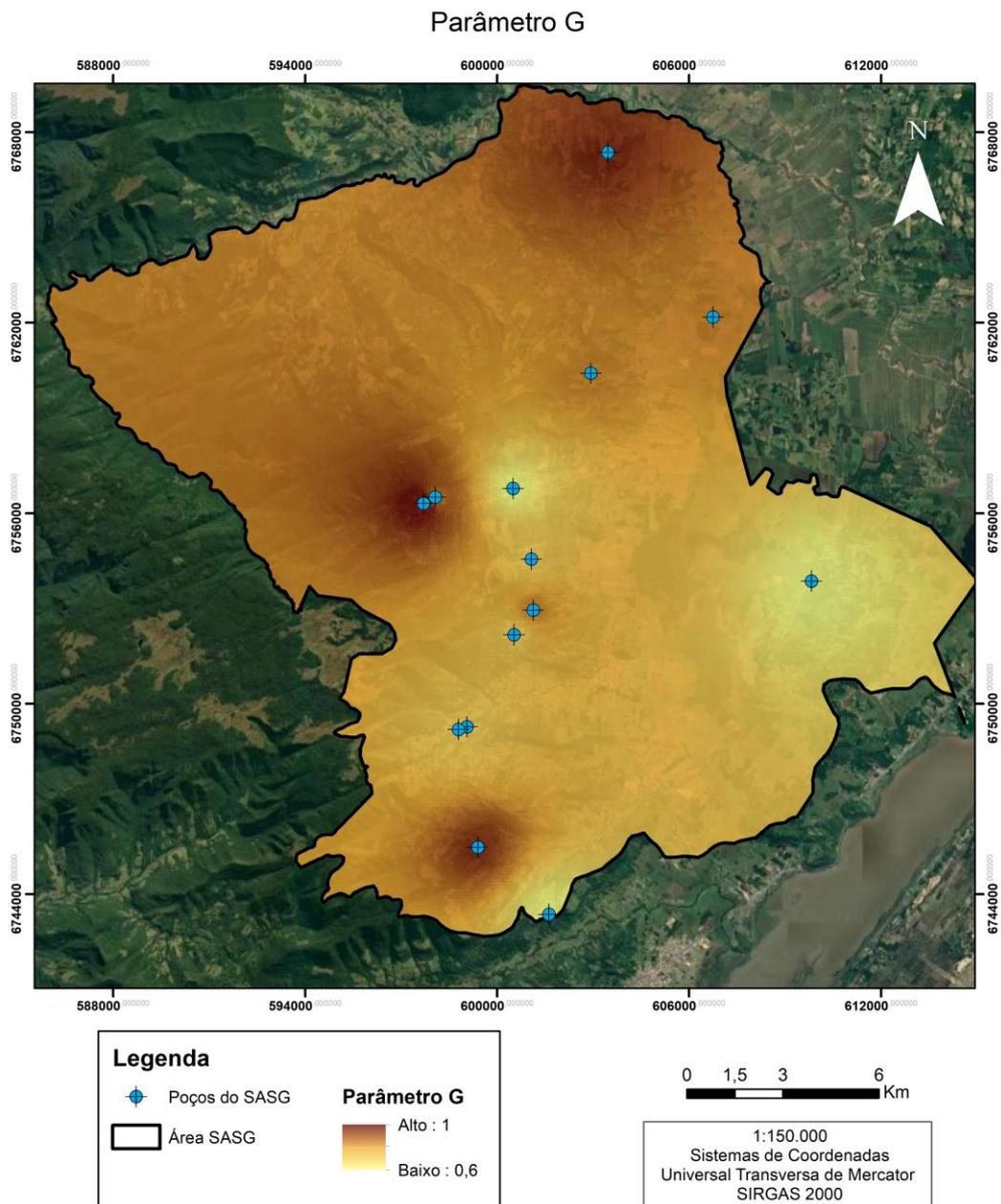


Figura 29: Mapa do Parâmetro G para o SASG, elaborado pela autora.

4.4.2.2 Parâmetro O

A classificação do parâmetro O foi realizada analisando os dados geológicos dos perfis dos poços e o Mapa Exploratório de Solos do Estado do Rio Grande do Sul (IBGE, 2002), conforme descrito na metodologia. Os resultados obtidos são apresentados no mapa da Figura 30 e os valores encontrados variam de 0,5 a 0,8, onde 0,5 corresponde aos estratos de cobertura com presença de camadas de sedimentos com maiores espessuras identificadas nos

perfis, 0,6 os solos classificados como nitossolo, 0,7 para os poços presentes em local com cambissolos e 0,8 para solos compostos por cascalho.

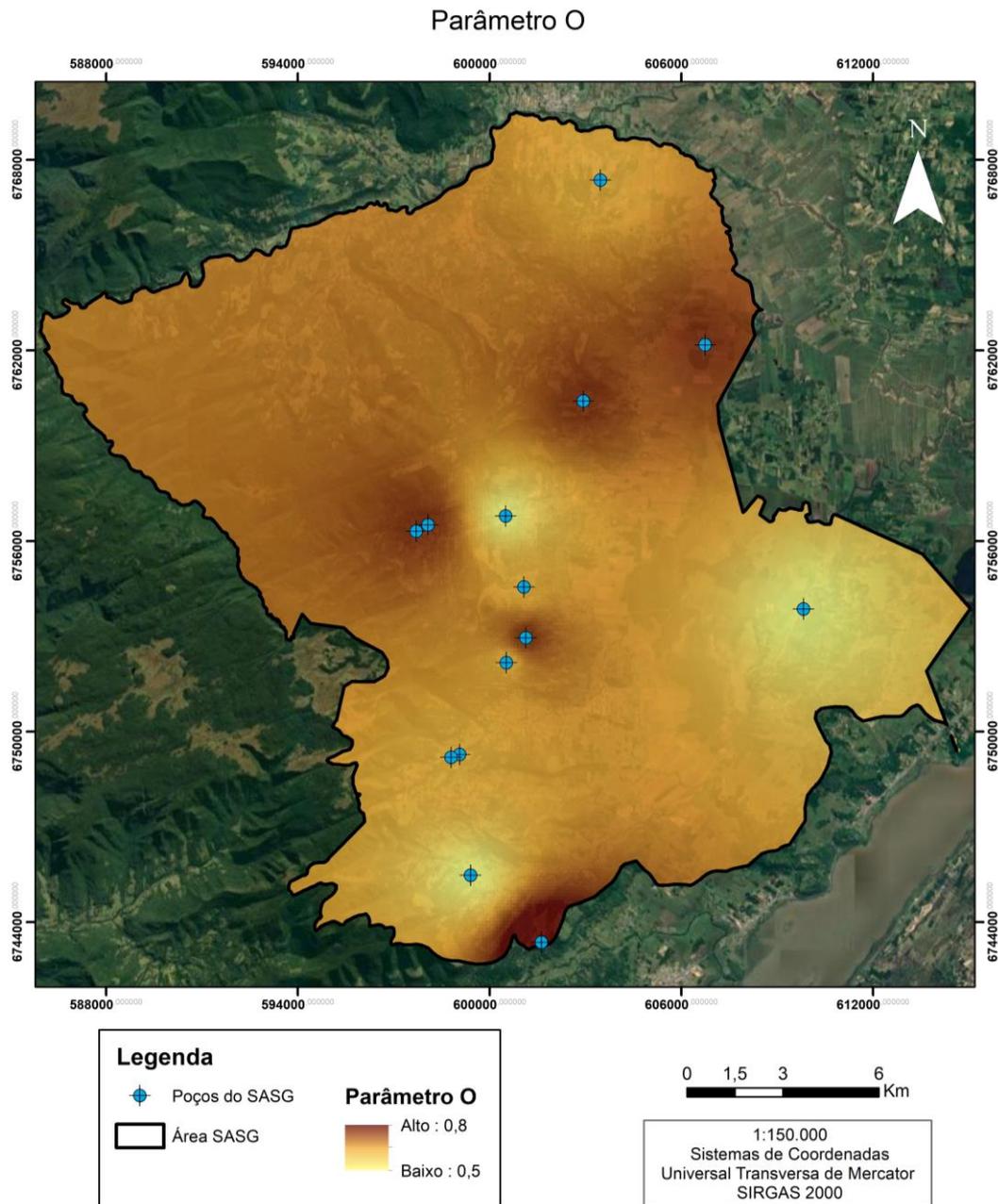


Figura 30: Mapa do Parâmetro O para o SASG, elaborado pela autora.

4.4.2.3 Parâmetro D

O parâmetro D foi classificado conforme a profundidade dos níveis estáticos dos poços, aqueles que não continham essa informação receberam valores que correspondem a média que foi calculada a partir da informação do NE dos outros poços do SASG. Os valores

atribuídos ficaram entre 0,7 e 0,8, onde 0,7 compreende profundidades entre 20 - 50m e 0,8 profundidades entre 5-20m. A Figura 31 apresenta o mapa gerado para o parâmetro D.

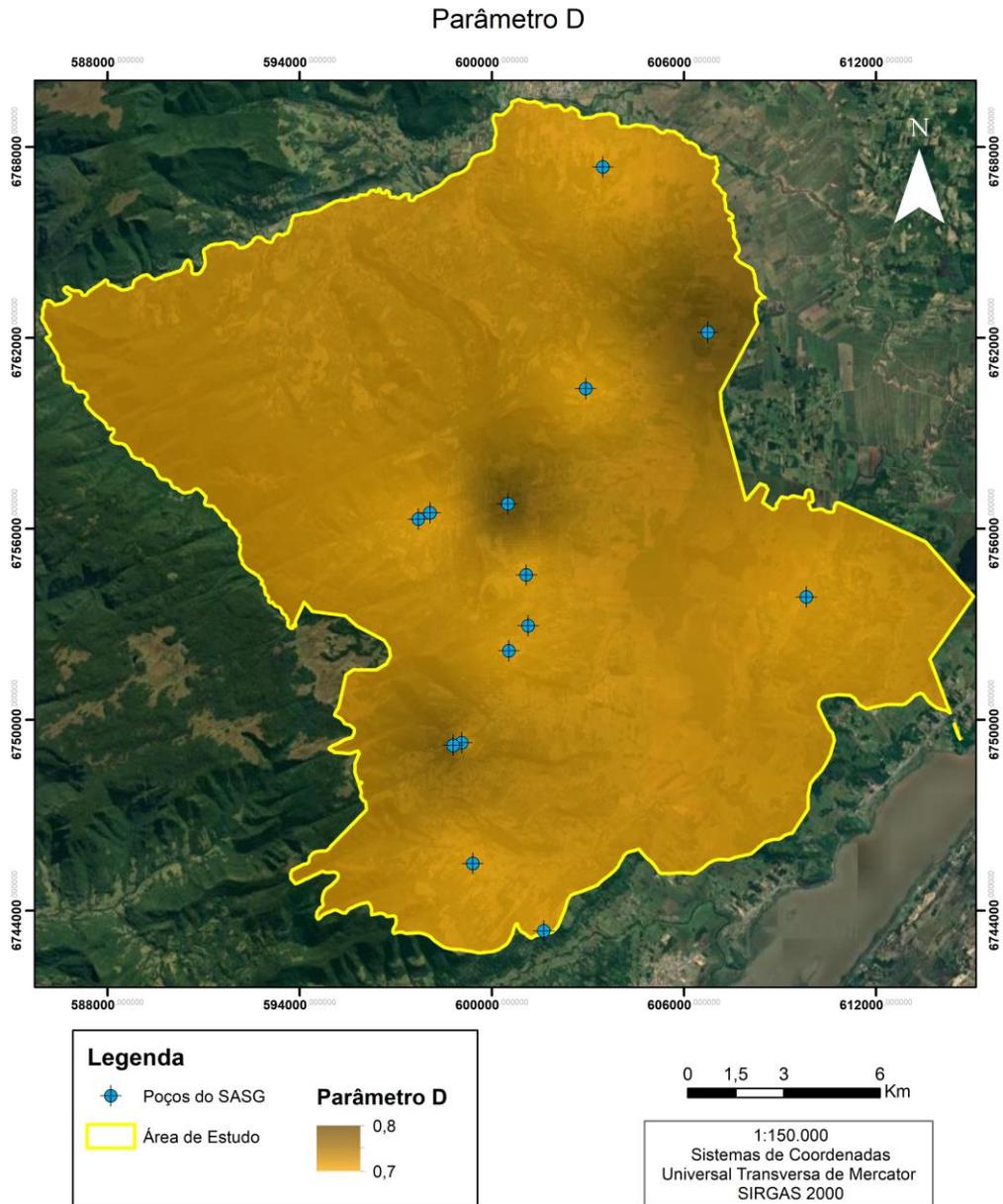


Figura 31: Mapa do Parâmetro D para o SASG, elaborado pela autora.

4.4.2.4 Vulnerabilidade SASG

Os 14 poços que tem sua captação do Sistema Aquífero Serra Geral tiveram seus parâmetros multiplicados gerando índices que variam de baixo a médio (Tabela 13). Cerca de 9,57% dos poços apresentaram índice baixo, enquanto o restante, cerca de 90,43% dos poços, foram classificados com índice médio. O mapa gerado pode ser visualizado na Figura 32.

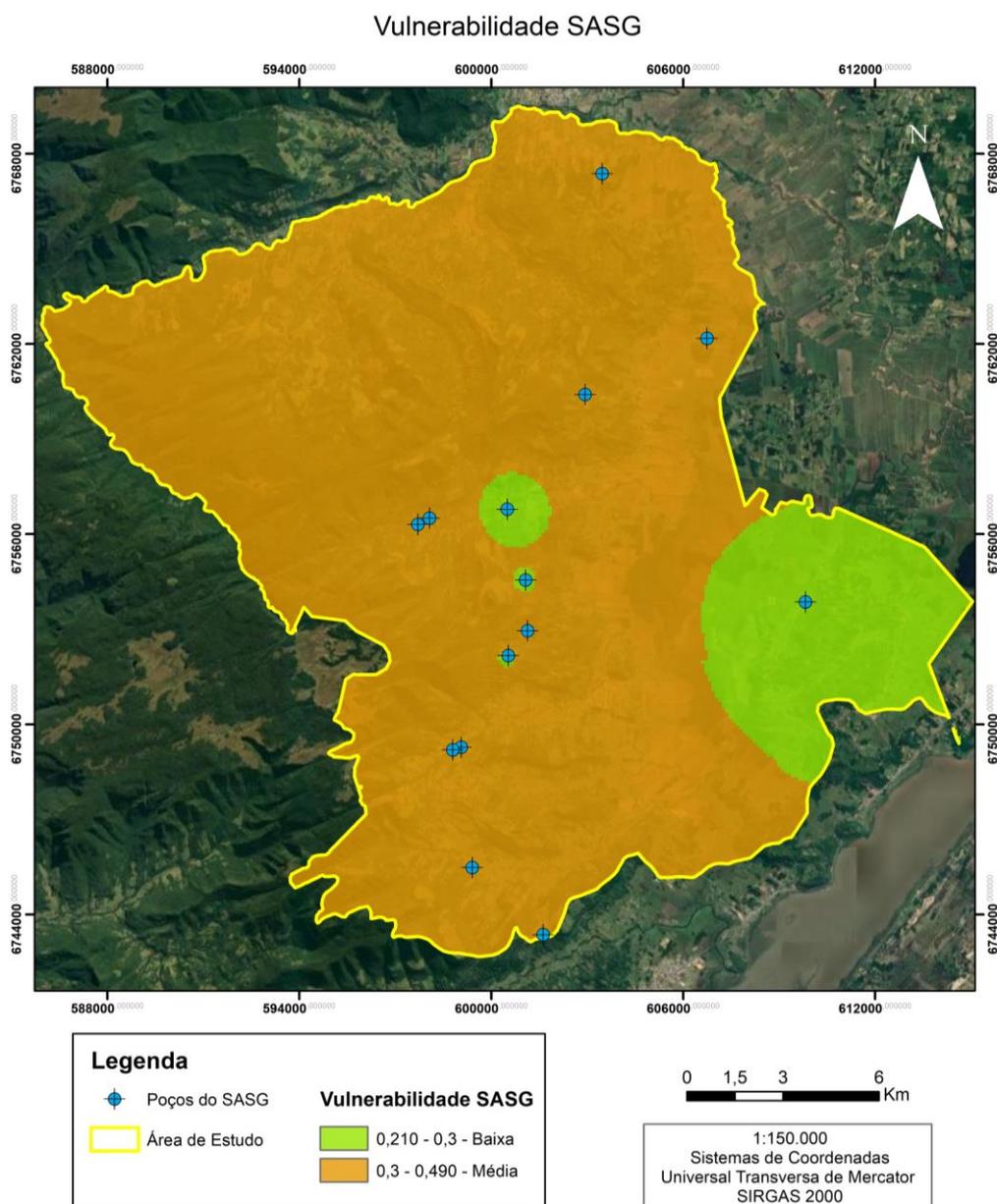


Figura 32: Mapa da Vulnerabilidade do SASG, elaborado pela autora.

Tabela 13: Extensão das áreas classificadas pelo método GOD.

Vulnerabilidade	Área Km²	%
Baixa	23,89	9,57%
Média	225,69	90,43%
Área Total	249,58	100,00%

As áreas ocupadas pelos índices baixo e médio tiveram seus resultados influenciados principalmente pela profundidade do NE e pelas espessuras dos estratos de cobertura. Os locais onde as espessuras eram relativamente menores, os índices gerados foram maiores.

4.4.3 Sistema Aquífero Quaternário Costeiro

4.4.3.1 Parâmetro G

Na classificação do parâmetro G dos poços do SAQC foram obtidos resultados que variam entre 0,8 e 0,9, a diferença nos valores foi calculada a partir da presença e espessura do solo na área. O mapa gerado para o parâmetro G, respectivo ao grau de confinamento do aquífero, dos poços que captam do Sistema Aquífero Quaternário Costeiro pode ser visualizado na Figura 33.

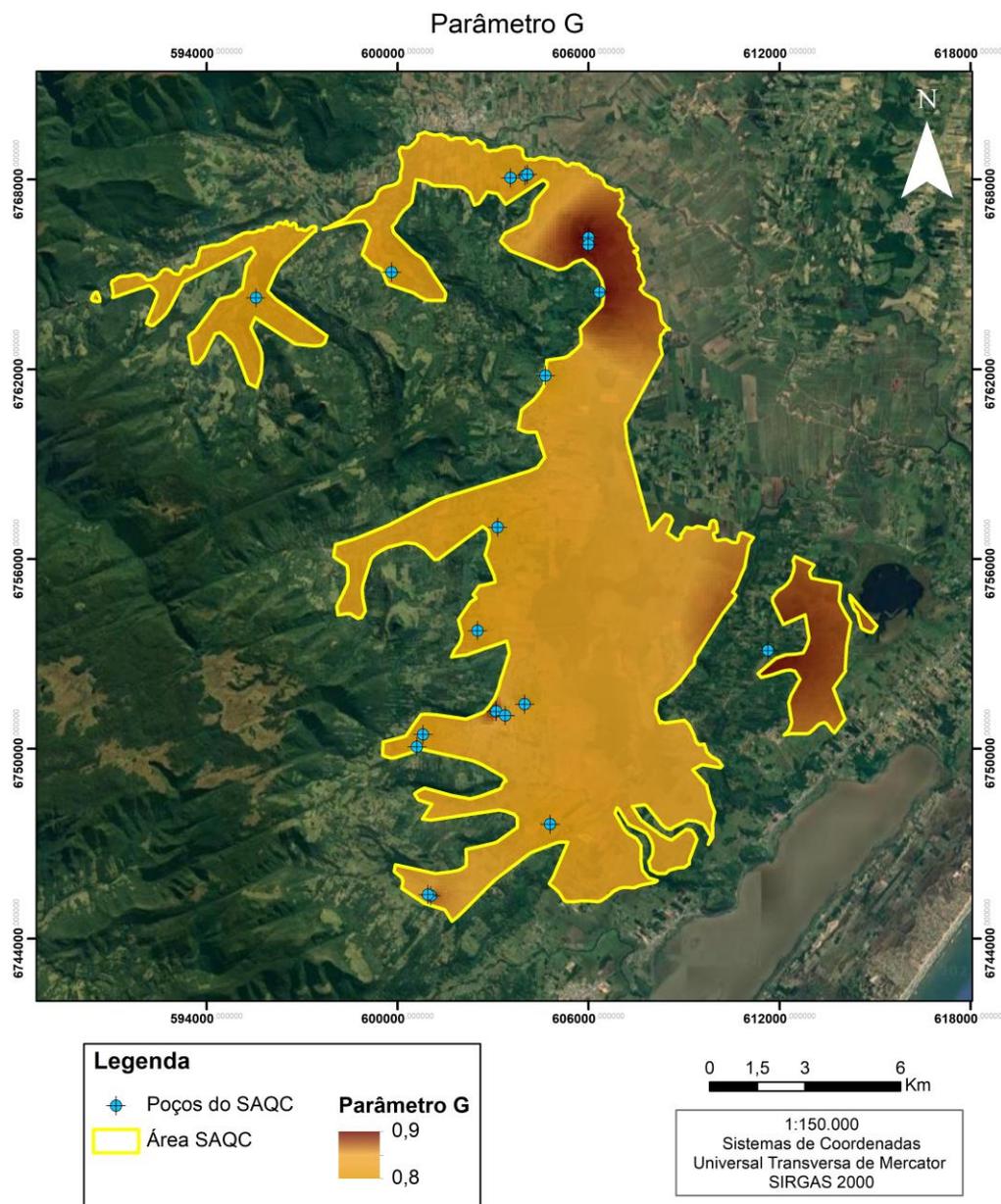


Figura 33: Mapa do Parâmetro G para o SAQC, elaborado pela autora.

4.4.3.2 Parâmetro O

A avaliação do Parâmetro O foi feita avaliando os dados geológicos dos perfis dos poços e o Mapa Exploratório de Solos do Estado do Rio Grande do Sul (IBGE, 2002). Os resultados variam entre 0,6 a 0,9, onde 0,6 corresponde aos estratos de cobertura com presença de solo arenoso, 0,7 para os poços presentes onde há solo do tipo cambissolo, 0,8 para chernossolo e 0,9 para gleissolo. Os pesos foram calculados com base no estudo já realizado por Gomes e Vargas (2021). O mapa obtido para o parâmetro O pode ser visualizado abaixo, na Figura 34.

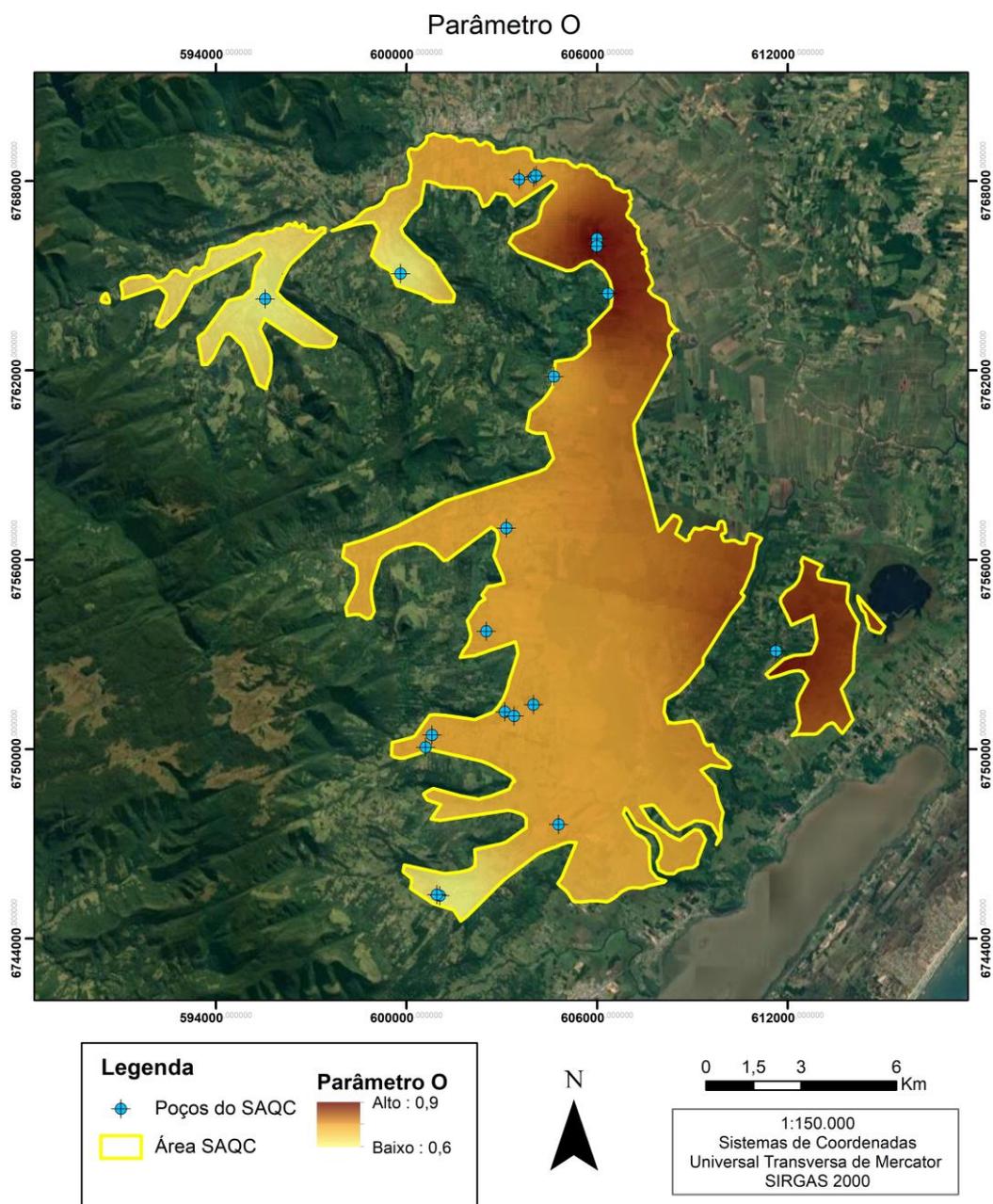


Figura 34: Mapa do Parâmetro O para o SAQC, elaborado pela autora.

4.4.3.3 Parâmetro D

O parâmetro D foi classificado de acordo com os dados de profundidade dos níveis estáticos dos poços. Os poços que não continham a informação receberam valores que correspondem a média calculada a partir do NE do restante dos poços. Os pesos atribuídos ficaram entre 0,7 e 0,9, onde 0,7 compreende profundidades entre 20-50m, 0,8 profundidades entre 5-20m e 0,9 profundidades de até 5m, a distribuição geográfica pode ser visualizada na Figura 35.

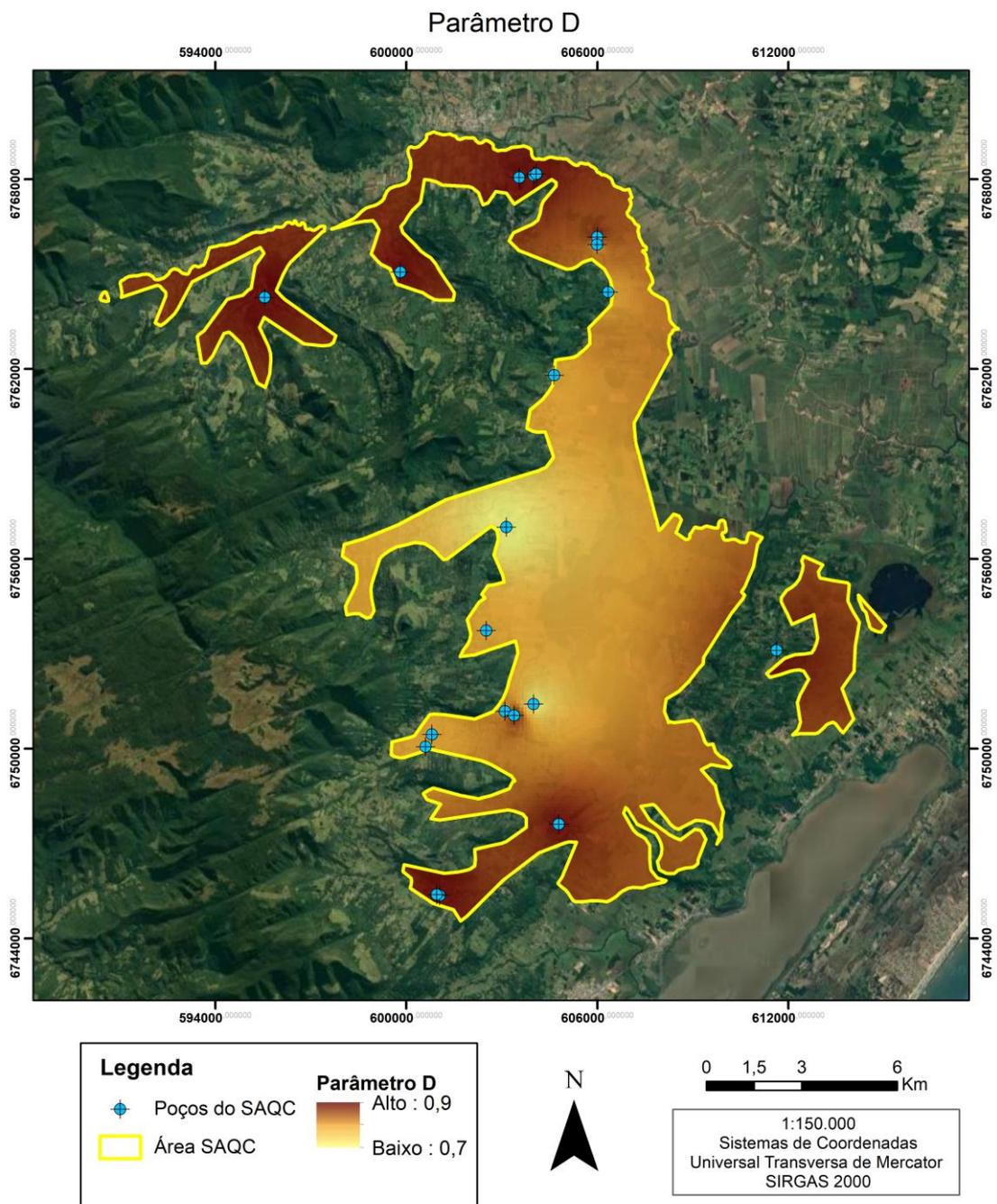


Figura 35: Mapa do Parâmetro G para o SAQC, elaborado pela autora.

4.4.3.4 Vulnerabilidade do SAQC

Os 20 poços que captam água do Sistema Aquífero Quaternário Costeiro tiveram os parâmetros G, O e D multiplicados gerando índices que variam de médio a extremo. Em torno de 13,31% dos poços apresentaram índice médio, 81,76% foram classificados com índice alto e 5,93% com índice extremo de vulnerabilidade (Tabela 14). A Figura 36 representa a extensão das áreas de acordo com os índices de vulnerabilidade.

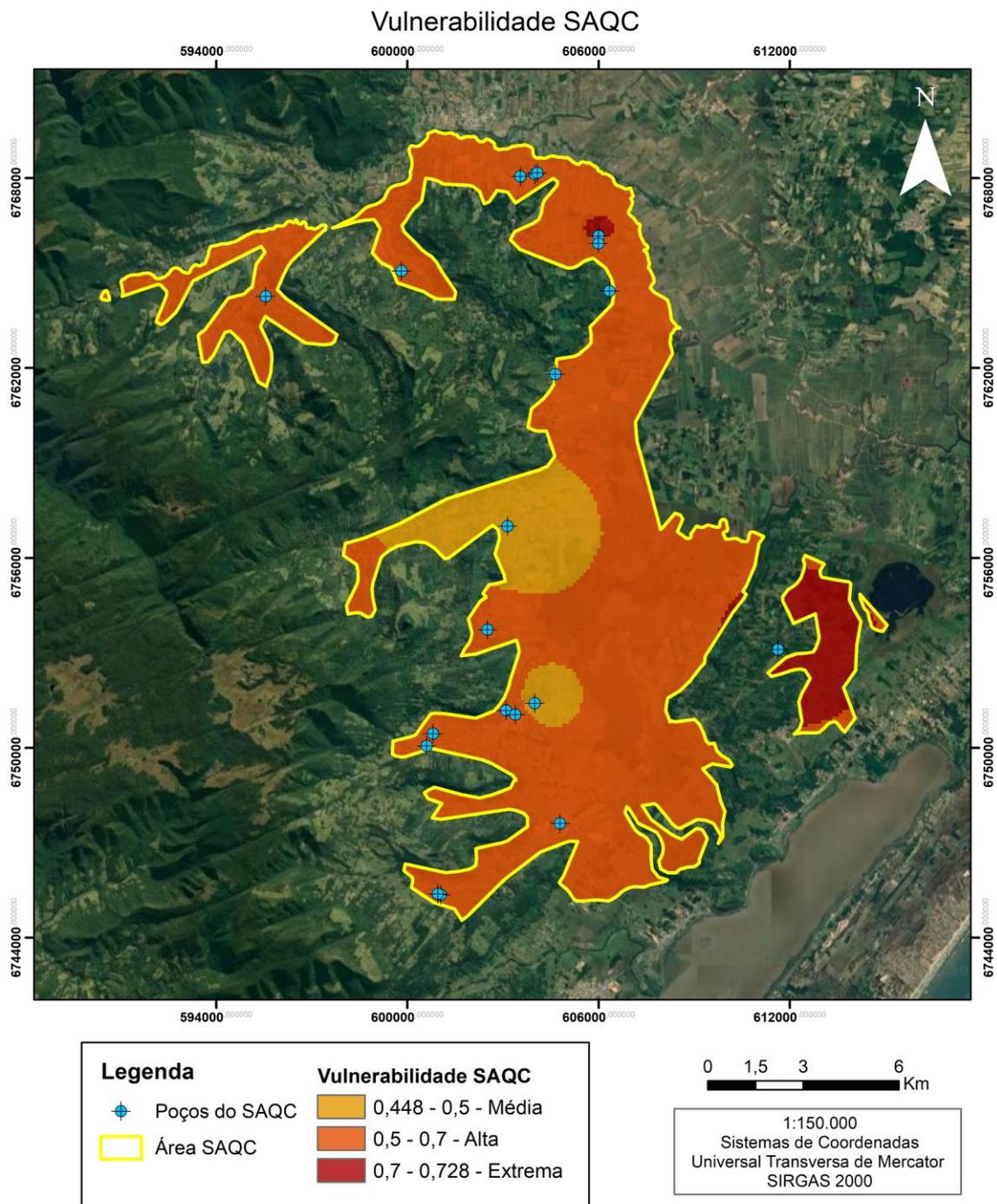


Figura 36: Mapa da Vulnerabilidade do SAQC, elaborado pela autora.

Tabela 14: Extensão das áreas classificadas pelo método GOD.

Vulnerabilidade	Área Km²	%
Média	19	12,31%
Alta	126,19	81,76%
Extrema	9,15	5,93%
Área Total	154,34	100,00%

O cálculo dos índices de vulnerabilidade para o SAQC indica que, em sua maioria, os poços apresentam alta vulnerabilidade. Nos locais onde os estratos de cobertura eram de composição arenosa e a profundidade do NE era baixa, os índices de vulnerabilidade ficaram mais altos.

4.5 Carga Contaminante Potencial

O mapeamento das fontes potenciais de contaminação foi gerado com informações fornecidas pelas prefeituras municipais e por levantamento via *Google Earth Pro* para as fontes pontuais, gerando um banco de dados com 48 pontos cadastrados com atividades de porte reduzido, moderado e elevado. As fontes difusas foram identificadas pelo mapa de uso e ocupação do solo obtido através do Mapbiomas.

4.5.1 Carga Pontual

No levantamento das fontes com potencial contaminação pontual na área de estudo foram encontrados 48 pontos, que foram classificados conforme a metodologia POSH (FOSTER *et al.* 2006). Destes pontos 17 foram classificados como potencial reduzido (35,42%), 20 como potencial moderado (41,67%) e 11 fontes como potencial elevado (22,92%). Entre os pontos com potencial elevado destacam-se fábricas com produção de estruturas de metálicos, como funilarias, e oficinas mecânicas. Áreas com operações de mineração de arenito e saibro foram consideradas com potencial moderado pois são operadas com draga, em cavas a céu aberto (Figura 37). A Tabela 15 evidencia as fontes pontuais encontradas e as respectivas classificações de potencial.



Figura 37: Pedreira de Arenito em Mampituba. Fonte: Foto registrada pela autora em 04/10/2022.

Fontes Pontuais	Quantidade	Potencial de Gerar Carga Contaminante	%
Oficina Mecânica	2	Elevado	22,92%
Fábrica	9		
Posto de Gasolina	3	Moderado	41,67%
Mineração de Arenito	9		
Mineração de Saibro	7		
Lavagem de veículo	1		
Cemitério	15	Reduzido	35,42%
Estação/Antena	1		
Serraria de Madeira	1		

Tabela 15: Fontes pontuais identificadas na área de estudo.

A Figura 38 demonstra a distribuição espacial dos pontos levantados de acordo com o potencial de carga contaminante na área de estudo. A maioria das fontes se concentram próximas à rodovia RS – 494, que interliga os municípios de Mampituba, Morrinhos do Sul e Três Cachoeiras.

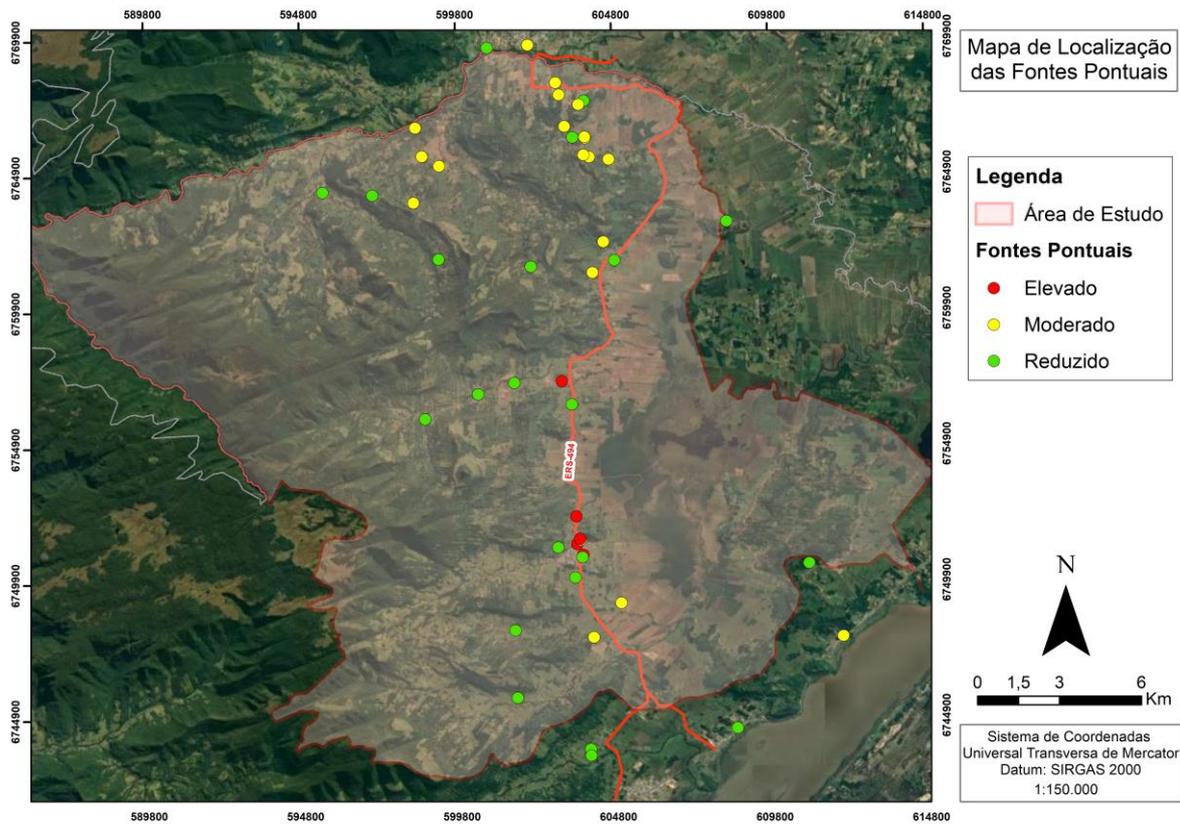


Figura 38: Localização das fontes pontuais mapeadas na área.

4.5.2 Carga Difusa

O mapeamento das fontes difusas foi realizado através de um levantamento do uso e ocupação do solo da área de estudo, que corresponde à forma pela qual o espaço geográfico está sendo utilizado pelo ser humano e quais atividades estão presentes. Este levantamento foi feito através da base de dados do Mappiomas 2021 coleção 7, associado a imagens de satélite do Google Earth (2021) e das informações disponibilizados pelo site do Plano de Bacia do Mampituba, onde a composição principal do uso e cobertura de toda a extensão da bacia é dividida em:

- **21% mata:** Cobertura do solo predominante na Bacia, presente principalmente nas chapadas dos Parques Nacionais dos Aparados da Serra e Serra Geral;
- **20% agricultura:** Compreende principalmente áreas de cultivos anuais onde se destacam o arroz, o milho e o fumo;
- **19% campo:** Campo nativo e pastagens;
- **11% banana:** Agricultura permanente;

- **10% campo úmido:** Áreas permanentemente ou periodicamente alagadas;
- **10% silvicultura:** Plantações florestais principalmente de Pinus e Eucalipto.

Essa divisão, entretanto, não corresponde exatamente à área do estudo pois contempla a área total da Bacia do Mampituba e o presente estudo se limita aos municípios de Morrinhos do Sul, Mampituba e parte de Três Cachoeiras e Dom Pedro de Alcântara. Porém, auxilia a entender melhor a ocupação do solo na região.

A Figura 39 apresenta a configuração atual do uso e ocupação do solo na área e a Tabela 16 evidencia a respectiva extensão superficial e a classificação designada. Pode-se notar que a principal atividade encontrada na área com nível de classificação elevada foram as plantações de arroz, muito presentes nos quatro municípios do estudo.

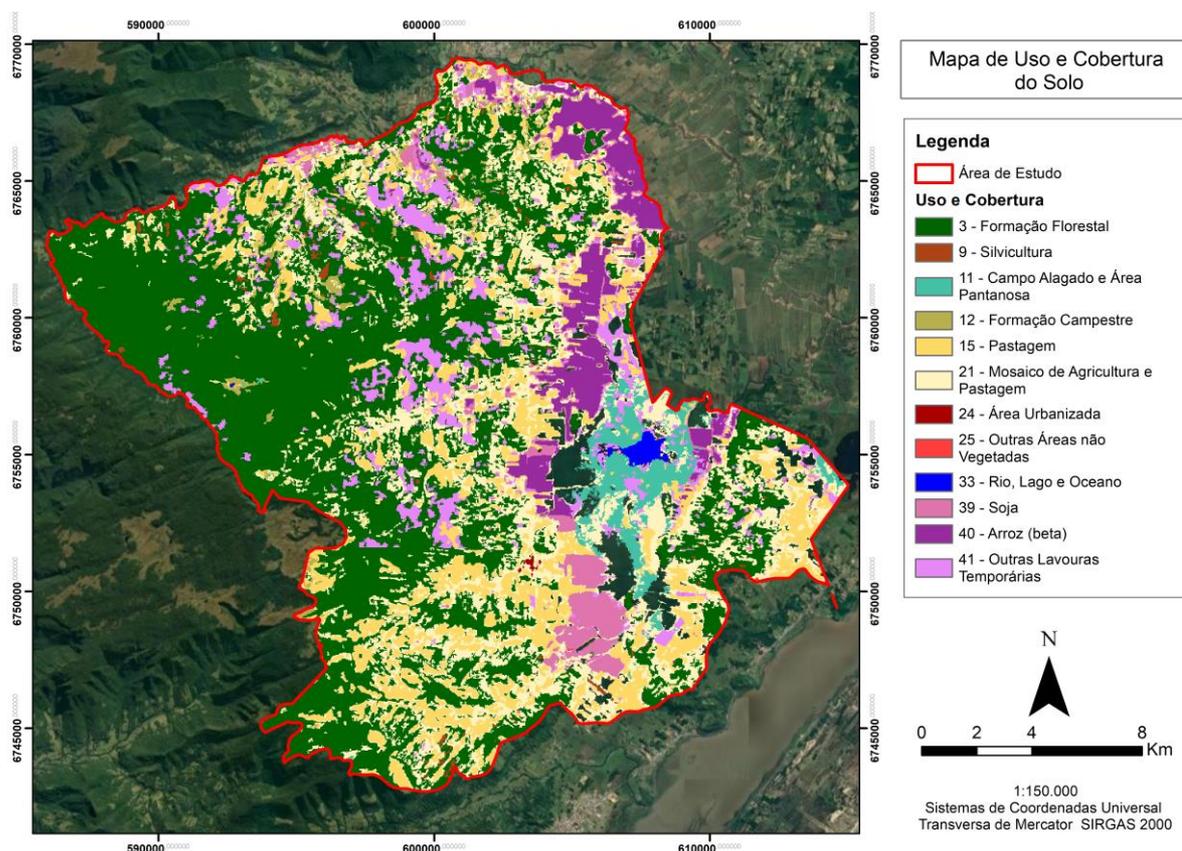


Figura 39: Mapa de Uso e Cobertura do Solo na área de estudo, elaborado pela autora com dados do MapBiomias.

Tabela 16: Extensão das áreas conforme classificação do uso do solo.

Uso do Solo	Área (km²)	%	Potencial Contaminante
Formação Florestal	179,39	43,35%	Reduzido
Silvicultura	1,81	0,44%	Reduzido
Campo Alagado ou Área Pantanosa	11,215	2,71%	Reduzido
Formação Campestre	6,982	1,69%	Reduzido
Pastagem	54,35	13,13%	Moderado
Mosaico de Agricultura e Pastagem	86,06	20,80%	Moderado
Área Urbanizada	0,172	0,04%	Elevado
Outras Áreas não Vegetadas	0,081	0,02%	Reduzido
Massa d'Água	1,38	0,33%	Moderado
Soja	14,03	3,39%	Elevado
Arroz	19,44	4,70%	Elevado
Outras Lavouras Temporárias	27,18	6,57%	Moderado
Restinga Arborizada	11,73	2,83%	Reduzido
Total	413,82	100,00%	

O cultivo de arroz irrigado por inundação é classificado como potencial elevado devido aos pesticidas utilizados na técnica e pelo uso de adubos em conjunto com a realidade das grandes extensões de terras utilizadas para a atividade, na Figura 40 pode-se notar a extensão de uma das áreas destinadas ao cultivo de arroz que ocorrem na região.



Figura 40: Área de plantio de arroz na área de estudo. Fonte: Foto registrada pela autora em 04/10/2022.

Além disso, outra fonte potencial de contaminação considerada no estudo foi a disposição do esgotamento sanitário dos municípios. Conforme método POSH (Foster *et al.* 2006), o saneamento pode ser classificado conforme dois critérios: densidade demográfica e cobertura da rede de coleta de esgoto sanitário. Na Figura 41 pode-se visualizar os dados do Censo de 2010 (IBGE) que demonstram que aproximadamente 12% dos domicílios presentes na área do estudo tem rede pluvial como destinação dos seus efluentes, sendo a maior parte dos efluentes, cerca de 55%, destinados à fossas rudimentares.

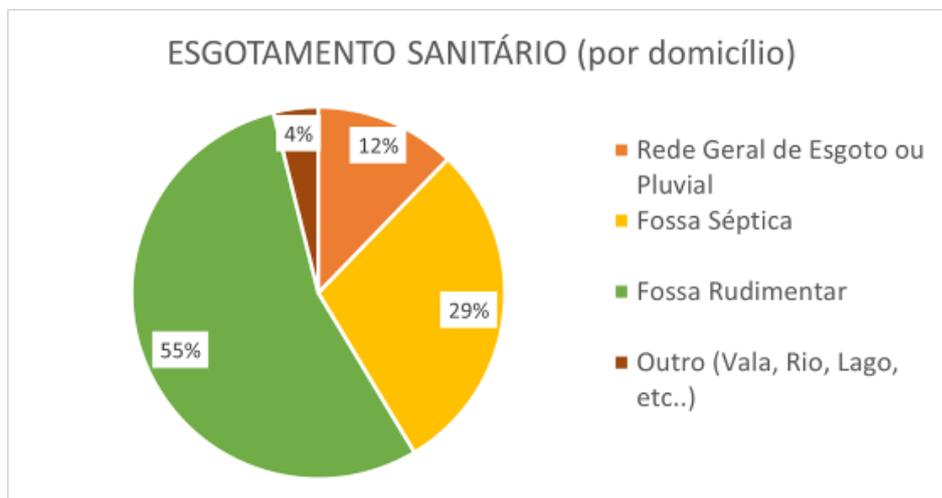


Figura 11: Destinação dos Efluentes Sanitários. Fonte: CENSO 2010 (IBGE).

4.5.3 Risco Potencial de Contaminação

4.5.3.1 Risco Pontual

Após cruzamento do mapa de vulnerabilidade dos sistemas aquíferos com o mapa de fontes pontuais foram gerados mapas do risco de contaminação pontual das águas subterrâneas para os Sistemas Aquíferos Guarani (Figura 42), Serra Geral (Figura 43) e Quaternário Costeiro (Figura 44). Para avaliar as áreas com maior risco potencial foram destacadas as regiões com maior concentração de fontes, distribuídas pela extensão de cada sistema aquífero.

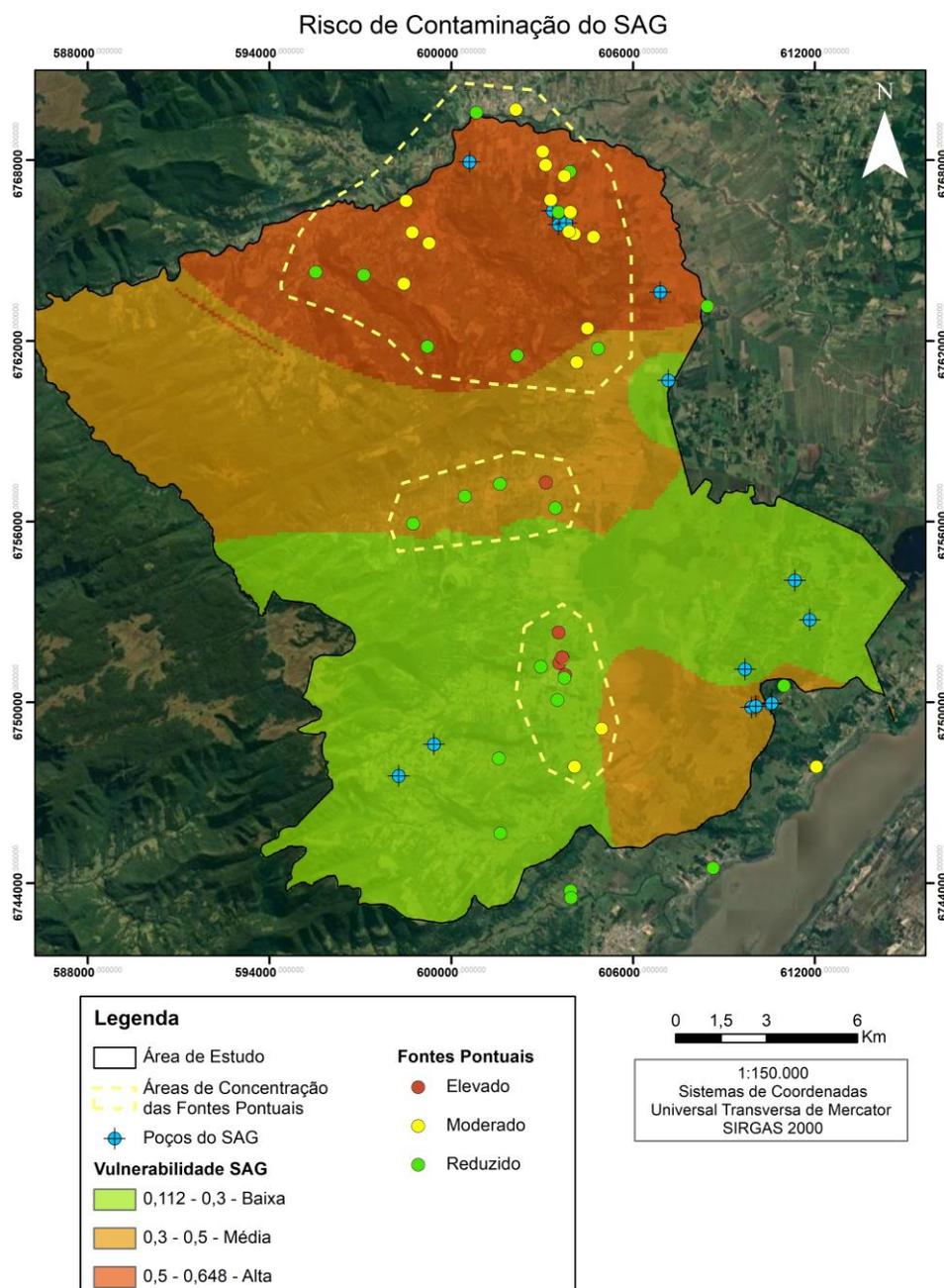


Figura 22: Mapa do Risco Potencial de Contaminação do SAG.

Observa-se que as zonas com risco potencial de contaminação se encontram em locais de vulnerabilidade baixa, média e alta. Entre as três áreas destacadas com risco de contaminação do SASG, a principal se localiza ao norte onde há a presença de maior quantidade de fontes pontuais e a vulnerabilidade encontrada é alta.

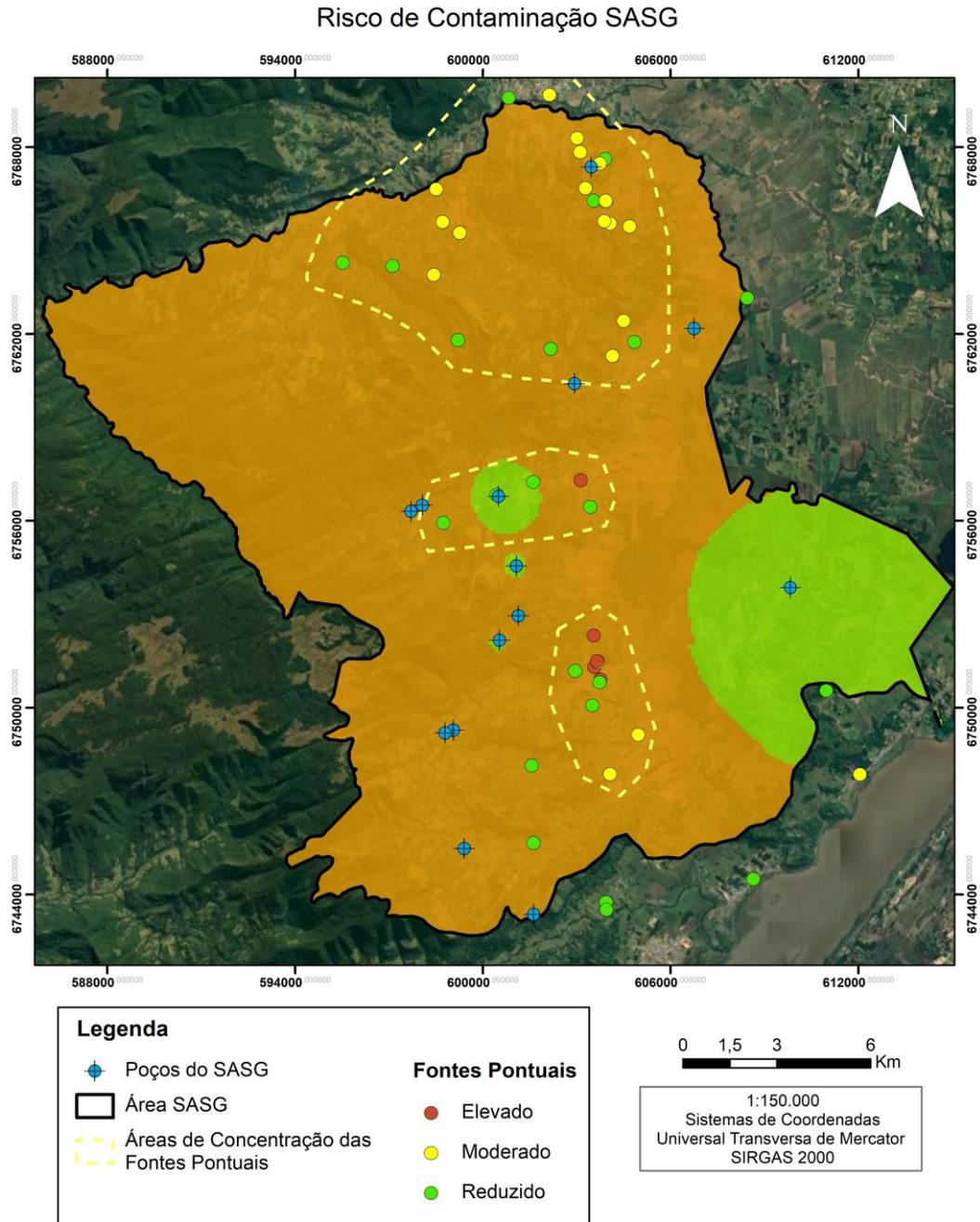


Figura 43: Mapa do Risco Potencial de Contaminação do SASG.

A análise do risco potencial de contaminação do SASG identificou zonas de concentração de fontes pontuais em locais de vulnerabilidade baixa e média, sendo que a

maior parte das fontes são consideradas de nível moderado, como os postos de gasolina e as operações de mineração de saibro.

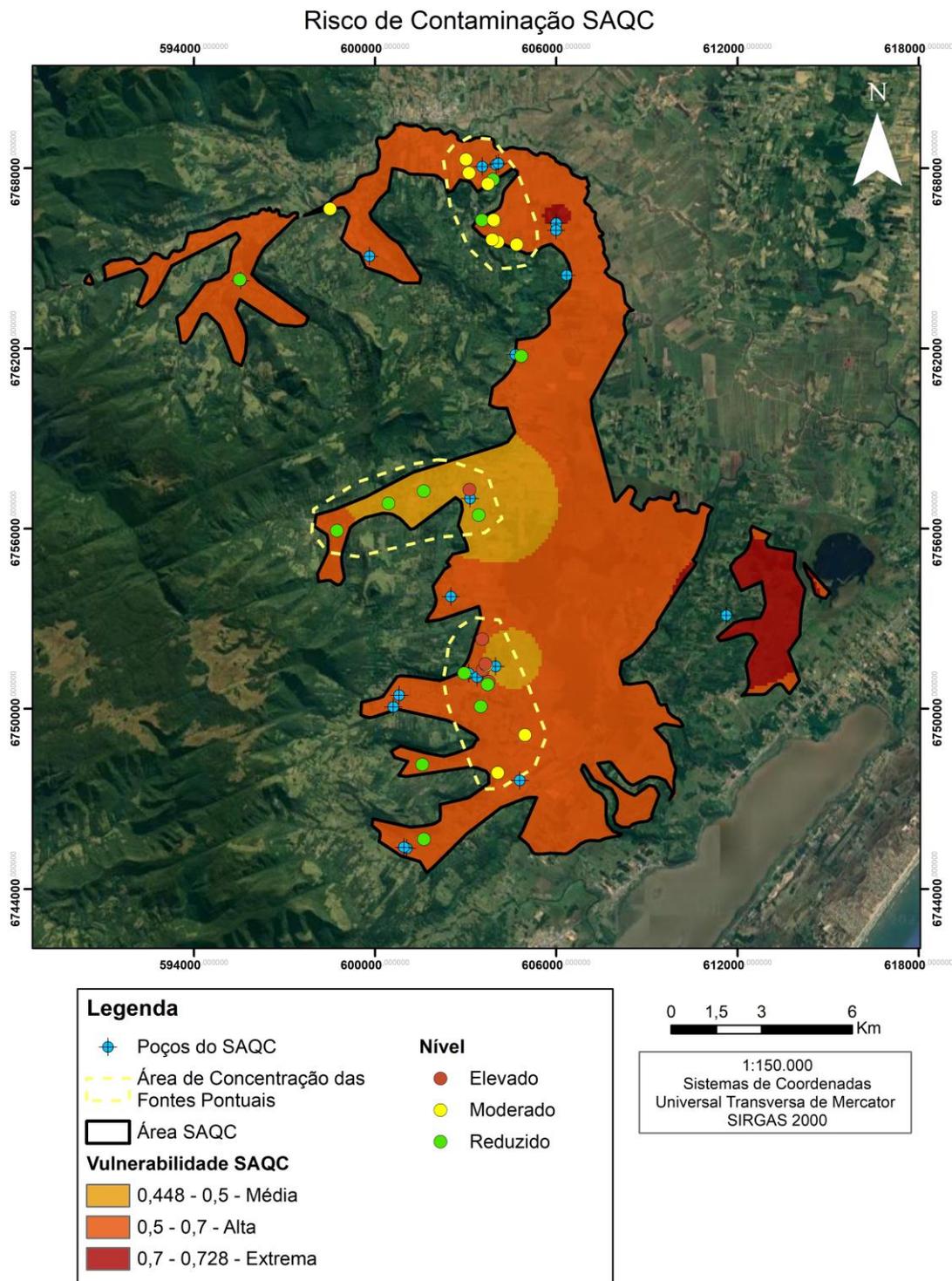


Figura 44: Mapa do Risco Potencial de Contaminação do SAQC.

As zonas identificadas com maior concentração de fontes pontuais determinaram as áreas com risco potencial de contaminação e foram localizadas em áreas de vulnerabilidade

média e alta, na análise realizada para o SAQC. As principais fontes encontradas foram de nível moderado e reduzido como postos de gasolina e cemitérios.

4.5.3.2 Risco Difuso

Após cruzamento do mapa de vulnerabilidade dos sistemas aquíferos com o mapa de fontes difusas foram gerados mapas do risco de contaminação difusa das águas subterrâneas para os Sistemas Aquíferos Guarani (Figura 45), Serra Geral (Figura 46) e Quaternário Costeiro (Figura 47).

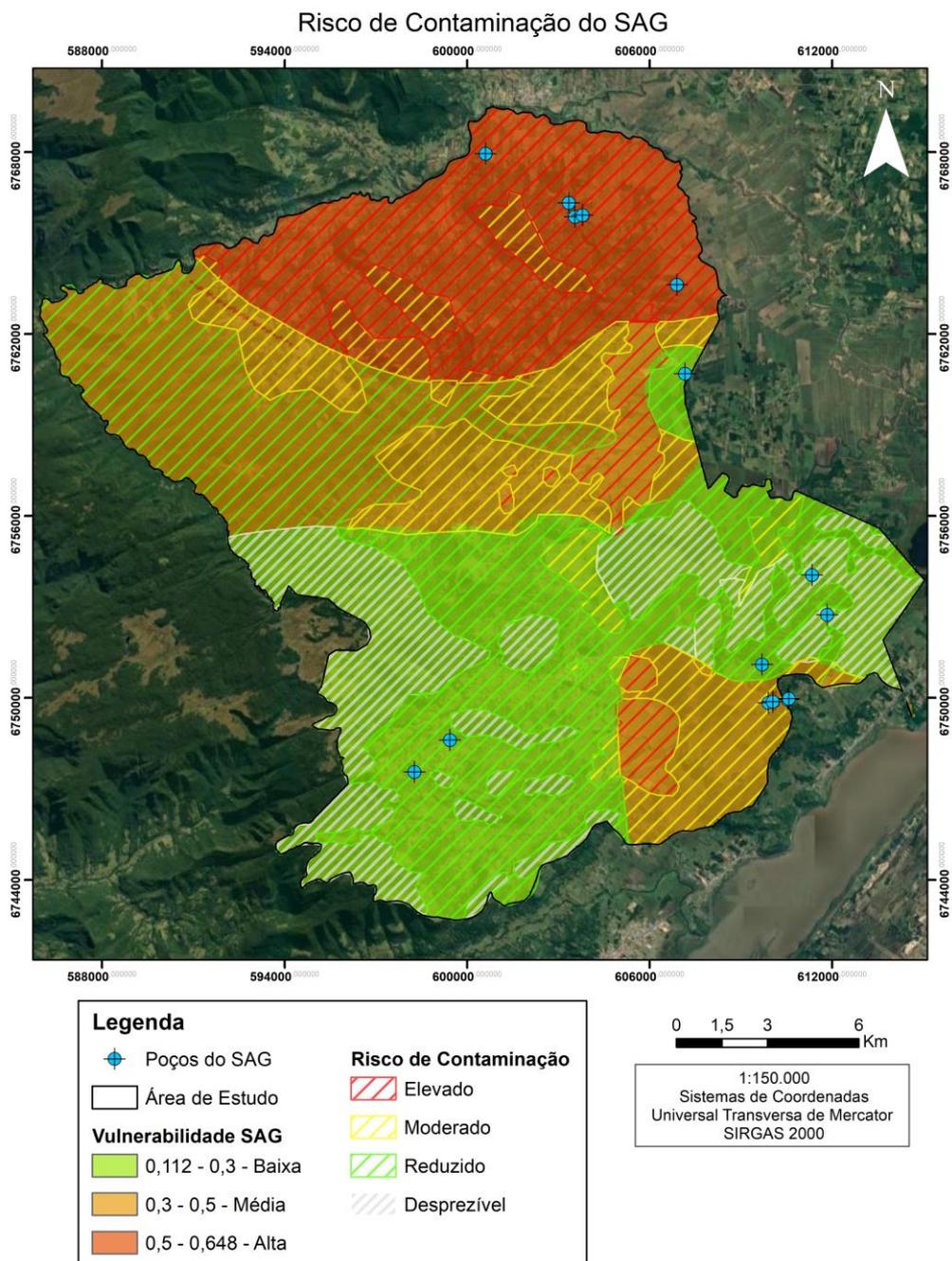


Figura 35: Mapa do Risco Potencial de Contaminação do SAG para fontes difusas.

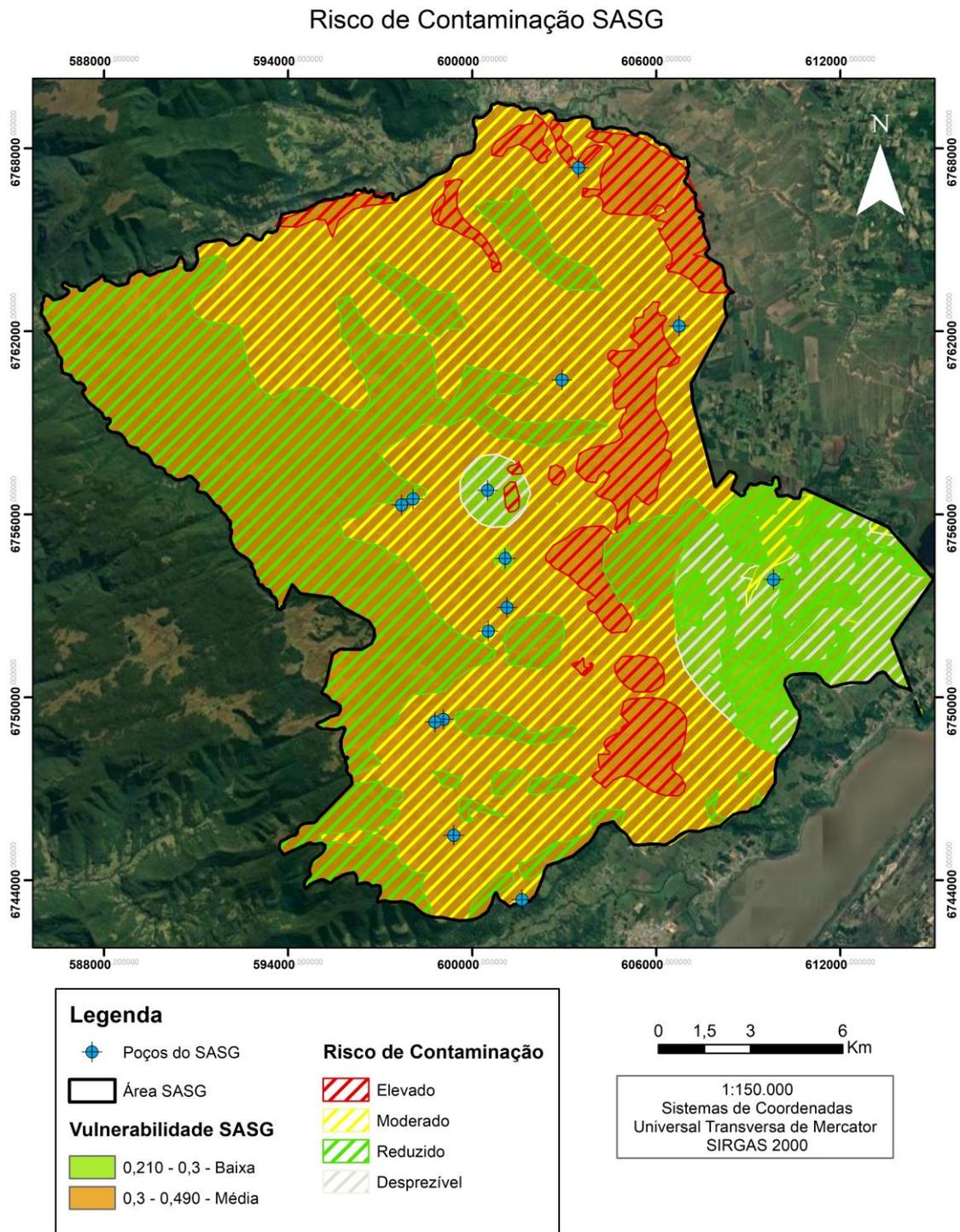


Figura 46: Mapa do Risco Potencial de Contaminação do SASG para fontes difusas.

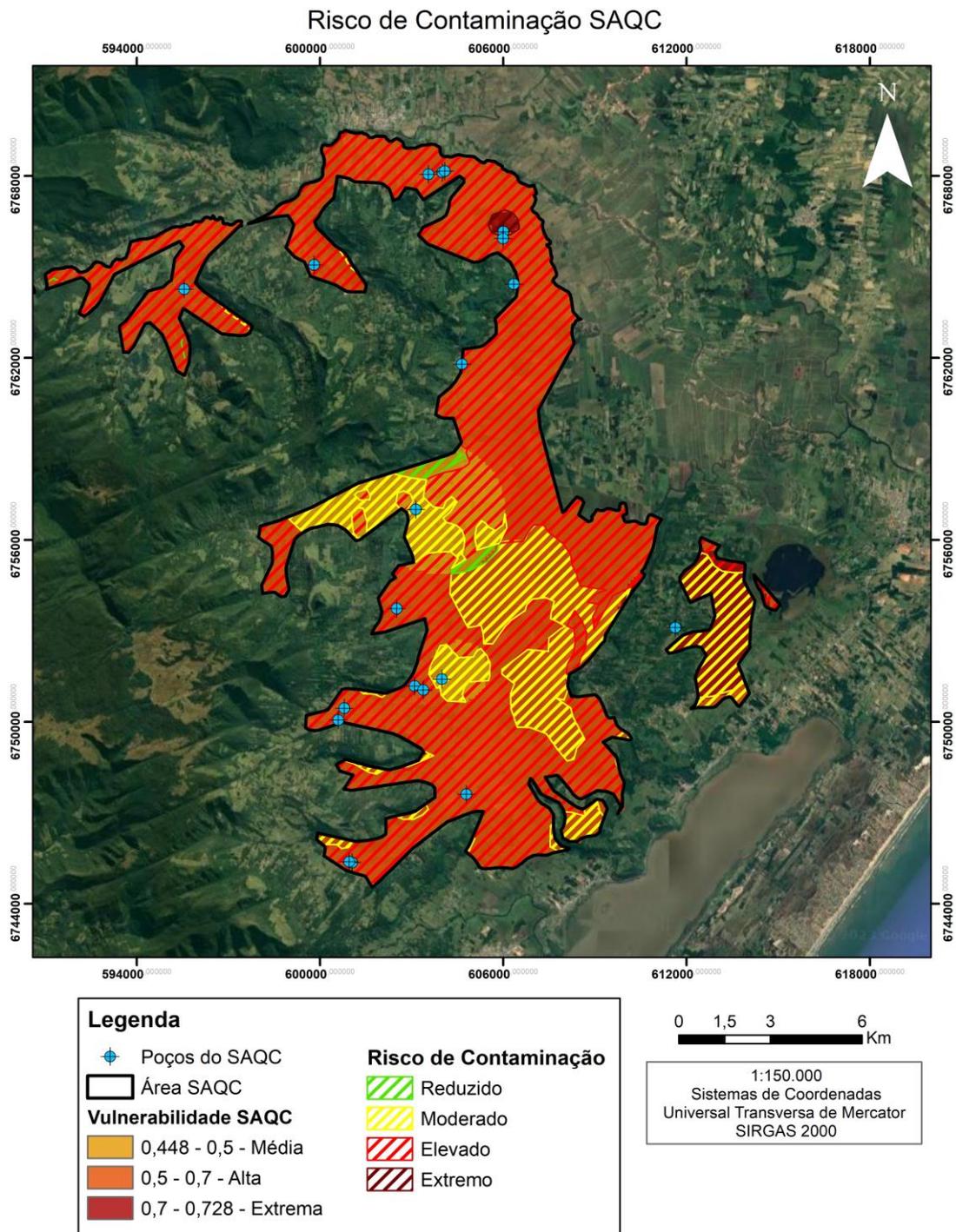


Figura 56: Mapa do Risco Potencial de Contaminação do SAQC para fontes difusas.

A classificação foi feita de acordo com a Tabela 9, nos mapas do SAG e do SASG foram encontrados riscos de contaminação que variam de desprezível a elevado e para o SAQC os níveis variaram entre moderado a extremo. A principal influência para os resultados elevados e extremos foram as áreas urbanas e as plantações de arroz somados às regiões com altos índices de vulnerabilidade.

5 CONCLUSÕES

Através do desenvolvimento do estudo concluiu-se que, nos municípios presentes na área de estudo, a principal forma de abastecimento de água se dá pela captação subterrânea nos Sistemas Aquíferos Guarani (SAG), Serra Geral (SASG) e Quaternário Costeiro (SAQC). Os recursos hídricos são utilizados principalmente para abastecimento urbano e rural, sendo que a principal atividade econômica da região é a agricultura. O trabalho realizado avaliou a vulnerabilidade e o risco de contaminação através dos métodos GOD e POSH, chegando a diferentes resultados para cada sistema aquífero.

O Sistema Aquífero Guarani, na área de estudo, corresponde às rochas sedimentares da Formação Botucatu, podendo ser encontrado na forma livre ou confinada pelas rochas vulcânicas do Grupo Serra Geral. A profundidade dos poços encontrados na área varia de 78 até 250 metros, com uma média de 159,9 metros, além disso o nível estático médio encontrado foi de 9,21m e a vazão média foi de 12,47m³/h. A análise da vulnerabilidade do SAG apresentou como resultado as classes baixa (41,67%), média (35,23%) e alta (23,10%), devido à extensão da área abrangida pelo sistema e pelas diferenças entre as áreas onde o aquífero é aflorante ou confinado. Em sua maioria, os poços que captam água da porção confinada do SAG apresentaram baixa vulnerabilidade e os poços presentes nas áreas onde o aquífero era aflorante resultaram em média e alta vulnerabilidade. A identificação e o levantamento de fontes difusas e pontuais resultou na identificação das áreas com risco potencial de contaminação, que variaram entre elevado, moderado e reduzido. As zonas com maior risco de contaminação foram relacionadas às plantações de arroz e às áreas urbanas dos municípios.

O Sistema Aquífero Serra Geral está associado aos aquíferos fraturados das rochas vulcânicas do Grupo Serra Geral. Os poços que correspondem ao SASG apresentaram profundidades que variam de 49 a 318 metros, com uma média de nível estático de 22,76m e a média calculada para a vazão ficou em 12,46m³/h. A vulnerabilidade calculada para o SASG apresentou como resultado as classes baixa (9,57%) e média (90,43%), com maior influência das espessuras dos estratos de cobertura e pela profundidade do NE, os locais onde as espessuras eram relativamente menores, os índices gerados foram maiores. Além disso, o mapeamento de possíveis fontes pontuais e difusas de contaminação identificou zonas com riscos potenciais de contaminação que variam entre elevado, moderado e reduzido.

O Sistema Aquífero Quaternário Costeiro corresponde aos aquíferos porosos dos depósitos sedimentares dos sistemas “Laguna-Barreira” III da planície costeira do Rio Grande

do Sul, os poços presentes na área apresentam profundidades que variam de 2,75 a 200m, com a média de nível estático em 7,65m e a média para a vazão calculada em 9m³/h. A vulnerabilidade encontrada para o SAQC variou entre média (12,31%), alta (81,76%) e extrema (5,93%), onde os poços com maiores índices de vulnerabilidade foram os que apresentavam baixo nível estático e estratos de cobertura com presença de gleissolo. O risco potencial de contaminação, calculado a partir do mapeamento das fontes pontuais e difusas, identificou zonas com risco que varia de reduzido a extremo. As áreas com risco elevado e extremo correspondem aos locais onde a vulnerabilidade é alta e extrema e o potencial de contaminação da fonte também é elevado, como áreas com cultivo de arroz.

Os mapas de vulnerabilidade e de risco potencial de contaminação são resultados da quantidade de dados disponíveis na área de estudo. Estes podem ser aprimorados a medida que se evolui e se obtém maior detalhamento dos dados a respeito da hidrogeologia local, através de campanhas de cadastramentos de poços, de monitoramentos qualitativos e acompanhamento nas áreas onde foram identificados maiores riscos. O aumento ao acesso de dados geológicos, hidrogeológicos e geoquímicos dos poços também contribui para o enriquecimento dos trabalhos realizados, no entanto, os resultados aqui apresentados são úteis como instrumento de gestão e planejamento dos recursos hídricos subterrâneos na Bacia Hidrográfica do Mampituba. Como, por exemplo, com o monitoramento das áreas identificadas como de alto risco potencial de contaminação no SAG, SASG e SAQC e principalmente de nível extremo no Sistema Aquífero Quaternário Costeiro.

REFERÊNCIAS

- Aller, L., Bennett, T., Lehr, J. H., & Petty, R. J. 1985. DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. In *US EPA, Environmental Research Laboratory, Ada, Oklahoma, EPA/600/2-85/0108*.
- ANA – Agência Nacional das Águas. Atlas Águas. Segurança Hídrica do Abastecimento Urbano. Brasília. 2021. www.atlas.ana.gov.br, acessado em 07 de março de 2022.
- Barboza, E., Dillenburg, S., Rosa, M., Caron, F., Lopes, R., Watanabe, D. & Tomazelli, L. 2021. Sistemas deposicionais e evolução geológica da planície costeira entre La Coronilla e Cabo de Santa Marta (Bacia de Pelotas): uma revisão. In: *Contribuições à Geologia do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina*. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura, 2021. p. 455-468 10.29327/537860.1-27.
- Bohn, L. 2008. *Expressões de conhecimento de grupos sociais locais para a gestão de recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Mampituba*. Florianópolis, 177p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental.
- Borges, V. M., Athayde, G. B., & Reginato, P. A. R. 2017. Avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação do sistema aquífero Serra Geral no Estado do Paraná – Brasil. *Águas Subterrâneas*, 31(4). <https://doi.org/10.14295/ras.v31i4.28857>
- CPRM – Serviço Geológico Brasileiro. 2008. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul Escala 1:750.000. Porto Alegre.
- CPRM – Serviço Geológico Brasileiro. 2005. Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul, Escala 1:750.000. Porto Alegre.
- CPRM – Serviço Geológico Brasileiro. 2022. Mapa Geológico da Bacia do Paraná, Escala 1:1.000.000. Porto Alegre.

Costa, L. M. 2019. *Avaliação da vulnerabilidade e risco potencial de contaminação das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Guarani na região de Ivoti, Dois Irmãos e Morro Reuter, RS*. Porto Alegre, 89p. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Dillenburg, S., Tomazelli, L., Martins, L. & Barboza, E. 2005. Modificações de Longo Período da Linha de Costa das Barreiras Costeiras do Rio Grande do Sul. *Gravel* - ISSN 1678-5975. 3. 9-4.

Feitosa, F.A.C. 2008. *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. 3. ed. rev. e ampl. – Rio de Janeiro. CPRM: LABHID, 2008. 812 p.

Foster, S.; Hirata, R. 1993. Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas; um método baseado em dados existentes. In: *Boletim. Instituto Geológico*, 1993.

Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., Paris, M., & D'Elia, M. 2006. *Groundwater quality protection: a guide for water utilities, municipal authorities and environment agencies*. The World Bank.

Frank, H. T., Gomes, M. E. B., & Formoso, M. L. L. (2009). Review of the areal extent and the volume of the Serra Geral Formation, Paraná Basin, South America. *Pesquisas em Geociências*, 36(1), 49-57.

Gomes, M. G., Vargas, T., Belladonna, R., Bosco, V. D., Araujo, B., Bortolin, T. A. 2021 A Vulnerabilidade Natural de Aquíferos Fraturados: Avaliando os Modelos DRASTIC e GOD, Originais E Adaptados. *Revista Geociências*, v. 40, n. 3, p. 735 – 749.

Guiguer, N., Kohnke, M. W., 2002. Métodos para determinação da vulnerabilidade de aquíferos. *Águas Subterrâneas*, n. 1.

Hausman, A. 1960. Estudo das possibilidades de água subterrânea do Rio Grande do Sul. *Boletim da Sociedade brasileira de Geologia*, vol. 1. P. 31 - 41.

Hernandez, P. G. L., Athayde, G. B., Athayde, C. de V. M., & Licht, O. A. B. 2020. Efeito da interpolação de dados hidrogeológicos em aquíferos sedimentares: estudo de caso no estado do Paraná. *Águas Subterrâneas*, 35(1), 1–11. <https://doi.org/10.14295/ras.v35i1.29911>

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <https://cidades.ibge.gov.br/>, acessado em 09/03/2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2002. Mapa Exploratório de Solos do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Escala 1:1.000.000

Machado, J.L.F. & Freitas, M. A. 2005. Projeto Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul: Relatório Final. Porto Alegre, RS: CPRM, 65p. 1 CD – ROM.

MapBiomas. Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil Mapeamento do uso do solo, Coleção 7.0, escala 1:250.000, Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em 12/02/2023.

Milani, E. J. 1997. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica Fanerozóica do Gondwana Sul-Occidental. Curso de Pós-Graduação Em Geociências.

Milani, E. & Ramos, V. 1998. Orogenias paleozóicas no domínio sul-occidental do Gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*. 28. 473–484. 10.25249/0375-7536.1998473484.

Nogueira, I. 2010. Base Legal de Águas Subterrâneas e Identificação das Áreas Potenciais de Conflitos para Uso em Minas Gerais. Curso de Especialização em Gerenciamento de Recursos Hídricos. Belo Horizonte.

Reginato, P. A. R., & Ahlert, S. 2013. Vulnerabilidade do Sistema Aquífero Serra Geral na Região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. *Águas Subterrâneas*, 27(2). <https://doi.org/10.14295/ras.v27i2.27060>

Rossetti, L., Simões, M., Lima, E., Waichel, B. & Sommer, C. 2021. Estratigrafia do Grupo Serra Geral na Calha de Torres, Sul do Brasil. In: *Contribuições à Geologia do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina*. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura, 2021. p. 455-468 10.29327/537860.1-19.

Scherer, C. 2000. Eolian dunes of the Botucatu Formation (Cretaceous) in southernmost Brazil: Morphology and origin. *Sedimentary Geology*. 137. 63–84. 10.1016/S0037-0738(00)00135-4.

SEMA – Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura. Fase A – Diagnóstico do Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Mampituba. www.sema.rs.gov.br/1050-bh-mampituba, acessado em 07 de março de 2022.

Sodré, F. F. 2012. Fontes Difusas de Poluição da Água: Características e métodos de controle. *Artigos Temáticos Do AQQUA, 1*. 2012.

Streck, E., Kampk, N., Dalmolin, R., Klamt, E., Nascimento, P., Schneider, P., Giasson, E. & Pinto, LFS. 2008. Solos do Rio Grande do Sul. 3. ed., rev. e ampl. Porto Alegre, RS: Emater/RS- Ascar. 252p.

Trindade, S. 2022. *Análise da vulnerabilidade e do risco potencial de contaminação das águas subterrâneas do sistema aquífero costeiro na região de Cidreira e Balneário Pinhal, RS*. Porto Alegre, 119p. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Tomazelli, L., Villwock, J. 1991. Geologia do Sistema Lagunar Holocênico do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, [S. l.], v. 18, n. 1, p. 13–24. DOI: 10.22456/1807-9806.21358. Disponível em: www.seer.ufrgs.br/index.php/PesquisasemGeociencias/article/view/21358. Acesso em: 24 de janeiro de 2023.

Tomazelli, L., Villwock, J. 2000. O Cenozóico Costeiro do Rio Grande do Sul. In: Holz, M & De Ros, L. F. (eds.). **Geologia do Rio Grande do Sul**. P. 375-406.

Tomazelli, L., & Dillenburg, S. 2007. Sedimentary facies and stratigraphy of a last interglacial coastal barrier in South Brazil. *Marine Geology* 244, p33-45.

Van Stempvoort, D.; Ewert, L.; Wassenaar, L. 1992. AVI: A Method for Groundwater Protection Mapping in the Prairie Provinces of Canada. PPWD pilot project, Sept. 1991-March 1992. Groundwater and Contaminants Project, Environmental Sciences Division, National Hydrology Research Institute, Saskatoon.

Vargas, T., Belladonna, R., Souza, M.E.R. de, 2022. Hydrogeology of fractured aquifers: application of consistency indexes for the validation of geospatial mathematical models. *Geociências - Unesp* 41, 391–404.

Viero, A. P., Roisenberg, A., Freitas, M. A., Reginato, P. A. R. 2021. O Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: *Contribuições à Geologia do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina*. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura, 2021. p. 469-485
10.29327/537860.1-27.

Villwock, J. A., Tomazelli, L. J., Loss, E. L., Dehnhardt, E. A.; Horn F. N. O., Bachi, F. A. & Dehnhardt, B. A. 1986. Geology of Rio Grande do Sul Coastal Province. In: Rabassa, J (ed.). *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*. A.A Balkema, Rotterdam. 4:79-97.

Wildner, W., Lopes, R. D. C. 2010. Evolução Geológica: do Paleoproterozoico ao recente. In: Viero, A. C. *Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: CPRM - Serviço Geológico Brasileiro, p. 15-34.

ANEXOS

Anexo A – Lista de Fontes Pontuais Cadastradas

Anexo B – Inventário de Poços Inventariados

Anexo C – Lista de Poços e Pesos Atribuídos GOD

ANEXO A

Nome/Tipo do Empreendimento	Classificação	UTM N	UTM E	Município
Cemitério	Reduzido	675055 0	61097 6	Dom Pedro de Alcântara
Cemitério	Reduzido	676762 1	60390 6	Mampituba
Cemitério Costãozinho	Reduzido	676627 7	60353 8	Mampituba
Cemitério	Reduzido	676180 7	59921 2	Mampituba
Cemitério Bom Jesus	Reduzido	676429 0	59552 1	Mampituba
Cemitério Costão	Reduzido	676152 4	60216 6	Mampituba
Cemitério Morro de Dentro	Reduzido	674813 9	60156 6	Morrinhos do Sul
Cemitério Municipal	Reduzido	676174 6	60484 4	Morrinhos do Sul
Cemitério Três Passos	Reduzido	675724 9	60160 6	Morrinhos do Sul
Cemitério Morro do Forno	Reduzido	675593 6	59873 7	Morrinhos do Sul
Cemitério Municipal Morrinhos do Sul	Reduzido	675007 7	60349 9	Morrinhos do Sul
Cemitério Episcopal	Reduzido	676958 5	60082 5	Praia Grande
Cemitério Santo Anjo	Reduzido	674450 0	60864 1	Três Cachoeiras
Cemitério de Lajeadozinho	Reduzido	674351 4	60395 1	Três Cachoeiras
Cemitério Municipal de Morro Azul	Reduzido	674565 5	60161 6	Três Cachoeiras
Estação Rádio-base/ Antena para Telefonia Móvel/ Rede	Reduzido	675118 2	60295 2	Morrinhos do Sul
Serraria e Madeireira	Reduzido	674375 0	60393 5	Morrinhos do Sul
Fábrica de Cimento	Reduzido	675149 2	60365 9	Morrinhos do Sul
Fábrica de Açúcar	Reduzido	676418 4	59710 9	Morrinhos do Sul
Cachaçaria Engenho Nobre	Reduzido	676315 5	60844 5	Morrinhos do Sul
Serralheria e Funilaria	Reduzido	675645 0	60343 2	Morrinhos do Sul
Fabricação de Estruturas/ Outros Metálicos, sem Tratamento de Superfície e sem Pintura	Elevado	675149 5	60365 4	Morrinhos do Sul
Fabricação de Estruturas/ Outros Metálicos, sem Tratamento de Superfície e sem Pintura	Elevado	675090 9	60375 7	Morrinhos do Sul
Fabricação de Conservas, Exceto de Carne e Pesca	Reduzido	675081 3	60372 8	Morrinhos do Sul
Fabricação de Estruturas/ Outros Metálicos, sem Tratamento de Superfície e com Pintura a Pincel	Elevado	675231 9	60354 4	Morrinhos do Sul
Lavagem comercial de veículos	Moderado	675145 8	60367 5	Morrinhos do Sul
Lavra de Arenito - Extração e Comércio de Pedras Lumertz LTDA - ME	Moderado	676545 7	60469 0	Mampituba

Lavra de Arenito - Gilmar Alves Lumertz - ME	Moderado	676624 3	60393 8	Mampituba
Lavra de Arenito - TR da Silva Arenito LTDA - ME	Moderado	676784 2	60311 0	Mampituba
Lavra de Arenito - Extração e Comércio de Pedras Lumertz LTDA - ME	Moderado	676554 9	60406 1	Mampituba
Lavra de Arenito - Extração e Comércio de Pedras Lumertz LTDA - ME	Moderado	676668 0	60328 0	Mampituba
Lavra de Arenito - Extração e Comércio de Pedras Lumertz LTDA - ME	Moderado	676747 6	60373 3	Mampituba
Lavra de Arenito - Extração e Comércio de Pedras Lumertz LTDA - ME	Moderado	676665 0	59850 7	Mampituba
Lavra de Arenito - Extração e Comércio de Pedras Lumertz LTDA - ME	Moderado	676562 5	60388 3	Mampituba
Lavra de Arenito - Clovis Moreira da Silva	Moderado	676628 1	60392 5	Mampituba
Lavra de Saibro - Prefeitura Mampituba	Moderado	676524 7	59926 1	Mampituba
Lavra de Saibro - Prefeitura Praia Grande	Moderado	676560 4	59871 0	Mampituba
Lavra de Saibro - Prefeitura Mampituba	Moderado	676389 9	59843 0	Mampituba
Lavra de Saibro - A Céu Aberto e com Recuperação de Área Degradada	Moderado	674786 5	60406 6	Morrinhos do Sul
Lavra de Saibro - A Céu Aberto e com Recuperação de Área Degradada	Moderado	676242 1	60449 6	Morrinhos do Sul
Lavra de Saibro - A Céu Aberto e com Recuperação de Área Degradada	Moderado	674913 0	60496 0	Morrinhos do Sul
Lavra de Saibro - A Céu Aberto e com Recuperação de Área Degradada	Moderado	676129 1	60414 0	Morrinhos do Sul
Oficina Mecânica	Elevado	675729 9	60312 3	Morrinhos do Sul
Oficina Mecânica	Elevado	675130 1	60356 6	Morrinhos do Sul
Posto de Combustível	Moderado	674786 1	61205 0	Dom Pedro de Alcântara
Posto de Combustível	Moderado	676829 2	60301 0	Mampituba
Posto de Combustível	Moderado	676968 1	60212 8	Praia Grande
Serraria e Desdobramento, Sem Tratamento de Madeira	Reduzido	675683 8	60044 6	Morrinhos do Sul

ANEXO B

ID	Município	Código	Proprietário	Tipo de Poço	UTM N	UTM E	Uso da Água	Situação	Aquífero	Altitude do Terreno	Profundidade (m)
1	Dom Pedro de Alcântara		Ass. Com. Fornecedor de Água de Hilários e Mata Boa	tubular	6749837	609908	Abastecimento público	Ativo	Sistema Aquífero Guarani	17	120
2	Dom Pedro de Alcântara	ISO15 4334/DPH 2	Prefeitura Municipal de Dom Pedro de Alcântara (Canto dos Hilários)	tubular	6749877	610057		Não instalado	Sistema Aquífero Guarani	13	126
3	Dom Pedro de Alcântara		Sociedade Fomecedora de Água	tubular	6749944	610547	Abastecimento público	Ativo	Sistema Aquífero Guarani	37	78
4	Dom Pedro de Alcântara	ISO16 1385/CSP-1	Sociedade Fomecedora de Água	tubular	6749974	610582	Abastecimento doméstico	Ativo	Sistema Aquífero Guarani	27	136
5	Dom Pedro de Alcântara	ISO14 4333/DPH-1		tubular	6751103	609701		NULO	Sistema Aquífero Guarani	20	206
6	Dom Pedro de Alcântara	ISO10	Ass. Com. Fornecedor de Água Arroio do Meniques	tubular	6752742	611836	Abastecimento público	Ativo	Sistema Aquífero Guarani	17	135
7	Dom Pedro de Alcântara	ISO11 4335/MOQ 2	Prefeitura Municipal de Dom Pedro de Alcântara (Morro dos Passarinhos)	tubular	6753112	611840	Abastecimento doméstico	Ativo	Sistema Aquífero Quaternário Costeiro	18	156
8	Dom Pedro de Alcântara	ISO13 1415/MDL-1	Ass. Com. Fornecedor de Água Morro dos Letas	tubular	6753855	609831	Abastecimento público	Ativo	Sistema Aquífero Serra Geral	17	189
9	Dom Pedro de Alcântara	ISO12		tubular	6754052	611346		Abandonado	Sistema Aquífero Guarani	89	115
10	Dom Pedro de Alcântara	2881/AMG1		tubular				Ativo			135
11	Dom Pedro de Alcântara	4443/MOQ1		tubular				NULO			186
12	Maampluba	6153/MDL 1	Prefeitura de Maampluba	tubular	6761642	601449	Abastecimento doméstico	Ativo	Sistema Aquífero Serra Geral e Sistema Aquífero Guarani	25	222
13	Maampluba	ISO62		tubular	6763624	606899		Abandonado	Sistema Aquífero Guarani	25	166
14	Maampluba	ISO01	Prefeitura de Maampluba	tubular	6764266	595556	Abastecimento doméstico	Ativo	Sistema Aquífero Quaternário Costeiro	67	42
15	Maampluba	ISO09		tubular	6764435	606350	Abastecimento doméstico	Ativo	Sistema Aquífero Quaternário Costeiro	29	64
16	Maampluba	ISO02 COR-TOR-RPD-01 G-2100	Prefeitura de Maampluba	tubular	6765068	599814	Abastecimento doméstico	Ativo	Sistema Aquífero Quaternário Costeiro	34	42
17	Maampluba	ISO05		tubular	6765864	603548		Seco	Sistema Aquífero Guarani	44	96
18	Maampluba	ISO06 (4505/COX1)		tubular	6765921	603800		Ativo	Sistema Aquífero Guarani	30	204
19	Maampluba	ISO08		tubular	6765936	606000		Abandonado	Sistema Aquífero Quaternário Costeiro	23	89
20	Maampluba	ISO07 (4504/CMC 1)	Prefeitura de Maampluba	tubular	6766171	606008	Abastecimento doméstico	Ativo	Sistema Aquífero Quaternário Costeiro	20	27
21	Maampluba	ISO04		tubular	6766322	603346		Abandonado	Sistema Aquífero Guarani	29	146
22	Maampluba	ISO03	Prefeitura de Maampluba	tubular	6767364	603469	Abastecimento doméstico	Ativo	Sistema Aquífero Serra Geral	12	49
23	Maampluba	6144/MPB2		escavado	6767945	600609	Abastecimento doméstico	Ativo	Sistema Aquífero Guarani		144
24	Maampluba		Particular	escavado	6768060	603551		Abandonado	Sistema Aquífero Quaternário Costeiro	37	5,3
25	Maampluba		Particular	escavado	6768129	604010		Abandonado	Sistema Aquífero Quaternário Costeiro		2,75

ID	Município	Código	Proprietário	Tipo de Poço	UTM N	UTM E	Uso da Água	Situação	Aquífero	Altitude do Terreno	Profundidade (m)
26	Mampuloba		Particular	escravado	6768168	604084		Abandonado	Sistema Aquífero Quaternário Costeiro	35	2,8
27	Mampuloba	6078/MPB1		tubular				Nulo			12
28	Morinhos do Sul	5940/HJK 1			6747561	598269		Nulo	Sistema Aquífero Guarani		228
29	Morinhos do sul	ISO32	Prefeitura de Morinhos do Sul	tubular	6748807	599455	Abastecimento doméstico	Ativo	Sistema Aquífero Guarani	161	250
30	Morinhos do sul	ISO31		tubular	6749187	598796		Nulo	Sistema Aquífero Serra Geral	135	72
31	Morinhos do Sul	5363/PEI 3	Prefeitura de Morinhos do Sul		6749273	599064		Ativo	Sistema Aquífero Serra Geral		60
32	Morinhos do sul	4273/PEI1			6750063	600607		Nulo	Sistema Aquífero Quaternário Costeiro		12
33	Morinhos do sul	ISO30 (4274/ PEI 1a)		tubular	6750449	600804	Abastecimento doméstico	Ativo	Sistema Aquífero Quaternário Costeiro	83	198
34	Morinhos do sul	ISO33			6751053	603388		Abandonado	Sistema Aquífero Quaternário Costeiro	55	55
35	Morinhos do sul	ISO28 (4806/EDB1A)		tubular	6751185	603102		Ativo	Sistema Aquífero Quaternário Costeiro	45	200
36	Morinhos do sul	ISO29	Prefeitura de Morinhos do Sul	tubular	6751414	603998	Abastecimento doméstico	Ativo	Sistema Aquífero Quaternário Costeiro	28	148
37	Morinhos do Sul		Prefeitura Morinhos do Sul		6752164	600533	Abastecimento doméstico	Ativo	Sistema Aquífero Serra Geral		
38	Morinhos do sul	ISO27 (4347/CHC1)	Prefeitura de Morinhos do Sul	tubular	6752946	601138	Abastecimento doméstico	Ativo	Sistema Aquífero Serra Geral	101	150
39	Morinhos do sul	ISO26 (4272/RBN1)	Prefeitura de Morinhos do Sul	tubular	6753734	602514	Abastecimento doméstico	Ativo	Sistema Aquífero Quaternário Costeiro	29	60
40	Morinhos do Sul		Prefeitura Morinhos do Sul		6754651	601078	Abastecimento doméstico	Ativo	Sistema Aquífero Serra Geral		
41	Morinhos do sul	ISO22	Prefeitura de Morinhos do Sul	tubular	6756303	597706	Abastecimento doméstico	Ativo	Sistema Aquífero Serra Geral	117	90
42	Morinhos do sul	ISO23 (4765/MDF 1)	Prefeitura de Morinhos do Sul	tubular	6756501	598076	Abastecimento doméstico	Ativo	Sistema Aquífero Serra Geral	126	126
43	Morinhos do sul	ISO21	Prefeitura de Morinhos do Sul	tubular	6756780	600506	Abastecimento doméstico	Ativo	Sistema Aquífero Serra Geral	59	84
44	Morinhos do sul	ISO25	Prefeitura de Morinhos do Sul	tubular	6757006	603145	Abastecimento doméstico	Ativo	Sistema Aquífero Quaternário Costeiro	30	110
45	Morinhos do sul	5941/HVP 1			6760404	602935		Ativo	Sistema Aquífero Serra Geral		318
46	Morinhos do sul	ISO48 (COR MDS MSJ 01/29955)	CONSAN	tubular	6760687	607170	Abastecimento doméstico	Ativo	Sistema Aquífero Guarani	15	249
47	Morinhos do sul	ISO24	Prefeitura de Morinhos do Sul	tubular	6761804	604651	Abastecimento doméstico	Ativo	Sistema Aquífero Quaternário Costeiro	21	80
48	Morinhos do sul	ISO34		tubular	6762170	606751	Abastecimento Industrial	Não instalado	Sistema Aquífero Serra Geral	18	130
49	Morinhos do Sul	4766/EDB 1						Nulo			12
50	Três Cachoeiras	SDR-015 RP08-09/2017 A-000.248/2017	COMUNIDADE MORRO AZUL	tubular	6743361	601628	Abastecimento doméstico	Não instalado	Sistema Aquífero Serra Geral	138	90

ID	Município	Código	Proprietário	Tipo de Poço	UTM N	UTM E	Uso da Água	Situação	Aquífero	Altitude do Terreno	Profundidade (m)
51	Três Cachoeiras	COR TCA MRZQ1/2102	CONSAN	tubular	6745357	601052		Abandonado	Sistema Aquífero Quaternário Costeiro	54	84
52	Três Cachoeiras	15050		tubular	6745388	600963	Abastecimento doméstico	Ativo	Sistema Aquífero Quaternário Costeiro	59	84
53	Três Cachoeiras	SDR-016 RPO8-09/2017 A-000.262/2017	COMUNIDADE MORRO AZUL	tubular	6745476	599406	Abastecimento doméstico	Não instalado	Sistema Aquífero Serra Geral	115	84
54	Três Cachoeiras	15051		tubular	6747617	604795	Abastecimento doméstico	Ativo	Sistema Aquífero Quaternário Costeiro	20	157
55	Três Cachoeiras	2007	AGUA MINERAL SANTO ANJO LTDA	tubular					Sistema Aquífero Serra Geral e Sistema Aquífero Guarani	0	210
56	Três Cachoeiras	2008	AGUA MINERAL SANTO ANJO LTDA	tubular					Sistema Aquífero Serra Geral e Sistema Aquífero Guarani	0	288
57	Três Cachoeiras	5951/RII.1						Ativo			96
58	Três Cachoeiras	5950/CTQ.1						Ativo			120
59	Três Cachoeiras	6171/TC2						Ativo			150
60	Três Cachoeiras	3449/AGS2						NULO			158
61	Três Cachoeiras	6170/CS1						NULO			162
62	Três Cachoeiras	6313/CD1						Ativo			174
63	Três Cachoeiras	6161/AGS 3						Ativo			180
64	Três Cachoeiras							Ativo			216
65	Três Cachoeiras							Ativo			157

ANEXO C

Código	UTM N	UTM E	Aquífero	G	O	D	Vulnerabilidade
	6749944	610547	Sistema Aquífero Guarani	0,2	0,7	0,7	0,098
IS010	6752742	611836	Sistema Aquífero Guarani	0,2	0,7	0,8	0,112
	6749837	609908	Sistema Aquífero Guarani	0,7	0,7	0,8	0,392
IS062	6763624	606899	Sistema Aquífero Guarani	0,8	0,8	0,9	0,576
IS032	6748607	599435	Sistema Aquífero Guarani	0,2	0,7	0,8	0,112
ISO48 (COR MDS MSL 01/2955)	6760687	607170	Sistema Aquífero Guarani	0,6	0,5	0,9	0,27
ISO15 4334/DPH 2	6749877	610057	Sistema Aquífero Guarani	0,9	0,8	0,9	0,648
ISO16 1385/CSP-1	6749974	610582	Sistema Aquífero Guarani	0,9	0,8	0,8	0,576
IS012	6754052	611346	Sistema Aquífero Guarani	0,2	0,8	0,8	0,128
IS014 4333/DPH-1	6751103	609701	Sistema Aquífero Guarani	0,2	0,8	0,8	0,128
IS005	6765864	603548	Sistema Aquífero Guarani	0,9	0,8	0,8	0,576
6144/MPB2	6767945	600609	Sistema Aquífero Guarani	0,9	0,8	0,8	0,576
IS004	6766322	603346	Sistema Aquífero Guarani	0,9	0,8	0,9	0,648
IS006 (4505/COK1)	6765921	603800	Sistema Aquífero Guarani	0,9	0,8	0,9	0,648
5940/HJK 1	6747561	598269	Sistema Aquífero Guarani	0,2	0,7	0,8	0,112
COR TCA MRZ 01/2102	6745357	601052	Sistema Aquífero Cuaternario Costeiro	0,9	0,6	0,9	0,486
IS028 (4806/EDB1A)	6751185	603102	Sistema Aquífero Cuaternario Costeiro	0,9	0,8	0,8	0,576
IS007 (4504/CMC 1)	6766171	606008	Sistema Aquífero Cuaternario Costeiro	0,9	0,9	0,9	0,729
IS002 COR-TOR-RDD-01	6765068	599814	Sistema Aquífero Cuaternario	0,8	0,7	0,9	0,504

G.2100			Costeiro				
IS009	6764435	606350	Sistema Aquifero Quaternario Costeiro	0,9	0,9	0,8	0,648
IS008	6765936	606000	Sistema Aquifero Quaternario Costeiro	0,9	0,9	0,8	0,648
IS025	6757006	603145	Sistema Aquifero Quaternario Costeiro	0,8	0,8	0,7	0,448
IS029	6751414	603998	Sistema Aquifero Quaternario Costeiro	0,8	0,8	0,7	0,448
4273/PEI1	6750063	600607	Sistema Aquifero Quaternario Costeiro	0,8	0,8	0,8	0,512
IS033	6751053	603388	Sistema Aquifero Quaternario Costeiro	0,8	0,8	0,9	0,576
IS030 (4274/PEI 1a)	6750449	600804	Sistema Aquifero Quaternario Costeiro	0,8	0,8	0,8	0,512
IS050	6745388	600963	Sistema Aquifero Quaternario Costeiro	0,8	0,8	0,9	0,576
IS051	6747617	604795	Sistema Aquifero Quaternario Costeiro	0,8	0,8	0,9	0,576
ISO11 4335/MOQ 2	6753112	611640	Sistema Aquifero Quaternario Costeiro	0,9	0,9	0,9	0,729
	6768129	604010	Sistema Aquifero Quaternario Costeiro	0,8	0,8	0,9	0,576
	6768168	604084	Sistema Aquifero Quaternario Costeiro	0,8	0,8	0,9	0,576
	6768060	603551	Sistema Aquifero Quaternario Costeiro	0,8	0,8	0,9	0,576
IS001	6764266	595556	Sistema Aquifero Quaternario Costeiro	0,8	0,7	0,9	0,504
IS026 (4272/RBN1)	6753734	602514	Sistema Aquifero Quaternario Costeiro	0,8	0,8	0,8	0,512
IS024	6761804	604651	Sistema Aquifero Quaternario Costeiro	0,8	0,8	0,8	0,512
IS003	6767364	603469	Sistema Aquifero Serra Geral	0,9	0,6	0,7	0,378
IS021	6756780	600506	Sistema Aquifero Serra Geral	0,6	0,5	0,8	0,24
IS022	6756303	597706	Sistema Aquifero Serra Geral	1	0,7	0,7	0,49
IS034	6762170	606751	Sistema Aquifero Serra Geral	0,8	0,7	0,8	0,448
SDR-016 RP08-09/2017	6745476	599406	Sistema Aquifero Serra Geral	0,9	0,5	0,7	0,315
SDR-015 RP08-09/2017	6743361	601628	Sistema Aquifero Serra Geral	0,6	0,8	0,7	0,336

IS013 1415/MDL-1	6753855	609831	Sistema Aquífero Serra Geral	0,6	0,5	0,7	0,21
5363/PEI 3	6749273	599064	Sistema Aquífero Serra Geral	0,7	0,6	0,7	0,294
IS023 (4765/MDF 1)	6756501	598076	Sistema Aquífero Serra Geral	0,8	0,7	0,7	0,392
IS027 (4347/CHC1)	6752946	601138	Sistema Aquífero Serra Geral	0,8	0,7	0,7	0,392
	6752164	600533	Sistema Aquífero Serra Geral	0,7	0,6	0,7	0,294
	6754551	601078	Sistema Aquífero Serra Geral	0,7	0,6	0,7	0,294
IS031	6749187	598796	Sistema Aquífero Serra Geral	0,7	0,6	0,8	0,336
5941/HVP 1	6760404	602935	Sistema Aquífero Serra Geral	0,8	0,7	0,7	0,392