

RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO 001/2026
PROTOCOLO Nº

DIAGNÓSTICO INTEGRADO E PRIORIZAÇÃO ESPACIAL DA QUALIDADE DAS
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO MUNICÍPIO DE RIO GRANDE/RS PARA SUPORTE
À GESTÃO AMBIENTAL E AO PLANEJAMENTO DO SANEAMENTO

Empresa demandante:

Prefeitura Municipal de Rio Grande/RS

Equipe técnica:

Joana Jones Dombkowitsch – Engenheira Civil

Daniel Ricardo Arsand – Químico Industrial

Marcelo Peske Hartwig – Engenheiro Agrícola

PELOTAS
Julho, 2026

Recebido – SMMA
Em: 27/07/2026
Ass. *[Assinatura]*
Protocolo nº 5301/26

Ficha catalográfica

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Dombkowitsch, Joana Jones

Diagnóstico integrado e priorização espacial da qualidade das águas subterrâneas no município de Rio Grande/RS para suporte à gestão ambiental e ao planejamento do saneamento [livro eletrônico] / Joana Jones Dombkowitsch, Daniel Ricardo Arsand, Marcelo Peske Hartwig. -- Pelotas, RS : Ed. dos Autores, 2026.

PDF

Bibliografia.

ISBN 978-65-02-29799-5

1. Águas subterrâneas 2. Águas subterrâneas - Poluição 3. Aquíferos 4. Gestão ambiental 5. Meio ambiente 6. Saneamento básico I. Arsand, Daniel Ricardo. II. Hartwig, Marcelo Peske. III. Título.

26-386490.0

CDD-304.2807

Índices para catálogo sistemático:

1. Gestão ambiental e educação ambiental : Estudo e ensino 304.2807

Eliane de Freitas Leite - Bibliotecária - CRB 8/8415

DOI: 10.6084/m9.figshare.33265398

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de Ocupação e Uso do Solo.....	18
Figura 2 - Mapa de elevação e direção do fluxo de água superficial e subterrânea	19
Figura 3 - Mapa rede de esgoto do município de Rio Grande	21
Figura 4 - Distribuição Espacial Coliformes - Método IDW	24
Figura 5 - Distribuição Espacial DBO - Método IDW	25
Figura 6 - Distribuição Espacial DQO - Método ID	25
Figura 7 - Distribuição Espacial Nitrogênio - Método ID	26
Figura 8 - Distribuição Espacial Fósforo - Método IDW	26
Figura 9 - Distribuição Espacial Oxigênio Dissolvido - Método IDW.....	27
Figura 10 - Distribuição Espacial Alumínio - Método IDW	27
Figura 11 - Distribuição Espacial pH - Método IDW	28
Figura 12 - Distribuição Espacial Óleos e Graxas - Método IDW	28
Figura 13 - Mapa de Qualidade Ambiental	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados dos Poços Piezométricos.	13
Tabela 2 - Parâmetros Analisados	14
Tabela 3 - Fatores Ordenados por relevância.	16
Tabela 4 - Banco de dados utilizados na análise espacial de sensibilidade ambiental para a região de estudo em Rio Grande RS.....	22

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
AHP – Analytic Hierarchy Process (Processo Analítico Hierárquico)
ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APHA – American Public Health Association
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONSEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente
CORSAN – Companhia Riograndense de Saneamento
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO – Demanda Química de Oxigênio
ETE – Estação de Tratamento de Esgoto
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDW – Inverse Distance Weighting
IOEB – Índice de Oportunidade da Educação Brasileira
NBR – Norma Brasileira
PMRG – Prefeitura Municipal do Rio Grande
QGIS – Quantum Geographic Information System
RIMAS – Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas
SIG – Sistema de Informação Geográfica
SMMA – Secretaria Municipal do Meio Ambiente
SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
VRQ – Valor de Referência de Qualidade

SUMÁRIO

1	RESUMO EXECUTIVO	7
2	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA E DA DEMANDA INSTITUCIONAL	8
2.1	Contexto territorial e ambiental.....	8
2.2	Problema técnico enfrentado pelo município	8
2.3	Relevância para a gestão pública	9
2.4	Instituição beneficiária e uso pretendido do produto	9
3	OBJETIVO GERAL.....	10
4	DESCRIÇÃO DO PRODUTO	11
5	METODOLOGIA.....	12
5.1	Delineamento experimental.....	12
5.2	Mapeamento da rede de Esgoto na cidade de Rio Grande	12
5.3	Coleta de Dados.....	12
5.4	Parâmetros analisados.....	14
5.5	Classificação de uso e ocupação do solo	14
5.6	Elevação e direção do fluxo de água superficial e subterrânea	15
5.7	Método da Ponderação pelo Inverso da Distância (IDW).....	15
5.8	Método Analítico de processo hierárquico (AHP).....	15
6	DIAGNÓSTICO TÉCNICO-OPERACIONAL	18
6.1	Mapa de Uso e Ocupação do Solo.....	18
6.2	Mapa de elevação e direção do fluxo de água superficial e subterrânea	19
6.3	Mapeamento das redes de esgotamento sanitário no município	20
6.4	Banco de Dados utilizadas para a determinação da sensibilidade ambiental	22
6.5	Espacialização de cada parâmetro analisado	24
6.6	Sensibilidade Ambiental AHP	31

7	PROPOSTAS DE INTERVENÇÃO E MELHORIAS	35
7.1	Ampliação da rede de monitoramento ambiental	35
7.2	Expansão da rede de esgotamento sanitário	35
7.3	Fiscalização de fontes de contaminação.....	36
7.4	Proteção de áreas ambientalmente sensíveis.....	36
8	REFERÊNCIAS	39
	APENDICE A.....	40

1 RESUMO EXECUTIVO

Este Relatório Técnico Conclusivo (RTC) apresenta um produto técnico voltado ao apoio à gestão ambiental do Município de Rio Grande/RS, com foco na avaliação integrada da qualidade das águas subterrâneas em área urbana e na identificação de zonas prioritárias para monitoramento e intervenção. O trabalho foi estruturado para responder a uma demanda de gestão pública, considerando a necessidade de subsidiar decisões relacionadas ao saneamento, à fiscalização ambiental e à proteção de aquíferos rasos em contexto urbano costeiro. O RTC foi desenvolvido a partir da integração de dados de 53 poços piezométricos, informações sobre cobertura da rede de esgotamento sanitário, uso e ocupação do solo, atributos topográficos e técnicas de geoprocessamento. Foram analisados parâmetros físico-químicos e microbiológicos com relevância para contaminação por efluentes domésticos e pressões antrópicas, com espacialização por interpolação e posterior integração multicritério para geração de mapa de sensibilidade ambiental. Os resultados indicam predominância de áreas com baixa sensibilidade ambiental na escala do município, mas com ocorrência de setores pontuais de maior vulnerabilidade, especialmente em regiões urbanizadas e com limitações de cobertura sanitária. A análise evidencia que a interação entre aquífero raso, solos arenosos, ocupação urbana e cobertura incompleta de esgotamento sanitário configura um cenário que exige monitoramento contínuo e atuação preventiva. Também foram identificadas limitações relevantes na distribuição espacial dos pontos de monitoramento, o que reforça a necessidade de expansão da rede amostral em áreas estratégicas. Como entrega aplicada, o relatório fornece um diagnóstico técnico integrado, mapas temáticos de apoio à decisão e um conjunto de recomendações operacionais para o poder público, incluindo ampliação da rede de monitoramento, priorização territorial de fiscalização, proteção de áreas sensíveis e fortalecimento da infraestrutura de esgotamento sanitário. O produto apresenta potencial de replicação no município com monitoramento contínuo, construindo uma base de dados consistente para tomada de decisões acerca do saneamento público da cidade de Rio Grande/RS.

2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA E DA DEMANDA INSTITUCIONAL

2.1 Contexto territorial e ambiental

O município de Rio Grande, localizada no litoral sul do estado do Rio Grande do Sul, situa-se na planície costeira do extremo sul do Brasil e possui, segundo o Censo do IBGE (2022), uma população de 191.900 habitantes distribuídos em uma área territorial de 2.682,867 km², sendo 64,78 km² de área urbanizada. O município apresenta características ambientais e urbanas que ampliam a relevância do monitoramento das águas subterrâneas, uma vez que se trata de um território inserido em planície costeira, com presença de solos predominantemente arenosos, elevada permeabilidade e aquíferos rasos, condições que favorecem a infiltração e o transporte de contaminantes oriundos de fontes difusas e pontuais. Em áreas com pressão antrópica e cobertura incompleta de esgotamento sanitário, esse cenário leva risco potencial à qualidade hídrica subterrânea e, por consequência, à saúde ambiental e à gestão urbana.

2.2 Problema técnico enfrentado pelo município

O abastecimento de água e a coleta de esgoto apresentam cobertura desigual, de modo que parte relevante da população ainda depende de sistemas individuais de tratamento ou da destinação inadequada de efluentes, situação que aumenta a pressão sobre os aquíferos urbanos. Em contextos como esse, a ausência de instrumentos técnicos integrados dificulta a identificação de áreas críticas, a definição de prioridades de fiscalização e a expansão territorialmente orientada das ações de saneamento.

O município conta com serviços de abastecimento de água e coleta de esgoto operados pela Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN) (2024), atendendo 97.819 unidades com água e 34.576 com coleta de esgoto, o que evidencia que uma parcela significativa da população ainda depende de sistemas individuais de tratamento de esgoto doméstico ou utiliza, de forma inadequada, galerias pluviais para destinação de efluentes.

O solo predominante no município é o arenoso, classificado como neossolo e o nível dos aquíferos encontra-se aproximadamente a um metro de profundidade em relação ao nível do mar devido à característica plana e litorânea da região. Nesse contexto, a ausência de monitoramento da eficiência dos sistemas prediais de

tratamento de esgoto representa uma ameaça direta à qualidade dos aquíferos, que desempenham papel essencial no abastecimento hídrico local.

A potencial contaminação dessas águas subterrâneas pode comprometer não apenas a disponibilidade e qualidade da água, mas também a saúde pública, favorecendo a disseminação de doenças e gerando impactos ambientais relevantes. Ademais, a costa do Rio Grande do Sul, caracterizada por sua abertura e topografia relativamente plana, demanda estudos contínuos e a quantificação de suas vulnerabilidades, especialmente diante das pressões antrópicas e ambientais.

2.3 Relevância para a gestão pública

Avaliar a qualidade das águas subterrâneas no perímetro urbano do município de Rio Grande/RS, analisando sua relação com a infraestrutura de esgotamento sanitário e com o uso e ocupação do solo, por meio de técnicas de geoprocessamento e mapas de sensibilidade ambiental, permite à gestão interpretar a saúde ambiental do município e sua dinamicidade e, com base nestas informações, tomar decisões embasadas acerca de investimentos públicos, políticas públicas, planejamento urbano, entre tantas outras.

2.4 Instituição beneficiária e uso pretendido do produto

No contexto urbano de Rio Grande/RS, a combinação entre aquífero raso, solos arenosos, cobertura parcial de esgotamento sanitário e ocupação antrópica intensiva amplia a necessidade de instrumentos técnicos que permitam identificar áreas mais sensíveis à contaminação e orientar intervenções públicas.

Nesse contexto, o presente RTC foi estruturado como resposta a uma necessidade institucional de apoio técnico à gestão ambiental municipal, oferecendo uma base analítica para a interpretação espacial da qualidade das águas subterrâneas e para a organização de prioridades de intervenção. Seu uso pretendido inclui o apoio à definição de pontos estratégicos de monitoramento, à proteção de áreas ambientalmente sensíveis, ao planejamento da expansão da infraestrutura sanitária e à qualificação de processos decisórios relacionados à gestão ambiental local.

3 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste Relatório Técnico Conclusivo é disponibilizar à gestão pública municipal do município de Rio Grande/RS um instrumento técnico de diagnóstico integrado e priorização espacial da qualidade das águas subterrâneas urbanas, relacionando dados de monitoramento, infraestrutura de saneamento, uso e ocupação do solo e sensibilidade ambiental, de modo a subsidiar decisões sobre monitoramento, fiscalização e planejamento territorial.

Objetivos específicos:

- identificar a distribuição espacial dos principais parâmetros de qualidade da água subterrânea;
- correlacionar os resultados com cobertura de esgotamento sanitário, uso do solo e características ambientais locais;
- delimitar áreas de maior sensibilidade ambiental;
- propor ações técnicas prioritárias para gestão municipal; e
- oferecer um modelo metodológico replicável.

4 DESCRIÇÃO DO PRODUTO

O presente Relatório Técnico Conclusivo foi elaborado com a finalidade de apoiar a gestão ambiental do Município de Rio Grande/RS como suporte à tomada de decisão a partir de diagnóstico integrado, base cartográfica interpretativa, espacialização de parâmetros ambientais, classificação multicritério de sensibilidade e proposição de ações prioritárias de intervenção.

O documento foi construído por meio de diagnóstico integrado da qualidade das águas subterrâneas no perímetro urbano, da relação entre os padrões observados e a infraestrutura de esgotamento sanitário existente, e da identificação de áreas prioritárias para monitoramento, fiscalização e planejamento territorial.

A administração pública municipal, especialmente os setores ligados ao meio ambiente, saneamento, planejamento urbano e licenciamento, podem fazer uso deste RTC para melhor compreender as dinâmicas ambientais que tangenciam o município de Rio Grande, permitindo vislumbrar as regiões que necessitam de maiores investimentos, os resultados dos investimentos feitos, as áreas mais pressionadas ambientalmente e as áreas menos pressionadas, entre tantas outras tomadas de decisão que devem levar em consideração os impactos ambientais no município.

A elaboração deste documento parte da necessidade de converter dados ambientais dispersos em informação tecnicamente estruturada, especialmente interpretável e operacionalmente útil para o poder público. Nessa perspectiva, o relatório não se limita à descrição de resultados analíticos, mas organiza evidências técnicas, territoriais e ambientais em uma lógica de priorização, permitindo que a administração municipal identifique setores mais sensíveis, reconheça limitações da base atual de monitoramento e direcione ações preventivas e corretivas com maior racionalidade técnica.

Nesse sentido, este RTC entrega um diagnóstico territorial aplicado, mapas temáticos de suporte à decisão, interpretação integrada da vulnerabilidade ambiental e um conjunto de recomendações operacionais voltadas à proteção dos recursos hídricos subterrâneos, à ampliação do monitoramento e ao fortalecimento da gestão do saneamento em contexto urbano costeiro.

5 METODOLOGIA

5.1 Delineamento experimental

O 1º Distrito da cidade de Rio Grande corresponde à região central do município, denominada de perímetro urbano, e representa menos de um terço de sua área total. Esse distrito foi selecionado como objeto de estudo por concentrar a maior densidade demográfica do município. Além disso, nele está localizado o Polo Industrial e Comercial da cidade, o que reforça sua relevância para a análise proposta.

5.2 Mapeamento da rede de Esgoto na cidade de Rio Grande

Com base nos dados disponibilizados pela Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), será elaborado um mapa da cidade indicando as ruas atendidas pela rede de coleta de esgoto.

5.3 Coleta de Dados

A Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMMA) de Rio Grande disponibilizou dados de ensaios realizados em amostras coletadas por empreendedores em 53 poços piezométricos implantados para fins de monitoramento ambiental, em atendimento às condicionantes dos processos de licenciamento.

Os dados, provenientes de arquivos da Prefeitura Municipal do Rio Grande (PMRG), referem-se aos últimos cinco anos, porém estão restritos aos empreendimentos atualmente licenciados, o que limita a análise de sazonalidade e a construção de séries temporais contínuas.

Assim, optou-se por uma abordagem integrada dos resultados, considerando-os representativos das condições médias do sistema, sem avaliação temporal. Ressalta-se ainda que não foi possível acessar todos os memoriais descritivos dos poços; entretanto, verifica-se que se trata de poços rasos, com profundidades entre aproximadamente 0,90 m e 2,00 m, executados até o nível do lençol freático, utilizando trado manual ou mecanizado e construídos conforme as diretrizes da NBR 15495 para poços de monitoramento em aquíferos granulares.

Tabela 1 – Dados dos Poços Piezométricos.

PONTO	DATA	BAIRRO	LAT_GRAUS	LONG_GRAUS	PROF (m)
P1	16/04/2024	CASSINO	-32,1866	-52,1562	2,00
P2	30/10/2023	CASSINO	-32,1864	-52,1559	2,00
P3	25/10/2022	CASSINO	-32,1862	-52,1561	2,00
P4	5/11/2021	CASSINO	-32,1865	-52,1557	2,00
P5	10/6/2020	CASSINO	-32,1862	-52,1556	4,00
P6	16/9/2021	CASSINO	-32,1773	-52,1697	6,00
P7	21/9/2023	CASSINO	-32,1766	-52,1697	6,00
P8	23/3/2023	CASSINO	-32,1775	-52,1707	6,00
P9	26/12/2024	CASSINO	-32,1683	-52,1444	1,00
P10	26/12/2024	CASSINO	-32,1661	-52,1423	1,00
P11	20/11/2023	PARQUE_MARINHA	-32,0984	-52,1864	7,00
P12	20/11/2023	PARQUE_MARINHA	-32,0974	-52,1811	6,00
P13	20/11/2023	PARQUE_MARINHA	-32,0998	-52,1896	6,00
P14	20/11/2023	PARQUE_MARINHA	-32,0987	-52,1833	7,00
P15	30/04/2024	CASSINO	-32,1877	-52,165	6,00
P16	17/09/2024	CASSINO	-32,1702	-52,1518	3,00
P17	17/09/2024	CASSINO	-32,172	-52,1501	3,00
P18	17/09/2024	CASSINO	-32,1741	-52,148	3,00
P19	30/01/2020	VILA_MARIA_JOSE	-32,0892	-52,1654	3,00
P20	30/01/2020	VILA_MARIA_JOSE	-32,0888	-52,1675	3,00
P21	30/01/2020	VILA_MARIA_JOSE	-32,0903	-52,1681	3,00
P22	08/08/2023	VILA_MARIA_JOSE	-32,0907	-52,1662	3,00
P23	08/08/2023	VILA_MARIA_JOSE	-32,0914	-52,1679	3,00
P24	08/08/2023	VILA_MARIA_JOSE	-32,0894	-52,1668	3,00
P25	03/02/2025	CIDADE_NOVA	-32,0444	-52,1095	5,00
P26	03/02/2025	CIDADE_NOVA	-32,0448	-52,1091	5,00
P27	03/02/2025	CIDADE_NOVA	-32,0453	-52,1087	5,00
P28	03/02/2025	CIDADE_NOVA	-32,0459	-52,1082	5,00
P29	03/02/2025	CIDADE_NOVA	-32,044	-52,1089	5,00
P30	03/02/2025	CIDADE_NOVA	-32,0444	-52,1086	5,00
P31	03/02/2025	CIDADE_NOVA	-32,0448	-52,1082	5,00
P32	03/02/2025	CIDADE_NOVA	-32,0452	-52,1079	5,00
P33	03/02/2025	CIDADE_NOVA	-32,0455	-52,1075	5,00
P34	16/01/2024	CIDADE_NOVA	-32,0437	-52,1083	5,00
P35	16/01/2024	CIDADE_NOVA	-32,0441	-52,108	5,00
P36	16/01/2024	CIDADE_NOVA	-32,0445	-52,1076	5,00
P37	16/01/2024	CIDADE_NOVA	-32,0449	-52,1073	5,00
P38	16/01/2024	CIDADE_NOVA	-32,0434	-52,1078	5,00
P39	16/01/2024	CIDADE_NOVA	-32,0439	-52,1074	5,00
P40	16/01/2024	CIDADE_NOVA	-32,0443	-52,1071	5,00
P41	16/01/2024	CIDADE_NOVA	-32,0448	-52,1067	5,00
P42	16/01/2024	CIDADE_NOVA	-32,0439	-52,107	5,00
P43	08/07/2025	CASSINO	-32,1874	-52,1641	4,00

P44	27/05/2020	CENTRO	-32,0357	-52,0909	4,00
P45	02/06/2021	CENTRO	-32,0366	-52,0906	5,00
P46	20/06/2022	PARQUE_RES_COELHO	-32,0419	-52,1027	4,00
P47	15/12/2021	PARQUE_RES_COELHO	-32,0422	-52,1026	5,00
P48	08/06/2021	PARQUE_RES_COELHO	-32,0428	-52,1029	4,00
P49	26/03/2024	CIDADE_NOVA	-32,0326	-52,1155	7,00
P50	26/09/2023	CIDADE_NOVA	-32,0342	-52,1127	4,00
P51	29/09/2022	CIDADE_NOVA	-32,0321	-52,114	4,00
P52	05/04/2022	CIDADE_NOVA	-32,0341	-52,1161	4,00
P53	05/10/2021	CIDADE_NOVA	-32,0348	-52,1143	4,00

Fonte: Autor (2026)

5.4 Parâmetros analisados

Com base na Resolução CONAMA nº 396/2008, e considerando os contaminantes comumente associados a efluentes domésticos e industriais, foram definidos os principais parâmetros para a avaliação da qualidade da água subterrânea. A Tabela 2 apresenta os parâmetros analisados, acompanhados de suas respectivas justificativas.

Tabela 2 - Parâmetros Analisados

Categoria	Parâmetros	Objetivo / Relevância
Físico-químicos	DBO, DQO, Nitrogênio, Fósforo, Óleos e Graxas, OD, pH	Avaliar poluição orgânica, carga de nutrientes e alterações nas características da água
Microbiológico	Coliformes termotolerantes	Indicar contaminação fecal e presença potencial de patógenos; correlacionar com condições de saneamento
Elemento químico	Alumínio	Avaliar influência natural do solo e possíveis concentrações elevadas devido à mobilização no aquífero

5.5 Classificação de uso e ocupação do solo

A classificação de uso e ocupação do solo foi realizada a partir de imagens orbitais do satélite Landsat 8, adquiridas em 12 de março de 2025, com resolução espacial de 30x30 metros. O processamento e as análises foram conduzidos no ambiente do *software* QGIS, versão 3.40.14, utilizando ferramentas do provedor de processamento *Orfeo ToolBox* (OTB).

5.6 Elevação e direção do fluxo de água superficial e subterrânea

Para a definição do fluxo seguido pela água, tanto superficial quanto subterrânea, com potencial de transporte dos índices analisados das regiões mais elevadas para as mais baixas até sua desembocadura no oceano, foi elaborado um mapa de fluxo. Para isso, utilizou-se o *plug-in Crayfish*, disponível no software QGIS (versão 3.40.14).

5.7 Método da Ponderação pelo Inverso da Distância (IDW)

A partir dos dados dos parâmetros utilizados na análise da qualidade da água subterrânea da cidade de Rio Grande/RS, coletados em pontos amostrais disponibilizados pela Prefeitura Municipal, foi elaborado um banco de dados em formato CSV para posterior inserção no QGIS.

Em seguida, a análise espacial dos parâmetros foi realizada por meio do método de Ponderação pelo Inverso da Distância (IDW), amplamente empregado em estudos de risco ambiental para estimar valores em locais não amostrados, como níveis de poluição ou profundidade do lençol freático, a partir de pontos conhecidos.

Nesse contexto, o mapeamento da qualidade ambiental da área avaliada foi conduzido por meio da identificação da tendência de dispersão dos parâmetros no solo, utilizando o método de interpolação IDW, o qual possibilitou a geração de mapas indicativos das regiões de maior concentração.

Para isso, o processamento dos dados foi realizado com o auxílio do software QGIS, versão 3.40.14, que permite estimar valores em locais sem medições diretas por meio da ferramenta de interpolação IDW, considerando a influência da proximidade entre os pontos amostrais.

Por fim, na análise multicriterial (MCDA), a conversão dos dados para uma escala de 0 a 1, processo conhecido como normalização, foi essencial para possibilitar a comparação e a integração de variáveis com diferentes unidades de medida.

5.8 Método Analítico de processo hierárquico (AHP)

Após a elaboração dos mapas de distribuição das concentrações dos parâmetros analisados de qualidade da água subterrânea com o IDW, foi aplicado o método Processo de Hierarquia Analítica (AHP - *Analytic Hierarchy Process*), uma técnica de tomada de decisão multicritério desenvolvida por Thomas L. Saaty na

década de 1970. Esse método é amplamente utilizado em estudos ambientais e de planejamento territorial, pois permite analisar e priorizar diferentes fatores que influenciam um determinado fenômeno, especialmente em situações que envolvem múltiplos critérios.

O método Processo de Hierarquia Analítica (AHP - *Analytic Hierarchy Process*) tem como objetivo estabelecer um vetor de prioridades que represente a importância relativa entre os diferentes elementos considerados na análise. Para quantificar esses julgamentos, utilizou-se a escala fundamental proposta por Saaty (1977), composta por valores que variam de 1 a 9, permitindo representar diferentes níveis de importância relativa entre os elementos comparados, variando desde igual importância (1) até importância absoluta (9). Neste estudo os graus de importância atribuídos aos fatores analisados, representados por pesos relativos foram definidos pelo analista, conforme estudo. Nos casos em que foram avaliados fatores associados a impactos ambientais provenientes de efluentes, foram atribuídos pesos mais elevados, em função do seu maior potencial de perturbação sobre os processos de degradação ambiental.

Os níveis hierárquicos adotados, ou organização do processo de análise estão dispostos na Tabela 4, onde a maior ordem tem maior importância, ou maior influência nas respostas de análise ambiental e a menor ordem foi atribuída a menor relevância ou importância no processo de análise.

Tabela 3 - Fatores Ordenados por relevância.

Ordem	Fatores
1	Óleos e graxas
2	pH
3	Alumínio
4	OD
5	Fósforo
6	Nitrogênio
7	DQO
8	DBO
9	Coliformes Termotolerantes

Após a determinação do índice de Qualidade Ambiental, os dados resultantes foram submetidos a um processo de reclassificação e categorização fundamentado na lógica do método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) no ambiente QGIS. Esta etapa consistiu na conversão dos valores numéricos contínuos em classes discretas de adequação, distribuídas em uma escala qualitativa de cinco níveis: Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto.

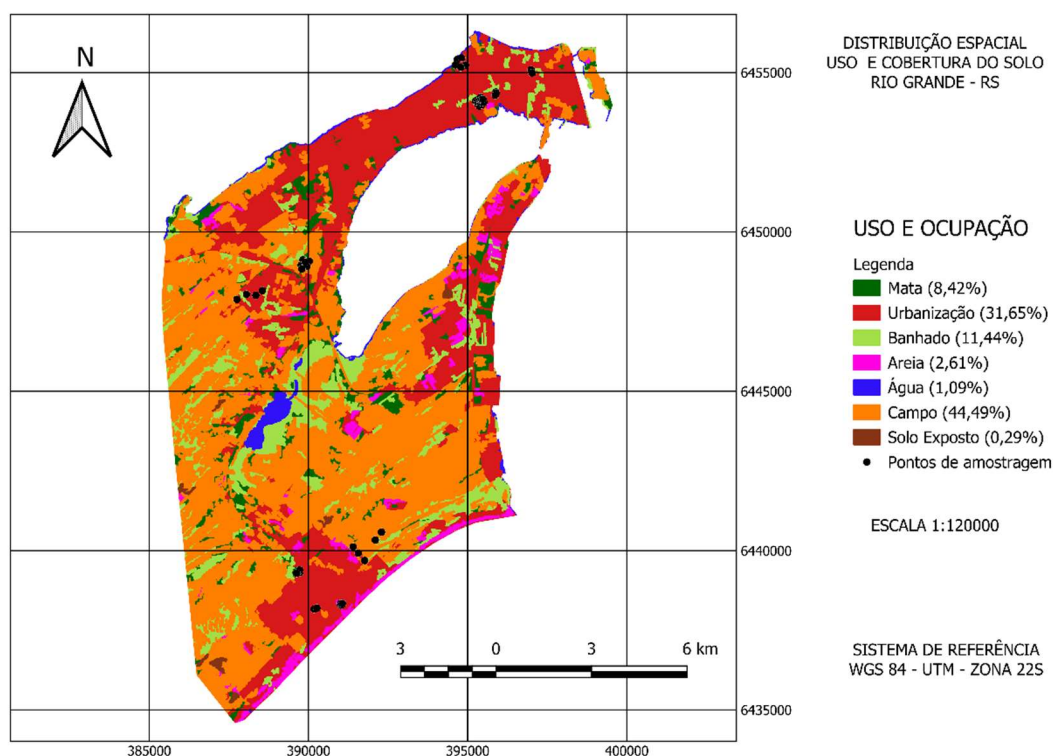
Tal sistematização foi essencial para traduzir a complexidade dos dados brutos em zonas de prioridade espacialmente definidas, fornecendo um produto cartográfico de fácil interpretação para o suporte à tomada de decisão e gestão ambiental.

6 DIAGNÓSTICO TÉCNICO-OPERACIONAL

6.1 Mapa de Uso e Ocupação do Solo

Os resultados da classificação de uso e ocupação do solo são apresentados na Figura 1, na qual a área de estudo foi dividida em diferentes classes temáticas por meio de classificação não supervisionada, destacando-se que, nesse procedimento, não foi realizada verificação ou confirmação em campo da posição de cada classe identificada. Além disso, foram inseridos no mapa os pontos de amostragem, conforme ilustrado na mesma figura, permitindo associar as concentrações dos parâmetros analisados às suas respectivas localizações na área de estudo e, conseqüentemente, possibilitando a relação entre os valores obtidos nas análises e as diferentes classes de uso e ocupação do solo identificadas no mapeamento.

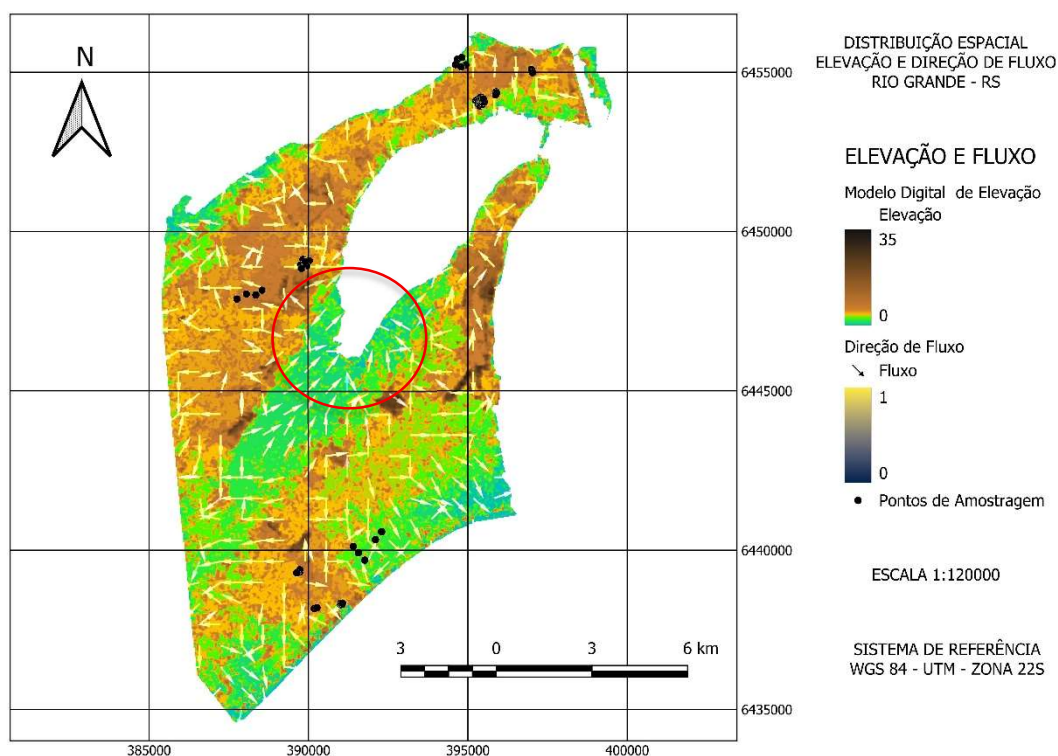
Figura 1 - Mapa de Ocupação e Uso do Solo



6.2 Mapa de elevação e direção do fluxo de água superficial e subterrânea

A análise do mapa de fluxo indica que o escoamento hídrico na área de estudo segue o gradiente topográfico, deslocando-se das regiões mais elevadas para as mais baixas, com convergência em direção ao oceano. Esse padrão está associado às características geomorfológicas de Rio Grande, uma planície costeira de baixa altitude, e à sua configuração geográfica como península limitada pelo Oceano Atlântico e pela Laguna dos Patos, o que favorece a drenagem natural das águas superficiais e subterrâneas. Nesse contexto, a topografia e a configuração costeira exercem forte influência sobre o fluxo hídrico, contribuindo para o transporte, acúmulo e dispersão de materiais ao longo da paisagem.

Figura 2 - Mapa de elevação e direção do fluxo de água superficial e subterrânea



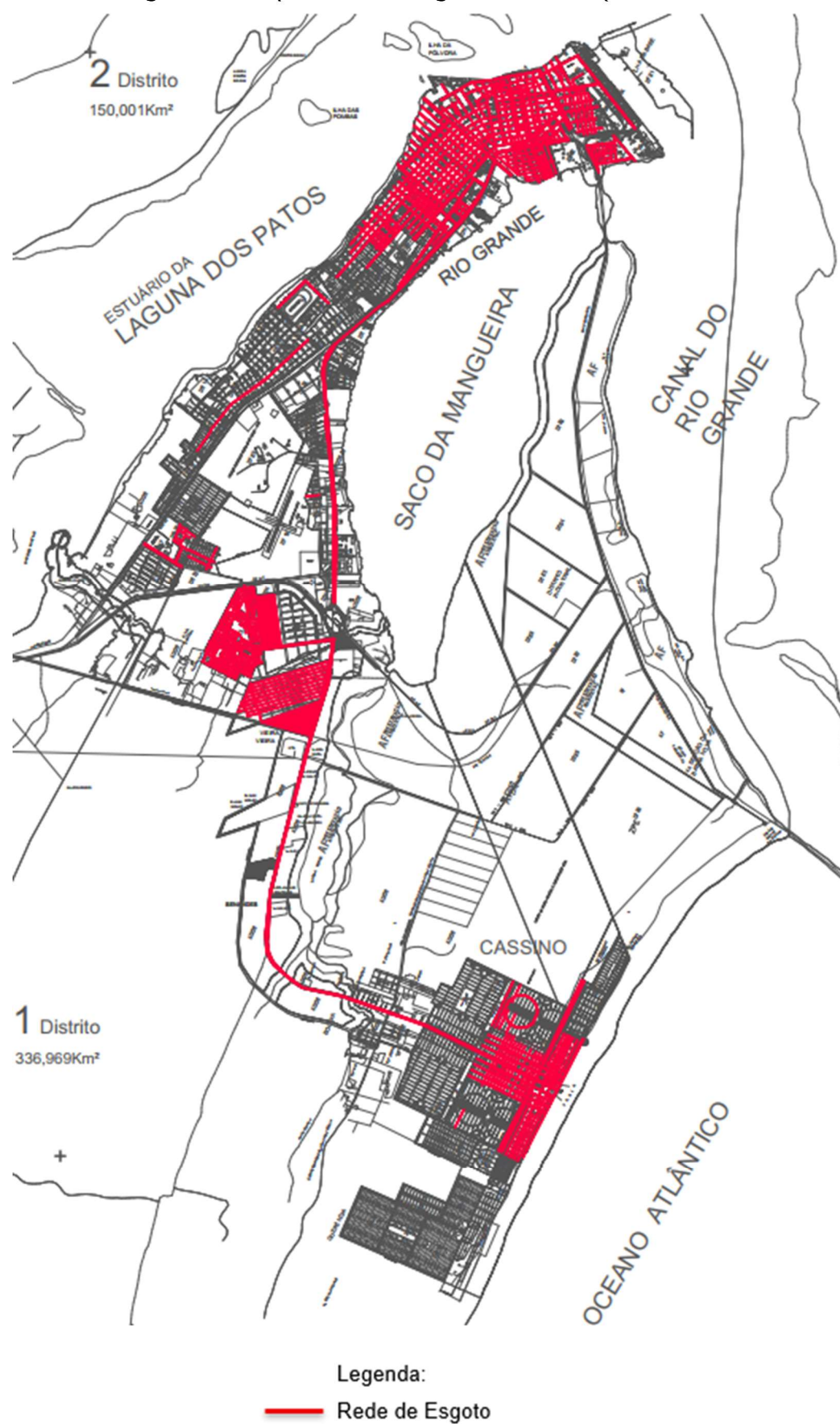
O círculo vermelho indicado na Figura 2 destaca uma área de convergência do fluxo superficial e subterrâneo, considerada um ponto estratégico para o monitoramento ambiental. Nessa região, observa-se que grande parte das linhas de fluxo converge para um mesmo setor, o que favorece o acúmulo e o transporte de contaminantes provenientes de diferentes áreas da bacia de contribuição. Dessa forma, recomenda-se a ampliação da rede de monitoramento, com a implantação de

novos poços piezométricos nesse local, uma vez que a qualidade da água observada nessa região tende a representar de forma integrada as contribuições provenientes de grande parte da área de estudo. Assim, esse setor constitui um importante ponto de controle para o acompanhamento da qualidade das águas subterrâneas no município e para a detecção precoce de alterações decorrentes de fontes de contaminação difusas ou pontuais.

6.3 Mapeamento das redes de esgotamento sanitário no município

A análise do mapeamento da rede de esgoto no município de Rio Grande evidencia que a cobertura do sistema é limitada, uma vez que grande parte do município ainda não dispõe desse serviço essencial. Tal déficit configura um desafio relevante para a gestão urbana, visto que a ausência de coleta e tratamento adequado de esgoto impacta diretamente a saúde da população e compromete a qualidade de vida no município.

Figura 3 - Mapa rede de esgoto do município de Rio Grande



A análise integrada dos mapas de cobertura da rede de esgotamento sanitário e de uso e ocupação do solo em Rio Grande evidencia que a infraestrutura sanitária acompanha a distribuição da urbanização, concentrando-se nas áreas mais densamente povoadas, como o centro e o balneário Cassino. No entanto, a cobertura é desigual, com lacunas em áreas urbanizadas, refletindo um sistema ainda em expansão e que atende apenas parte da população, conforme indicado pelo baixo percentual de conexões ao esgoto. Além disso, a proximidade entre áreas urbanas não atendidas e ambientes naturais sensíveis representa risco de contaminação ambiental. Assim, apesar do alinhamento com a ocupação urbana, persistem desafios relacionados à ampliação e integração da rede e à proteção dos ecossistemas.

6.4 Banco de Dados utilizadas para a determinação da sensibilidade ambiental

A Tabela 4 apresenta os dados utilizados, disponibilizados pela Prefeitura Municipal do Rio Grande junto com a distribuição espacial (Latitude, Longitude e Altitude) e os parâmetros utilizados, para posteriormente subsidiar a elaboração do mapa de sensibilidade.

Tabela 4 - Banco de dados utilizados na análise espacial de sensibilidade ambiental para a região de estudo em Rio Grande RS.

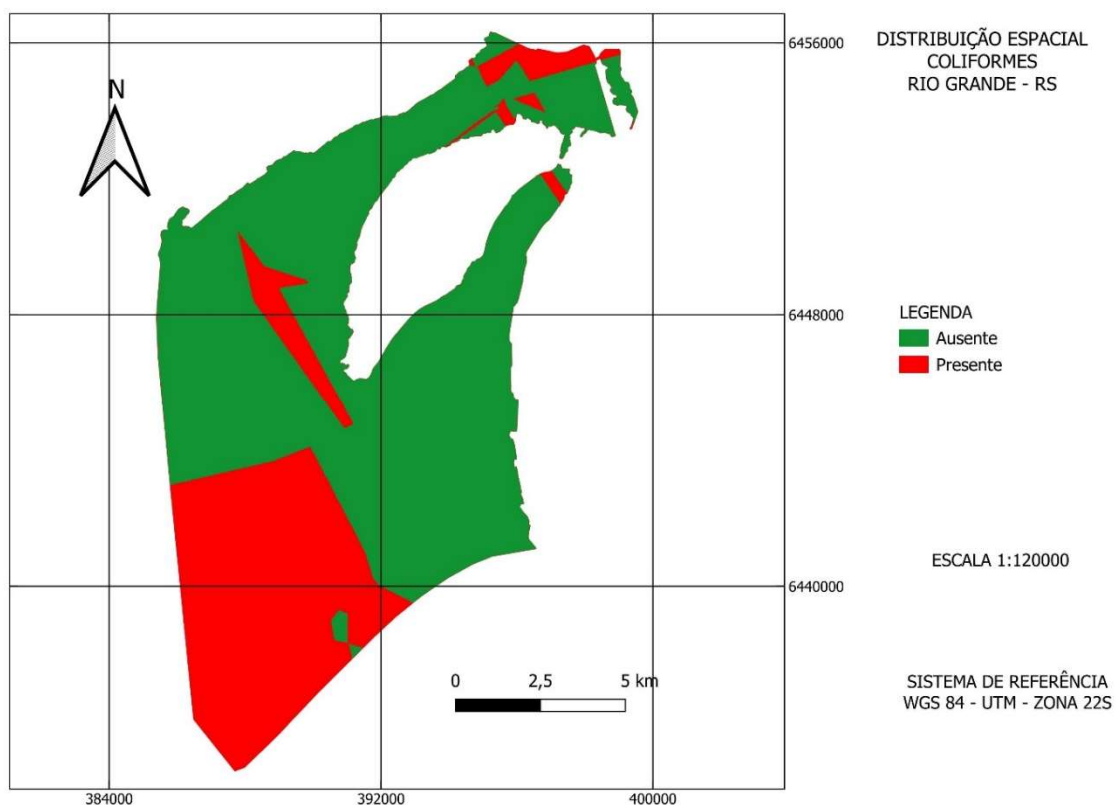
Ponto	LAT GRAUS	LONG GRAUS	AI	P	pH	OD	Óleos e Graxas	N Total	COLIF T	DBO	DQO	ALTITUDE (m)
P1	-32,1866	-52,1562	0,08	0,01	6,58	3,60	<5,00	0,10	160,00	10,00	10,00	2,00
P2	-32,1864	-52,1559	0,05	0,17	7,41	3,80	<8,00	0,70	1,00	10,00	13,80	2,00
P3	-32,1862	-52,1561	0,05	0,09	7,12	5,20	<8,00	1,80	1,00	10,00	21,10	2,00
P4	-32,1865	-52,1557	0,36	0,47	6,77	2,40	<10,00	1,00	1,00	10,00	36,20	2,00
P5	-32,1862	-52,1556	0,20	1,00	6,55	6,10	<10,00	2,70	94,00	8,40	40,70	4,00
P6	-32,1773	-52,1697	1,23	2,77	5,95	3,50	<10,00	3,10	54,00	23,90	68,60	6,00
P7	-32,1766	-52,1697	0,05	0,07	7,82	5,30	<8,00	1,70	4,50	10,00	10,10	6,00
P8	-32,1775	-52,1707	0,66	6,60	7,73	5,00	<8,00	3,10	92,00	41,70	114,80	6,00
P9	-32,1683	-52,1444	0,06	0,01	6,38	3,10	<5,00	0,10	1,00	10,00	10,00	1,00
P10	-32,1661	-52,1423	0,06	0,01	6,26	2,90	<5,00	0,10	1,00	10,00	10,00	1,00
P11	-32,0984	-52,1864	0,55	0,01	6,10	4,10	<8,00	0,10	1,00	10,00	26,20	7,00
P12	-32,0974	-52,1811	0,61	0,01	7,09	3,10	<8,00	0,10	45,00	16,10	49,40	6,00
P13	-32,0998	-52,1896	0,11	0,01	6,02	4,30	<8,00	0,10	1,00	10,00	32,90	6,00
P14	-32,0987	-52,1833	0,50	0,01	6,76	3,60	<8,00	0,10	1,00	21,20	62,70	7,00
P15	-32,1877	-52,165	2,18	0,01	6,45	7,90	<5,00	0,10	20,00	10,00	10,00	6,00
P16	-32,1702	-52,1518	0,38	0,01	6,71	3,50	<5,00	0,80	110,00	1,00	1,00	3,00
P17	-32,172	-52,1501	4,17	0,01	6,67	3,50	<5,00	0,70	350,00	1,00	1,00	3,00
P18	-32,1741	-52,148	2,30	0,01	6,67	3,50	<5,00	0,90	350,00	1,00	1,00	3,00
P19	-32,0892	-52,1654	0,10	0,69	6,36	4,10	<10,00	0,10	1,00	7,00	7,00	3,00

P20	-32,0888	-52,1675	0,27	0,69	6,33	4,30	<10,00	0,10	1,00	7,00	12,00	3,00
P21	-32,0903	-52,1681	0,11	0,77	5,30	4,80	<10,00	0,10	7,80	9,60	16,00	3,00
P22	-32,0907	-52,1662	0,26	0,01	6,40	5,22	<10,00	0,10	1,00	14,25	15,97	3,00
P23	-32,0914	-52,1679	0,10	0,01	6,30	4,95	<10,00	0,10	1,00	10,58	25,24	3,00
P24	-32,0894	-52,1668	0,15	0,01	5,96	3,93	<10,00	0,10	1,00	7,00	25,78	3,00
P25	-32,0444	-52,1095	0,05	1,94	6,74	3,50	<5,00	0,10	1,00	10,00	10,00	5,00
P26	-32,0448	-52,1091	0,05	0,19	6,76	3,50	<5,00	0,10	1,00	10,00	10,00	5,00
P27	-32,0453	-52,1087	0,05	0,48	6,69	3,50	<5,00	0,10	110,00	10,00	10,00	5,00
P28	-32,0459	-52,1082	0,05	0,52	6,75	3,50	<5,00	0,10	1,00	10,00	10,00	5,00
P29	-32,044	-52,1089	0,05	0,57	6,78	3,50	<5,00	0,10	1,00	10,00	10,00	5,00
P30	-32,0444	-52,1086	0,05	0,29	6,70	3,50	<5,00	0,10	230,00	10,00	10,00	5,00
P31	-32,0448	-52,1082	0,05	0,44	6,73	3,50	<5,00	0,10	1,00	10,00	10,00	5,00
P32	-32,0452	-52,1079	0,05	1,26	6,76	3,50	<5,00	0,10	4,50	10,00	10,00	5,00
P33	-32,0455	-52,1075	0,05	0,73	6,82	3,50	<5,00	0,10	110,00	10,00	10,00	5,00
P34	-32,0437	-52,1083	0,05	0,17	7,06	3,50	<8,00	0,10	1,00	10,00	10,00	5,00
P35	-32,0441	-52,108	0,05	0,25	7,58	3,50	<8,00	0,10	22,00	10,00	14,80	5,00
P36	-32,0445	-52,1076	0,05	0,96	7,06	3,50	<8,00	0,10	1,00	10,00	10,00	5,00
P37	-32,0449	-52,1073	0,05	0,59	7,28	3,50	<8,00	0,10	34,00	10,00	10,00	5,00
P38	-32,0434	-52,1078	0,05	1,08	7,58	3,50	<8,00	0,10	1,00	10,00	10,00	5,00
P39	-32,0439	-52,1074	0,05	0,42	6,98	3,50	<8,00	0,10	6,80	10,00	10,00	5,00
P40	-32,0443	-52,1071	0,05	0,36	7,00	3,50	<8,00	0,10	33,00	10,00	10,00	5,00
P41	-32,0448	-52,1067	0,05	0,43	7,11	3,50	<8,00	0,10	33,00	10,00	10,00	5,00
P42	-32,0439	-52,107	0,05	0,26	7,39	3,50	<8,00	0,10	7,80	10,00	10,00	5,00
P43	-32,1874	-52,1641	0,35	0,03	6,74	3,50	<5,00	0,10	350,00	34,30	81,20	4,00
P44	-32,0357	-52,0909	0,80	5,40	6,81	8,60	<10,00	2,90	49,00	20,20	67,90	4,00
P45	-32,0366	-52,0906	0,80	4,98	6,80	4,90	<10,00	2,28	1,00	23,60	67,90	5,00
P46	-32,0419	-52,1027	0,29	1,15	7,48	4,10	<10,00	2,90	1,00	10,00	22,90	4,00
P47	-32,0422	-52,1026	9,03	8,96	7,51	6,50	<10,00	2,70	240,00	31,30	86,70	5,00
P48	-32,0428	-52,1029	0,96	0,71	7,03	5,50	<10,00	4,40	1,00	13,90	44,40	4,00
P49	-32,0326	-52,1155	0,09	0,01	6,90	4,20	<5,00	1,20	33,00	10,00	10,00	7,00
P50	-32,0342	-52,1127	0,05	2,39	7,59	5,60	<8,00	1,00	79,00	10,00	10,00	4,00
P51	-32,0321	-52,114	0,18	7,71	6,30	5,10	<8,00	6,60	1,00	22,60	66,20	4,00
P52	-32,0341	-52,1161	0,11	2,21	6,66	5,50	<10,00	6,80	1,00	36,00	100,30	4,00
P53	-32,0348	-52,1143	0,23	0,01	6,72	3,20	<10,00	5,60	1,00	28,40	79,40	4,00

6.5 Espacialização de cada parâmetro analisado

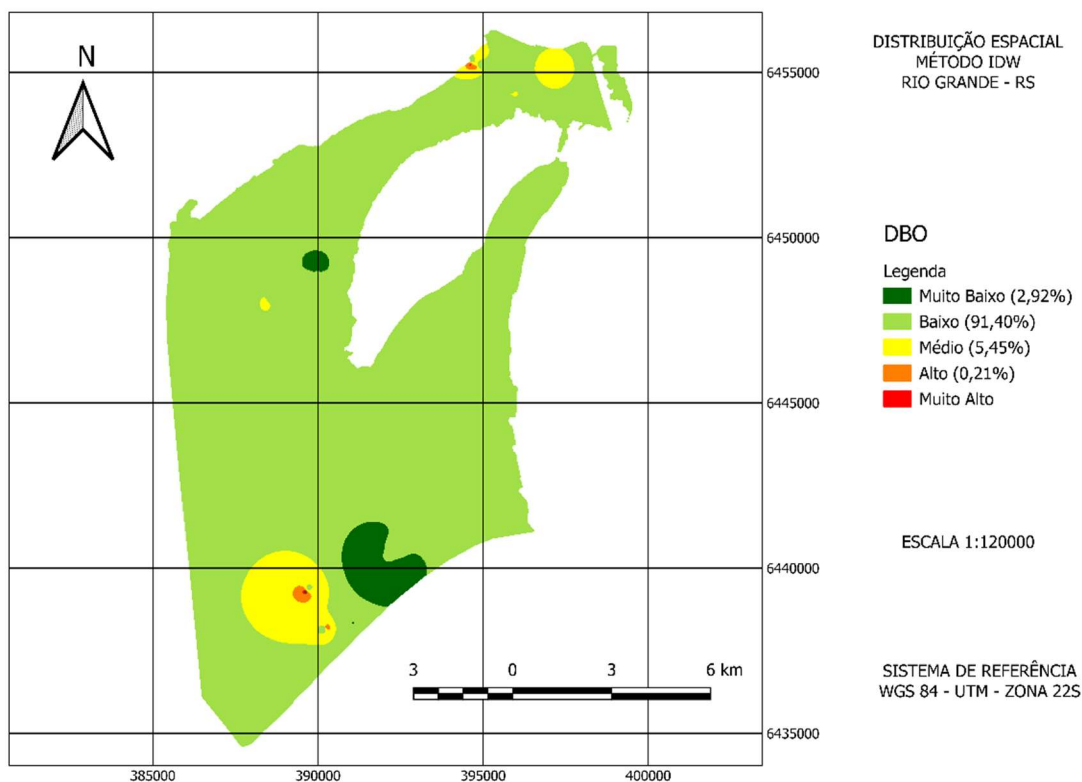
A seguir estão apresentados os resultados a distribuição espacial dos parâmetros analisados de acordo com o método IDW (Figura 4 – 12).

Figura 4 - Distribuição Espacial Coliformes - Método IDW



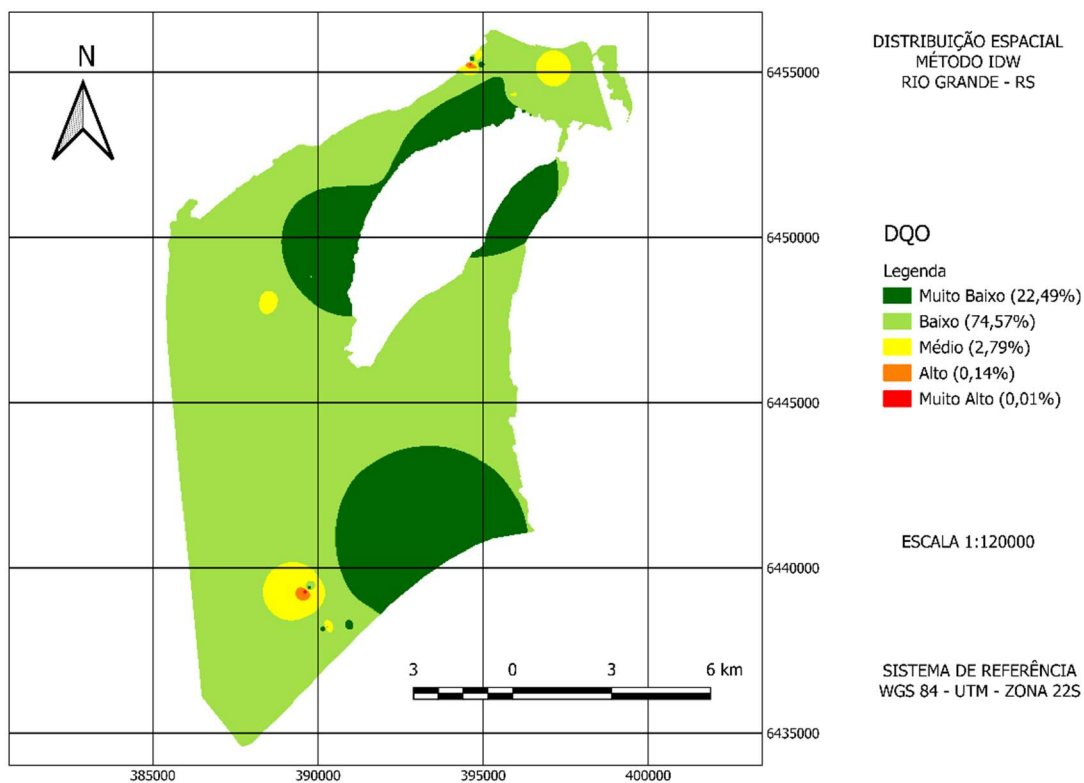
Fonte: ARSAND, HARTWIG & DOMBKOWITSCH, 2026

Figura 5 - Distribuição Espacial DBO - Método IDW



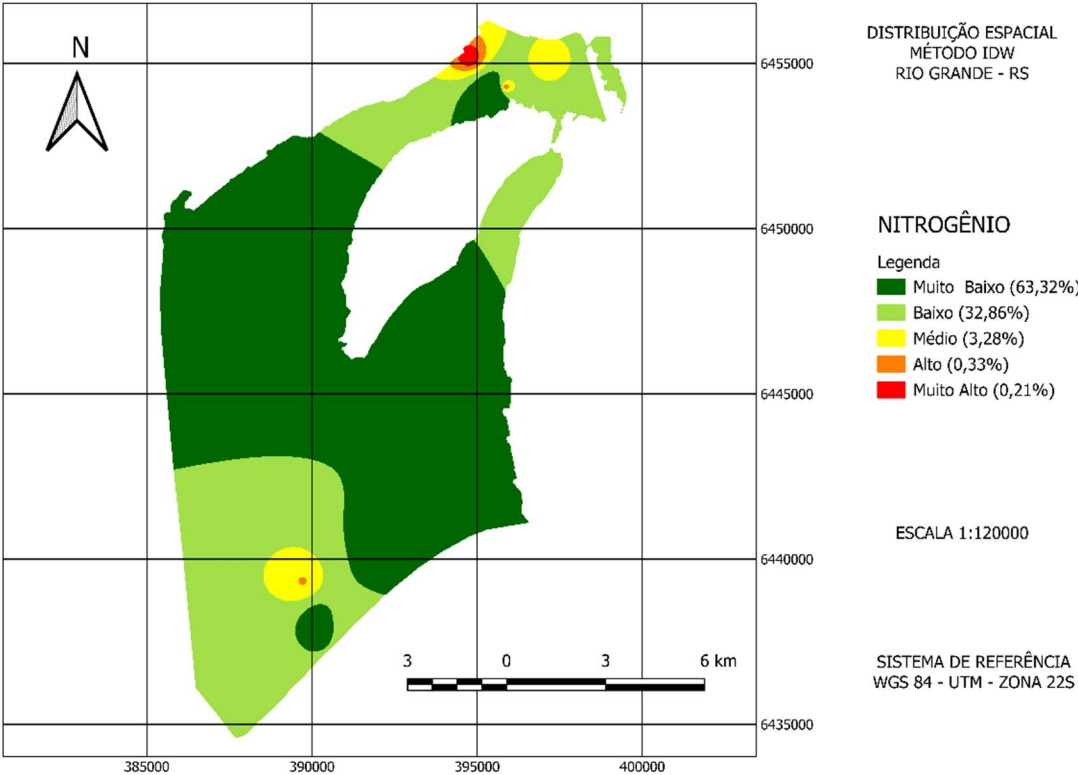
Fonte: ARSAND, HARTWIG & DOMBKOWITSCH, 2026

Figura 6 - Distribuição Espacial DQO - Método ID

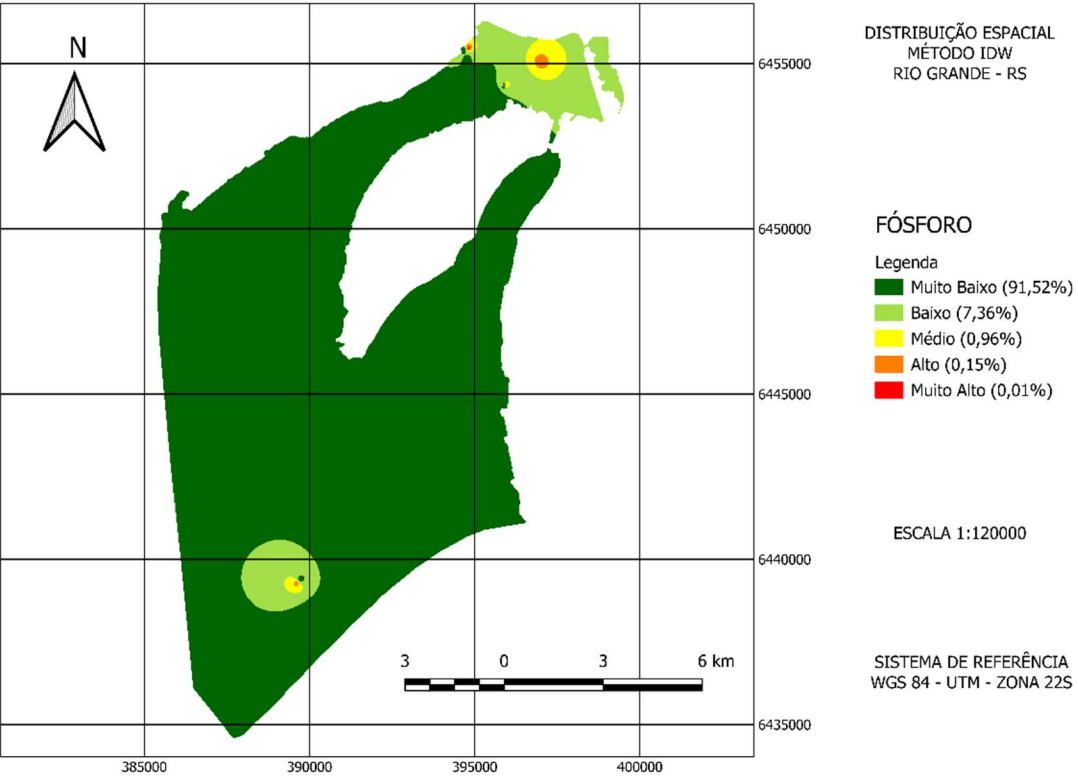


Fonte: ARSAND, HARTWIG & DOMBKOWITSCH, 2026

Figura 7 - Distribuição Espacial Nitrogênio - Método IDW

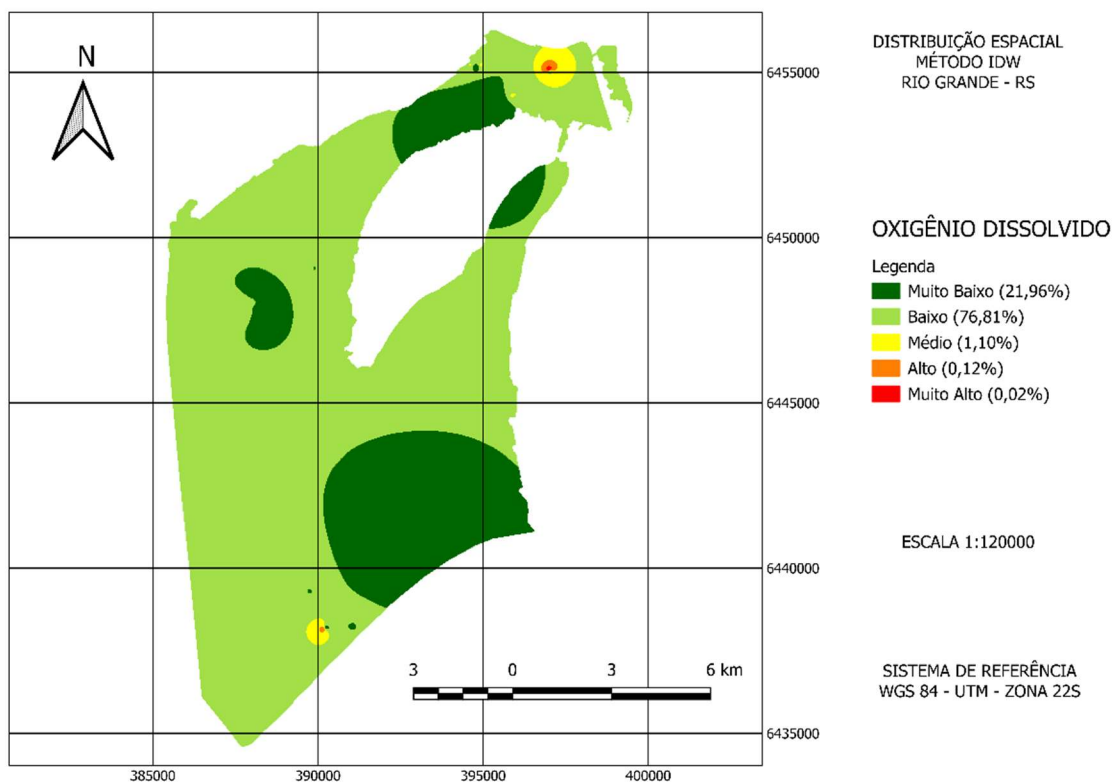


Fonte: ARSAND, HARTWIG & DOMBKOWITSCH, 2026
Figura 8 - Distribuição Espacial Fósforo - Método IDW



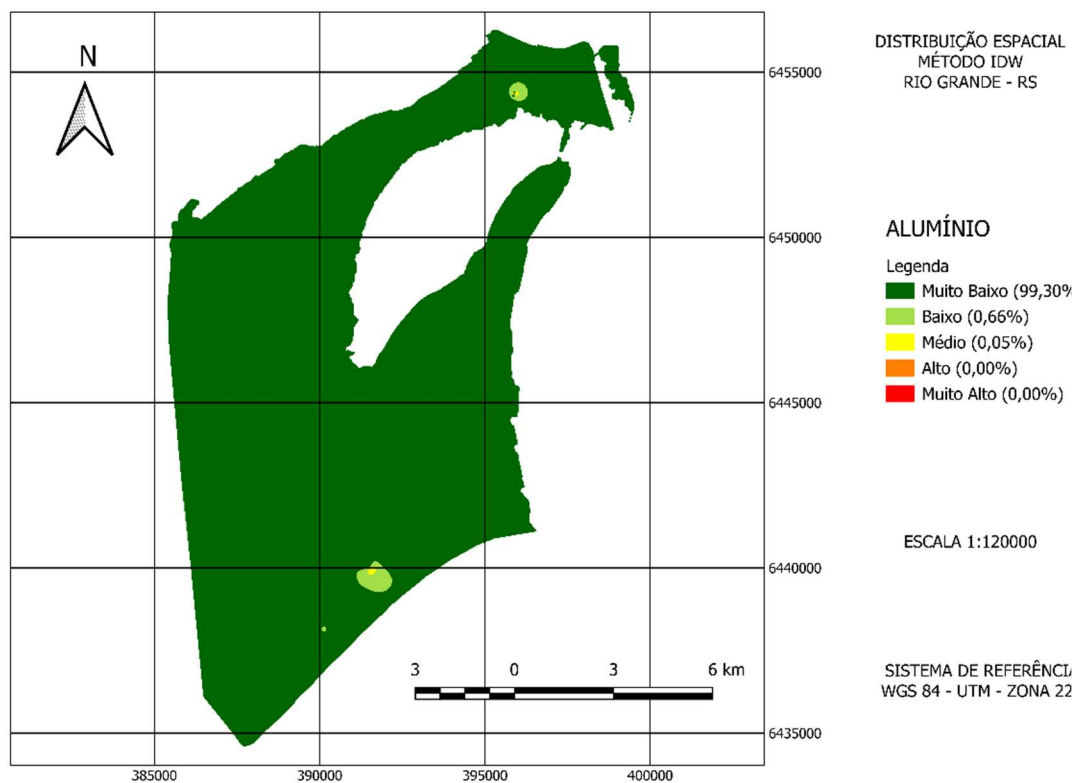
Fonte: ARSAND, HARTWIG & DOMBKOWITSCH, 2026

Figura 9 - Distribuição Espacial Oxigênio Dissolvido - Método IDW



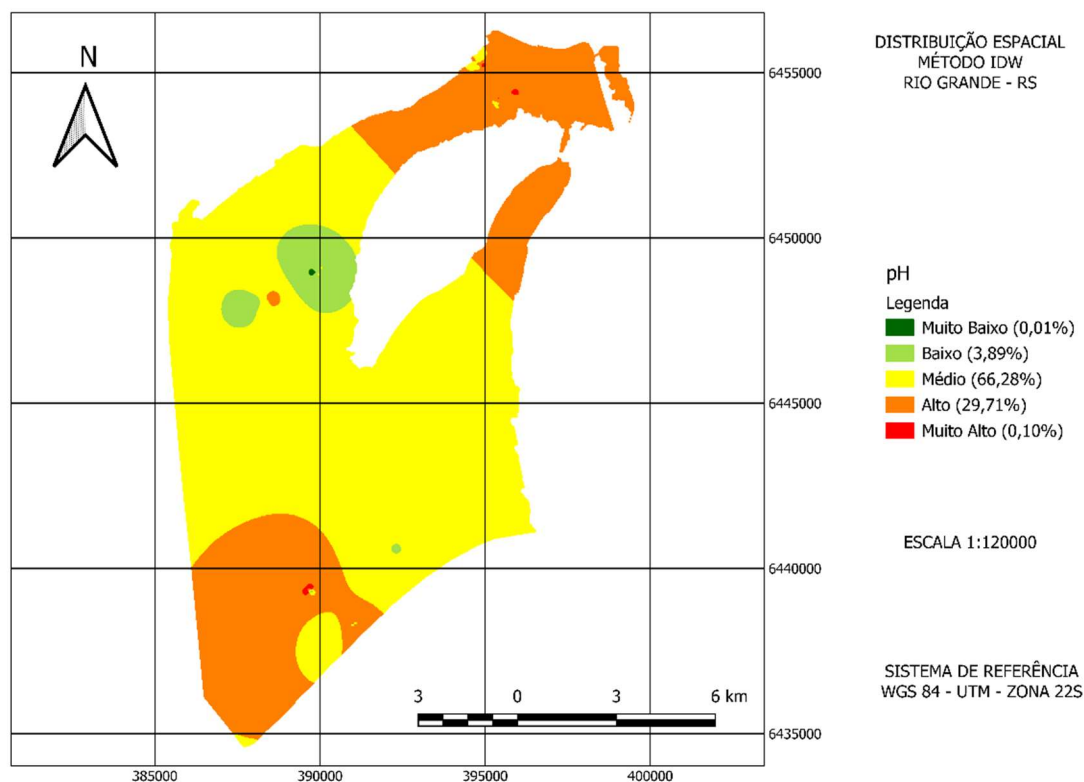
Fonte: ARSAND, HARTWIG & DOMBKOWITSCH, 2026

Figura 10 - Distribuição Espacial Alumínio - Método IDW

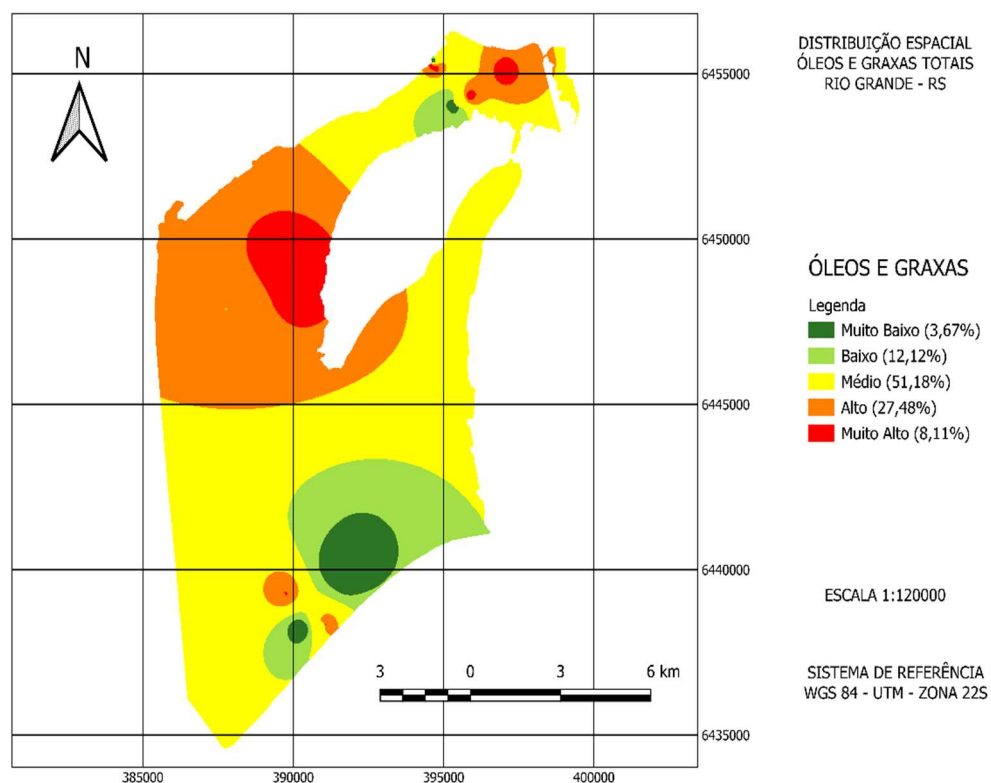


Fonte: ARSAND, HARTWIG & DOMBKOWITSCH, 2026

Figura 11 - Distribuição Espacial pH - Método IDW



Fonte: ARSAND, HARTWIG & DOMBKOWITSCH, 2026
Figura 12 - Distribuição Espacial Óleos e Graxas - Método IDW



Fonte: ARSAND, HARTWIG & DOMBKOWITSCH, 2026

Todos os mapas foram reclassificados em cinco classes de intensidade (Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto), com exceção do mapa de coliformes termotolerantes (Figura 4), que foi representado em duas classes (presença e ausência), uma vez que a simples detecção desses microrganismos já constitui um importante indicativo de contaminação de origem fecal. Dessa forma, considerando os critérios estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 396/2008 para águas subterrâneas destinadas ao consumo humano, sua presença indica a necessidade de tratamento adequado e comprovação da potabilidade da água antes de qualquer utilização para abastecimento.

De maneira geral, os mapas apresentados nas Figuras 4 a 12 evidenciam o predomínio das classes de menor concentração dos parâmetros analisados, indicando que a maior parte da área de estudo apresenta condições ambientais favoráveis. Para a DBO, aproximadamente 94% da área enquadra-se nas classes "Muito Baixo" e "Baixo", enquanto para a DQO esse percentual ultrapassa 97%. Resultados semelhantes foram observados para nitrogênio e fósforo, com predomínio superior a 96% das áreas nas duas menores classes, demonstrando reduzida ocorrência de concentrações elevadas desses nutrientes. Os parâmetros alumínio, pH, oxigênio dissolvido e óleos e graxas também apresentaram distribuição predominantemente homogênea, com ocorrência restrita de pequenas manchas classificadas como médias, altas ou muito altas, indicando que valores mais elevados possuem caráter pontual e localizado. Ressalta-se, entretanto, que a ampliação da rede de poços de monitoramento proporcionaria maior confiabilidade às interpolações espaciais e permitiria uma representação mais detalhada da variabilidade ambiental da área de estudo.

A distribuição espacial dos coliformes termotolerantes evidencia um padrão concentrado em setores específicos da área urbana, indicando regiões com maior potencial de influência de fontes de contaminação fecal. A ocorrência desses pontos está associada às áreas de maior ocupação antrópica, sugerindo possível influência de sistemas individuais de tratamento de esgoto, ligações irregulares ou falhas na infraestrutura de saneamento. Considerando as características locais, marcadas por solos arenosos e aquífero raso, a infiltração de efluentes constitui um dos principais mecanismos potenciais de transporte desses contaminantes para as águas subterrâneas.

Os parâmetros DBO e DQO apresentaram concentrações predominantemente baixas, indicando reduzida carga de matéria orgânica na maior parte da área de estudo. As poucas áreas classificadas nas categorias "Alto" e "Muito Alto" concentram-se em pontos isolados, sugerindo fontes localizadas de aporte orgânico. A correspondência espacial entre os mapas desses dois parâmetros reforça a consistência dos resultados e indica provável origem comum da matéria orgânica detectada.

Em relação aos nutrientes, os mapas de nitrogênio e fósforo evidenciam predominância das classes "Muito Baixo" e "Baixo", sendo observadas concentrações mais elevadas apenas em áreas pontuais do município. Embora parte dessas áreas esteja localizada próxima a regiões urbanizadas, não há pontos de monitoramento na região industrial de Rio Grande, o que impossibilita avaliar a influência direta das atividades industriais sobre as concentrações desses nutrientes. Dessa forma, os resultados refletem apenas as condições das áreas efetivamente amostradas, não sendo possível estabelecer correlação entre os valores observados e o complexo industrial. Recomenda-se que estudos futuros contemplem pontos de monitoramento nessa região, possibilitando uma avaliação mais representativa da eventual influência das atividades industriais sobre a qualidade das águas subterrâneas.

O mapa de oxigênio dissolvido demonstra predominância de valores compatíveis com as características naturais das águas subterrâneas, nas quais a limitada troca gasosa com a atmosfera resulta em concentrações naturalmente inferiores às observadas em águas superficiais. As áreas com menores concentrações coincidem, em parte, com regiões onde também foram identificados maiores valores de matéria orgânica, indicando possível consumo de oxigênio durante processos de degradação microbológica.

A distribuição espacial do alumínio evidencia predominância das menores classes de concentração, com poucos pontos apresentando valores elevados. Entretanto, ressalta-se que, conforme a Resolução CONAMA nº 396/2008, o Valor Máximo Permitido (VMP) para águas subterrâneas destinadas ao consumo humano é de $200 \mu\text{g L}^{-1}$ ($0,20 \text{ mg L}^{-1}$). Dessa forma, mesmo áreas classificadas na classe "Baixo" podem apresentar concentrações superiores ao limite recomendado para consumo humano, indicando que a classificação espacial representa apenas uma comparação relativa entre os valores observados, e não necessariamente condições adequadas de qualidade da água.

Além disso, o alumínio apresentou coeficiente de variação de 256,20%, evidenciando elevada heterogeneidade espacial das concentrações e a ocorrência de valores extremos. Esse comportamento sugere que, embora parte da variabilidade possa estar associada às características geológicas e geoquímicas naturais do aquífero, não se pode descartar influências antrópicas localizadas. Assim, recomenda-se a realização de estudos complementares, com ampliação da cobertura espacial do monitoramento e da quantidade de pontos amostrais, a fim de caracterizar com maior precisão a distribuição do alumínio e identificar as possíveis fontes responsáveis pelas concentrações elevadas.

Os parâmetros pH e óleos e graxas apresentaram distribuição espacial bastante homogênea, com ampla predominância das classes de menor concentração e reduzida ocorrência de áreas classificadas como médias ou altas. Esses resultados indicam que tais parâmetros não constituem, de forma geral, fatores limitantes para a qualidade das águas subterrâneas na área estudada.

Em síntese, a análise integrada dos mapas evidencia que, embora existam ocorrências pontuais de concentrações elevadas associadas principalmente às áreas urbanizadas e industriais, predomina na maior parte do município um cenário de baixa vulnerabilidade quanto aos parâmetros avaliados. Ainda assim, as características hidrogeológicas locais, especialmente a elevada permeabilidade dos solos arenosos, o aquífero raso e a cobertura ainda limitada da rede de esgotamento sanitário, reforçam a necessidade de expansão do monitoramento ambiental e da infraestrutura de saneamento, visando prevenir processos futuros de contaminação das águas subterrâneas.

Por fim, recomenda-se que estudos futuros busquem uma maior homogeneização da distribuição espacial das informações utilizadas na elaboração dos mapas, evitando regiões extensas representadas por um número reduzido de dados interpolados. Essa abordagem permitirá gerar mapas com maior uniformidade espacial e maior confiabilidade, reduzindo as incertezas inerentes ao processo de interpolação e tornando as análises mais representativas das condições ambientais da área de estudo.

6.6 Sensibilidade Ambiental AHP

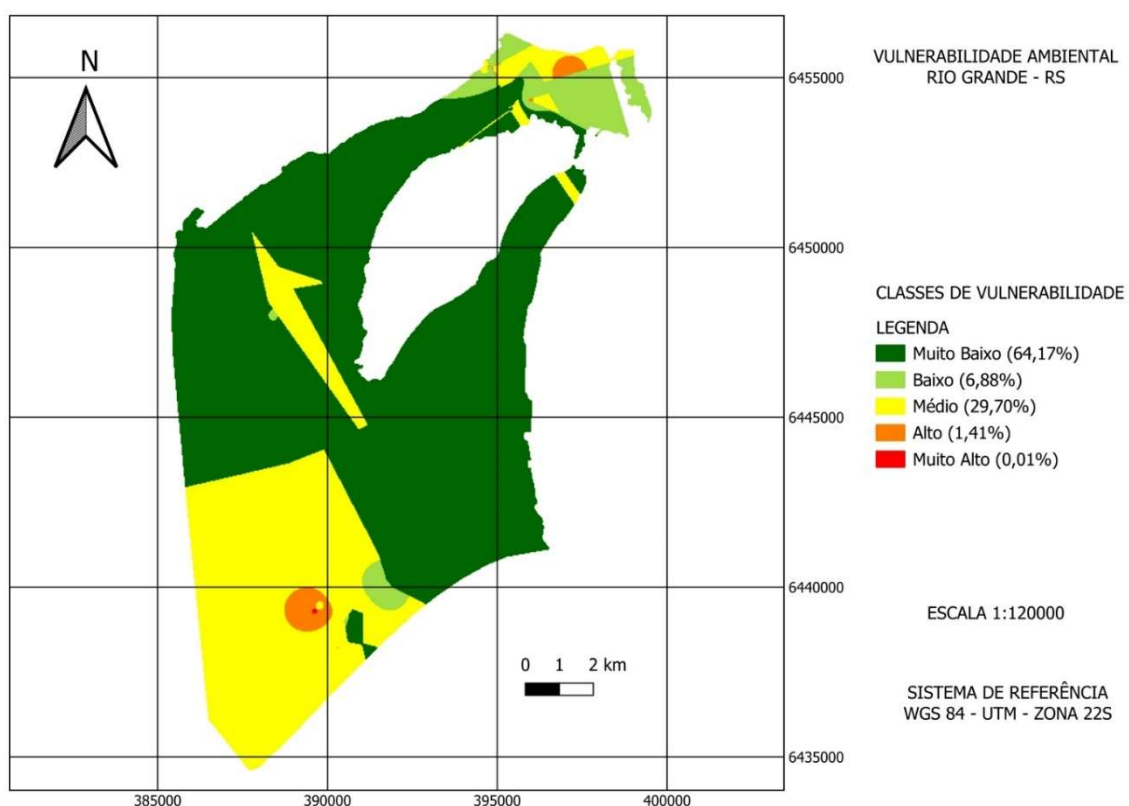
A aplicação da metodologia AHP possibilitou a geração de diferentes representações espaciais da vulnerabilidade ambiental associada à contaminação

das águas subterrâneas no município de Rio Grande RS. Os mapas obtidos evidenciam variações na distribuição espacial dos níveis de vulnerabilidade em função do operador utilizado, refletindo distintos padrões de agregação dos parâmetros analisados.

Os resultados provenientes apresentaram uma distribuição gradual dos valores de vulnerabilidade ambiental, permitindo a identificação de áreas com diferentes níveis intermediários de sensibilidade. As variações observadas nos mapas indicam diferenças na espacialização da vulnerabilidade conforme os valores adotados resultando em padrões espaciais distintos.

Em relação aos mapas gerados apresentaram uma distribuição mais restritiva das classes de maior vulnerabilidade ambiental, destacando áreas onde os parâmetros analisados apresentaram simultaneamente elevados valores de pertinência. Esse comportamento resultou em uma delimitação espacial mais concentrada das áreas classificadas como de maior vulnerabilidade.

Figura 13 - Mapa de Qualidade Ambiental



Fonte: ARSAND, HARTWIG & DOMBKOWITSCH, 2026

O mapa de qualidade ambiental (Figura 13), elaborado pelo método AHP, integra os diferentes parâmetros analisados e fornece uma visão espacial da sensibilidade ambiental da área de estudo. Observa-se predominância da classe "Baixa" (85,15%), seguida pela classe "Muito Baixa" (13,75%) e por pequenas áreas classificadas como "Média" (1,08%), não sendo identificadas áreas enquadradas nas classes "Alta" ou "Muito Alta". Esses resultados indicam que, de forma geral, a qualidade das águas subterrâneas apresenta condições relativamente favoráveis, embora existam áreas pontuais com maior vulnerabilidade ambiental.

A distribuição espacial dessas áreas evidencia que os setores classificados como de maior sensibilidade concentram-se principalmente nas regiões urbanizadas, especialmente no Balneário Cassino e em parte da região central do município, onde ocorre maior densidade populacional e maior pressão antrópica decorrente da ocupação urbana. Nesses locais também se observa a ocorrência dos maiores valores de coliformes termotolerantes, DBO, DQO e nutrientes, indicando que a ocupação urbana e a deficiência da cobertura do sistema de esgotamento sanitário exercem influência significativa sobre a qualidade das águas subterrâneas.

A análise integrada da infraestrutura de saneamento demonstra que as Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) do município encontram-se localizadas predominantemente nas regiões do Parque Marinha e Cassino. Destaca-se que a ETE Molhes, responsável pelo tratamento dos efluentes do Balneário Cassino, realiza a disposição final do efluente tratado no solo. Considerando as características hidrogeológicas locais, marcadas por solos predominantemente arenosos, elevada permeabilidade e aquífero raso, essa forma de disposição requer monitoramento contínuo para avaliar seus possíveis efeitos sobre a qualidade das águas subterrâneas ao longo do tempo. Ressalta-se, entretanto, que os resultados obtidos neste estudo não permitem estabelecer relação direta entre a operação da ETE e os padrões observados no mapa de qualidade ambiental, sendo necessária a realização de investigações específicas para essa finalidade.

Por outro lado, verifica-se que a simples presença da infraestrutura de coleta e tratamento de esgoto não garante, isoladamente, melhores condições ambientais. Isso ocorre porque parte significativa do município ainda não é atendida pela rede coletora, persistindo a utilização de sistemas individuais de tratamento, além da possibilidade de ligações irregulares e perdas ao longo do sistema. Assim, a expansão da cobertura da rede de esgotamento sanitário, associada ao monitoramento

permanente das ETEs e de suas áreas de influência, constitui medida essencial para a proteção dos aquíferos do município.

Além dos fatores antrópicos, a distribuição espacial observada também reflete a influência das características naturais da região, como o relevo plano, a dinâmica do fluxo subterrâneo e a elevada permeabilidade dos solos, que favorecem a infiltração e o transporte de contaminantes. Em síntese, os resultados indicam que a qualidade ambiental das águas subterrâneas em Rio Grande é condicionada pela interação entre as características hidrogeológicas locais, o uso e ocupação do solo e a infraestrutura de saneamento existente, permitindo identificar áreas prioritárias para ações de monitoramento, gestão ambiental e planejamento da expansão do sistema de esgotamento sanitário.

7 PROPOSTAS DE INTERVENÇÃO E MELHORIAS

Com base nos resultados obtidos, especialmente na predominância de áreas classificadas como de baixo risco ambiental, bem como na influência do uso e ocupação do solo e da infraestrutura de saneamento na distribuição dos contaminantes, são propostas as seguintes ações estruturadas como base para um plano de ação.

7.1 Ampliação da rede de monitoramento ambiental

Embora a distribuição dos pontos de monitoramento esteja associada à localização dos empreendimentos licenciados, observa-se a necessidade de ampliação e fortalecimento do banco de dados de ensaios, especialmente nas regiões do distrito industrial e nas áreas centrais do município, a fim de garantir maior representatividade espacial das análises.

Recomenda-se a ampliação da rede de monitoramento em setores de convergência hídrica, áreas urbanizadas com maior densidade de ocupação e regiões atualmente sub-representadas na base amostral. A medida visa reduzir incertezas espaciais e aumentar a robustez dos mapas interpretativos. Como resultado esperado, projeta-se maior precisão na identificação de áreas críticas e melhor capacidade institucional de resposta preventiva.

Nesse sentido, a implantação de poços de monitoramento pela própria Secretaria de Município de Meio Ambiente (SMMA) pode contribuir significativamente para o aprimoramento do monitoramento ambiental. Ainda que a gestão das águas subterrâneas não seja uma atribuição do município, recomenda-se a atuação integrada com a Secretaria Estadual do Meio Ambiente, considerando que os indicadores de qualidade da água subterrânea constituem parâmetros essenciais para a avaliação da sensibilidade ambiental.

7.2 Expansão da rede de esgotamento sanitário

Atualmente, o município apresenta cobertura de rede coletora e tratamento de esgoto entre aproximadamente 30% e 40%, valor significativamente inferior ao estabelecido pelo Novo Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026/2020), que prevê a universalização do serviço, com meta de 90% até 2033. Nesse contexto, a combinação entre cobertura insuficiente do sistema, ocupação consolidada e alta permeabilidade do meio físico torna prioritária a integração entre planejamento

territorial e planejamento sanitário. A ampliação da rede, associada a estratégias de incentivo à conexão regular dos domicílios e ao acompanhamento das áreas de influência das estações de tratamento, constitui medida estruturante para proteção de longo prazo das águas subterrâneas.

7.3 Fiscalização de fontes de contaminação

A intensificação da fiscalização de fontes de contaminação é fundamental para a redução do risco ambiental na área de estudo. Considerando a influência de efluentes domésticos, recomenda-se o controle dos sistemas individuais de esgoto, como fossas e sumidouros, além da identificação de ligações irregulares.

Propõe-se a realização de inspeções em áreas de médio risco, com verificação da conformidade às normas técnicas e adoção de medidas corretivas quando necessário. Essa ação contribui diretamente para a diminuição da infiltração de efluentes e, conseqüentemente, para a redução do risco ambiental associado ao aquífero.

7.4 Proteção de áreas ambientalmente sensíveis

A proteção de áreas ambientalmente sensíveis é essencial para minimizar o risco ambiental e preservar os recursos hídricos subterrâneos. Regiões com solos arenosos e alta permeabilidade, associadas à ocupação urbana, apresentam maior vulnerabilidade à contaminação.

Dessa forma, recomenda-se a delimitação de áreas prioritárias para proteção, com restrições ao uso do solo e incentivo à cobertura vegetal (setores classificados como mais sensíveis ou marcados pela presença de indicadores compatíveis com influência antrópica, especialmente coliformes termotolerantes, matéria orgânica e nutrientes). Essas medidas contribuem para evitar a degradação ambiental e garantir maior estabilidade do sistema aquífero.

Essa fiscalização deve contemplar sistemas individuais de tratamento, possíveis ligações irregulares, áreas de disposição inadequada de efluentes e empreendimentos com potencial de interferência sobre a qualidade do aquífero. A adoção dessa medida tende a reduzir o risco de contaminação pontual e a fortalecer a capacidade corretiva do município.

8. LIMITAÇÕES DO PRODUTO

Este produto deve ser interpretado à luz de algumas limitações metodológicas. A base analítica integra dados obtidos em períodos distintos, o que favorece leitura diagnóstica média, mas não permite inferência temporal ou sazonal.

A distribuição dos pontos de monitoramento não é homogênea em todo o território, o que introduz incertezas inerentes ao processo de interpolação espacial.

Além disso, a classificação de uso e ocupação do solo não foi validada em campo, e os pesos atribuídos à análise multicritério dependem de pressupostos analíticos que devem ser revisados em futuras atualizações.

Tais limitações, contudo, não invalidam a utilidade do produto para apoio à decisão, apenas delimitam seu escopo interpretativo.

9. CONCLUSÃO TÉCNICA

Os resultados apresentados por este RTC oferecem suporte técnico à gestão ambiental municipal por meio de um diagnóstico integrado da qualidade das águas subterrâneas e da priorização espacial de áreas sensíveis no município de Rio Grande/RS e permitem concluir que:

- é necessária a **ampliação da rede de monitoramento** em setores de convergência hídrica, áreas urbanizadas com maior densidade de ocupação e regiões atualmente sub-representadas na base amostral;
- é necessária a **ampliação da rede coletora**, associada a estratégias de incentivo à **conexão regular** dos domicílios e ao acompanhamento das áreas de influência das estações de tratamento;
- é necessária a **intensificação da fiscalização** de fontes de contaminação; e
- é necessária a **delimitação de áreas prioritárias** para proteção, com restrições ao uso do solo e incentivo à cobertura vegetal.

Equipe técnica:

- 1) _____
Joana Jones Dombkowitsch – Engenheira Civil
- 2) _____
Daniel Ricardo Arsand – Químico Industrial
- 3) _____
Marcelo Peske Hartwig – Engenheiro Agrícola

Data: Pelotas, 27.07.2026.

Relatório Técnico Conclusivo embasado nos resultados obtidos em trabalho desenvolvido no Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciências Ambientais (PPGECA) do IFSul, em 2026.

8 REFERÊNCIAS

Arsand, Daniel Ricardo **Vulnerabilidade das águas subterrâneas no município de Rio Grande/RS: integração de parâmetros de saneamento e uso de solo por meio de mapas de sensibilidade e método AHP [livro eletrônico]** / Daniel Ricardo Arsand, Marcelo Peske Hartwig, Joana Jones Dombkowitsch. -- 1. ed. -- Pelotas, RS : Ed. dos Autores, 2026. ISBN 978-65-02-27737-9

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15495-1:2024: Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares — Parte 1: Requisitos de projeto e construção. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008.** Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. *Diário Oficial da União*: Brasília, DF, 7 abr. 2008.

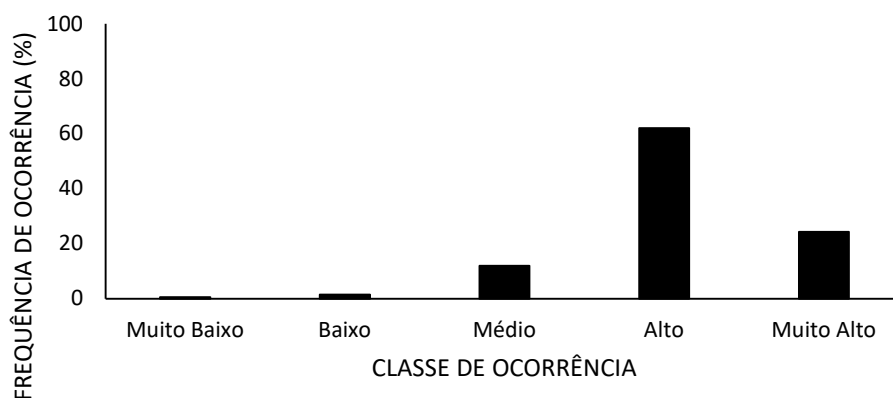
BRASIL. Ministério das Cidades. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS.** Disponível em: <http://www.snis.gov.br>. Acesso em: 01 set. 2025.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados: Rio Grande – RS.** Rio de Janeiro, 2024.

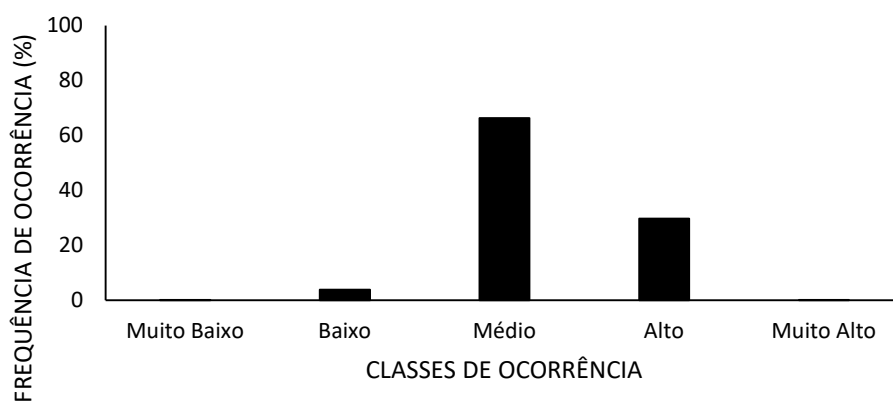
APENDICE A

HISTOGRAMAS DE OCORRÊNCIA DOS PARÂMETROS

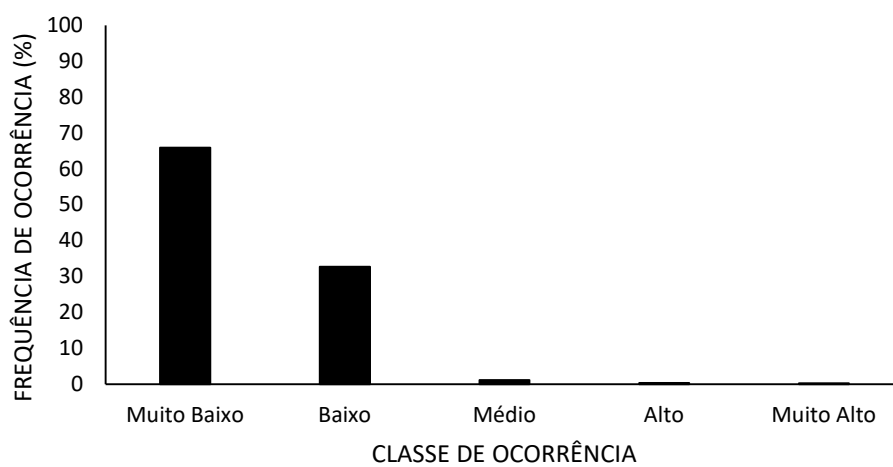
ÓLEOS E GRAXAS TOTAIS



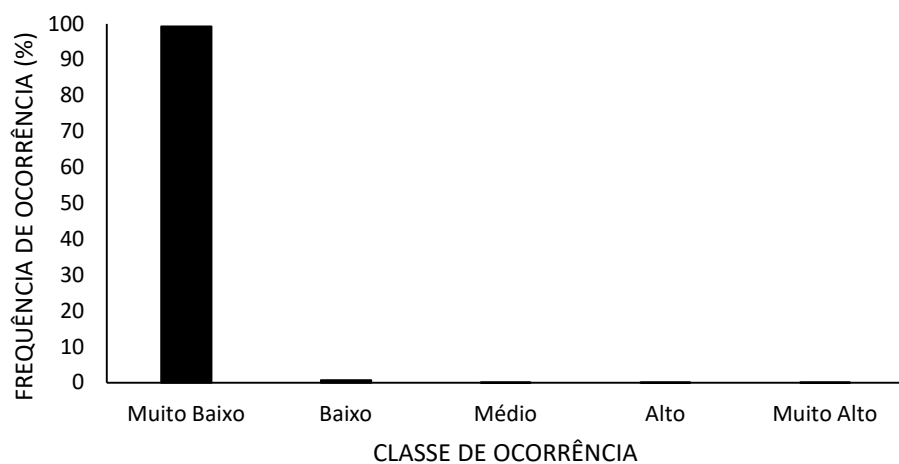
pH



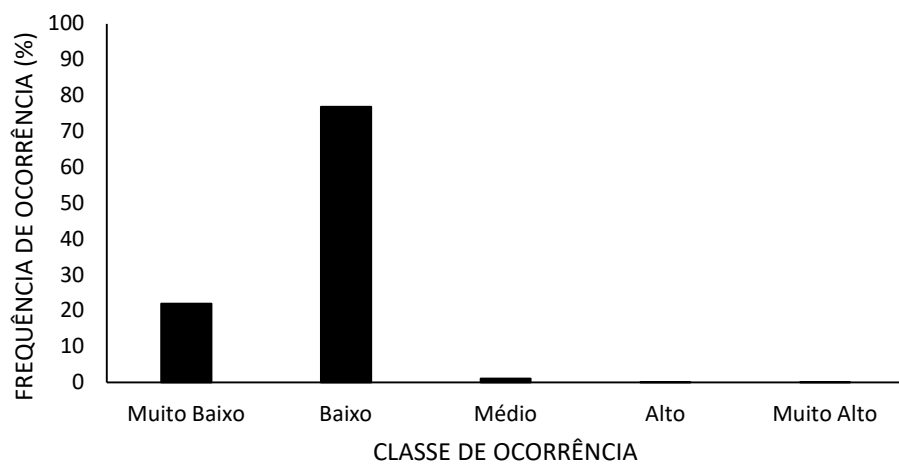
COLIFÓRMES TOTAIS



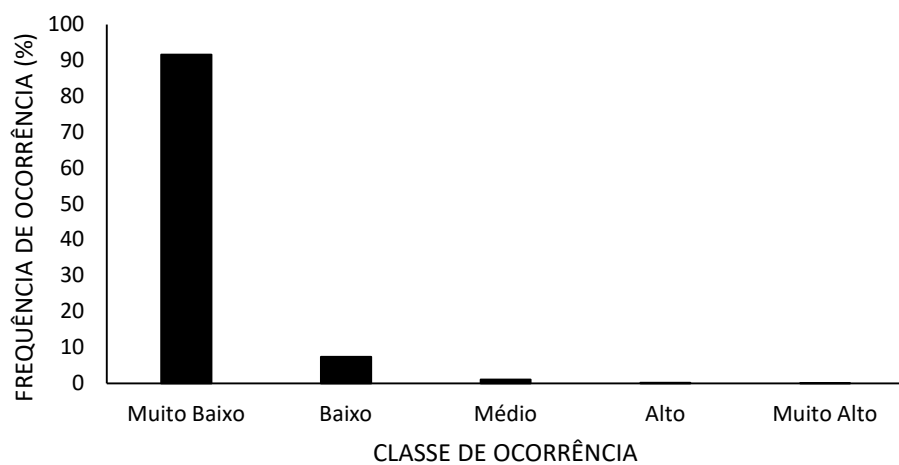
ALUMÍNIO



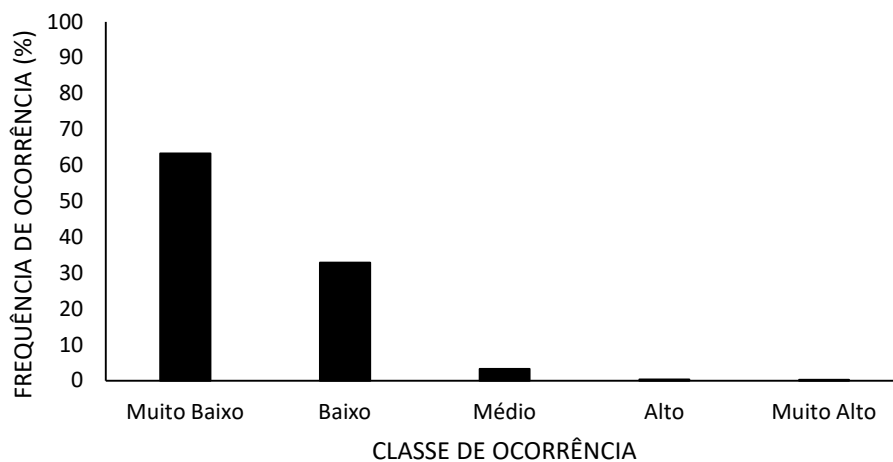
OXIGÊNIO DISSOLVIDO



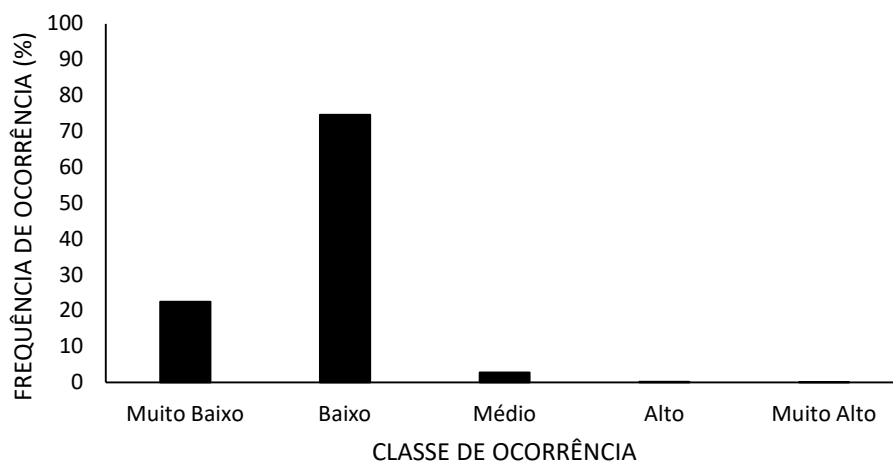
FÓSFORO



NITROGÊNIO TOTAL



DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)



DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGÊNIO (DBO)

