

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

MARIA EDUARDA DE OLIVEIRA

**ANÁLISE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO EM
ZONAS RURAIS E URBANAS DO MUNICÍPIO DE CERRO LARGO/RS**

CERRO LARGO – RS

2021

MARIA EDUARDA DE OLIVEIRA

**ANÁLISE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO EM
ZONAS RURAIS E URBANAS DO MUNICÍPIO DE CERRO LARGO/RS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para a obtenção de grau de
Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da
Universidade Federal da Fronteira Sul.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Alcione Aparecida de Almeida Alves

Coorientadora: Prof^ª. Dra. Liziara da Costa Cabrera

CERRO LARGO – RS

2021

FICHA DE IDENTIFICAÇÃO DA OBRA

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Oliveira, Maria Eduarda de
ANÁLISE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS DE ABASTECIMENTO
PÚBLICO EM ZONAS RURAIS E URBANAS DO MUNICÍPIO DE CERRO
LARGO/RS / Maria Eduarda de Oliveira. -- 2021.
95 f.

Orientadora: Dra. Alcione Aparecida de Almeida Alves
Co-orientadora: Dra. Liziara da Costa Cabrera
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária, Cerro
Largo, RS, 2021.

1. Água de consumo humano. I. Alves, Alcione
Aparecida de Almeida, orient. II. Cabrera, Liziara da
Costa, co-orient. III. Universidade Federal da Fronteira
Sul. IV. Título.

Elaborada pelo sistema de Geração Automática de Ficha de Identificação da Obra pela UFFS
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

MARIA EDUARDA DE OLIVEIRA

**ANÁLISE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO EM
ZONAS RURAIS E URBANAS DO MUNICÍPIO DE CERRO LARGO/RS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para a obtenção de grau de
Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da
Universidade Federal da Fronteira.

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em:

16/10/2021

BANCA EXAMINADORA



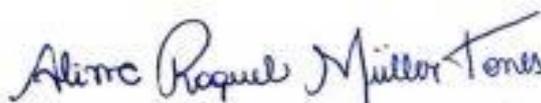
Prof^ª. Dra. Alcione Aparecida de Almeida Alves – UFFS

Orientadora



Prof^ª. Dra. Liziara da Costa Cabrera - UFFS

Coorientadora



Prof^ª. Aline Raquel Müller Tones

Avaliadora

Dedico este trabalho a todo o curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus* Cerro Largo/RS, corpo docente e discente, a quem fico lisonjeada por dele ter feito parte.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por cada dia.

À minha família, por sempre me apoiar e torcer por mim.

À Prof. Dra. Alcione Aparecida de Almeida Alves, pela orientação, incentivo e ajuda em todas as etapas deste trabalho.

À coorientadora Prof. Dra. Liziara da Costa Cabrera, por toda ajuda na pesquisa.

À equipe dos Laboratórios do Campus Cerro Largo da Universidade Federal da Fronteira Sul, pelo auxílio durante a pesquisa.

Às colegas de laboratório, Júlia Villela Toledo Ferreira, Letícia Slodkowski e Rafaela Morelato, pelo auxílio na pesquisa e compartilhamento de conhecimento.

Em especial às minhas amigas Eduarda Riechel e Thanity Kauffmann, por sempre estarem do meu lado, me incentivando e me ajudando de diversas formas.

À Engenheira Ambiental e Sanitarista Jaíne Gabriela Frank, pela ajuda na confecção de mapas.

À Universidade Federal da Fronteira Sul e a todos os professores do meu curso pela elevada qualidade do ensino oferecido.

Ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento da pesquisa conforme CHAMADA UNIVERSAL MCTIC/CNPq nº 28/2018 referente ao projeto – Reator de leito fixo com energia solar fotovoltaica empregado na remoção de agrotóxicos da água de abastecimento público na área rural.

RESUMO

Os recursos hídricos estão sujeitos a processos de degradação devido ao lançamento de substâncias químicas provenientes de efluentes domésticos, industriais e de produção agrícola, os quais provocam modificações do estado físico, químico e biológico das águas, impactando negativamente na qualidade das águas para seus múltiplos usos, em especial para a destinação mais nobre, o abastecimento público. Neste sentido, o objetivo deste estudo foi analisar a qualidade de água subterrânea referente a parâmetros físico-químicos, microbiológicos e de resíduos de agrotóxicos em dez pontos (denominados P₁ a P₁₀), de amostragem de abastecimento público no meio rural e urbano de um município localizado na Região das Missões do estado do Rio Grande do Sul. Para tanto, fez-se a coleta amostral de água subterrânea em residências (zona urbana) e nos poços de abastecimento (zona rural) localizados no município, tendo como critério de escolha dos pontos, aqueles poços de abastecimento que atendessem a maior população. Para tanto, avaliou-se a qualidade da água considerando os parâmetros absorvância UV λ -254 nm, condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$), oxigênio dissolvido (OD) (mg L^{-1}), sólidos sedimentáveis (mL L^{-1}), e os estabelecidos na Portaria de Consolidação n° 5/2017 e Portaria n° 888/2021 do MS, tais como, coliformes totais (presença/ausência), coliformes *Escherichia coli* (presença/ausência), cor aparente (uH), cloro residual livre (ppm), nitrato (mg L^{-1}), potencial hidrogeniônico (pH), temperatura (°C) e turbidez (uT), e por meio da Cromatografia Líquida de Alta Eficiência acoplada a Espectrometria de Massa (CLAE-EM) foram determinados 26 compostos agrotóxicos, sendo esses: atrazina, azoxistrobina, bentazona, ciproconazol, difenoconazol, clomazona, epoxiconazol, imazetapir, imidacloprido, fipronil, malationa, pirimicarbe, propiconazol, simazina, imazapique, carbofurano, tebuconazol, piraclostrobina, 2,4-D, metsulfurom-metílico, penoxlam, pirazussulfurom-etílico, profenofós, propanil, tiametoxam e trifloxistrobina. Os resultados referentes aos parâmetros físico-químicos, exceto o cloro residual livre que obteve resultado satisfatório em apenas um ponto amostral (P₄) localizado na zona urbana, apresentaram consonância, quando pertinente, com as Portaria n° 5/2017 e n° 888/2021, ambas do Ministério da Saúde. Em relação aos parâmetros microbiológicos, somente no P₁₀ (zona rural) identificou-se a presença de *E. coli*. No tocante à determinação de compostos agrotóxicos, foram detectados acima do Limite de Quantificação do método (LQm), a atrazina na estação verão. Por fim, embora presente, o agrotóxico quantificado não apresentou valores acima do VMP estabelecido pela Portaria de Consolidação n° 5/2017 e Portaria n° 888/2021 do Ministério da Saúde (MS).

Palavras-chave: Recurso hídrico. Potabilidade. Saúde pública. Agrotóxicos.

ABSTRACT

Water resources are subject to degradation processes due to the release of chemical substances from domestic, industrial and agricultural production effluents, which cause changes in the physical, chemical and biological state of water, negatively impacting the quality of water for its multiple uses, especially for the noblest destination, public supply. In this sense, the aim of this study was to analyze the quality of groundwater regarding physical-chemical, microbiological and multi-residue pesticides in ten points (called P₁ to P₁₀), sampling public supply in rural and urban areas of a municipality located in the Missions Region of the state of Rio Grande do Sul. For this purpose, groundwater sampling was carried out in homes (urban area) and in supply wells (rural area) located in the city, using the criterion of choice of points, those that supply wells that served the largest population in rural and urban areas. Therefore, the water quality was evaluated considering the parameters UV absorbance λ -254 nm, electrical conductivity ($\mu\text{S cm}^{-1}$), dissolved oxygen (OD) (mg L^{-1}), sedimentable solids (mL L^{-1}), and those established in Consolidation Ordinance n° 5/2017 and Ordinance n° 888/2021 of the MS, such as total coliforms (presence/absence), *Escherichia coli* coliforms (presence/absence), apparent color (uH), residual chlorine free (ppm), nitrate (mg L^{-1}), hydrogenic potential (pH), temperature ($^{\circ}\text{C}$) and turbidity (uT), and by means of High Performance Liquid Chromatography coupled to Mass Spectrometry (HPLC-MS) were determined 26 pesticide compounds, namely: atrazine, azoxystrobin, bentazone, cyproconazole, difenoconazole, clomazone, epoxiconazole, imazethapyr, imidacloprid, fipronil, malathion, pirimicarb, propiconazole, simazine, imazapique, carbofuran, tebuconazole, pyriconazole, metsulfuron-methyl, penoxlam, pyrazusulfuron-ethyl, profenophos, propanil, thiamethoxam and trifloxystrobin. The results regarding the physical-chemical parameters, except for free residual chlorine, which obtained a satisfactory result in only one sampling point (P₄) located in the urban area, were in line, when relevant, with Ordinance n° 5/2017 and n° 888/2021, both from the Ministry of Health. Regarding microbiological parameters, only in P10 (rural area) the presence of *E. coli* was identified. Regarding the determination of pesticide compounds, atrazine was detected above the Quantification Limit of the method (LQm), in the summer season. Finally, although present, the quantified pesticide did not present values above the VMP established by Consolidation Ordinance n° 5/2017 and Ordinance n° 888/2021 of the Ministry of Health (MS).

Keywords: Water resource. Potability. Public health. Agrotoxic.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa ilustrativo dos principais aquíferos do país.	24
Figura 2 - Distribuição de poços subterrâneos no Rio Grande do Sul.	26
Figura 3 - Principais fontes de contaminação de águas subterrâneas.....	30
Figura 4 - Mapa de localização do município de Cerro Largo/ RS.	47
Figura 5 - Mapa de localização dos pontos de coleta, Cerro Largo/ RS.	48
Figura 6 - Pontos de coleta na zona urbana.	49
Figura 7 - Pontos de coleta na zona rural.	50
Figura 8 - Processo de preparo das amostras.....	55
Figura 9 - Cromatógrafo Líquido de Alta Eficiência acoplado a Espectrômetro de Massas (CLAE-EM).....	56
Figura 10 - Análise de Coliformes totais e Escherichia coli nas amostras de água subterrânea da zona rural e urbana do município de Cerro Largo/RS.	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação dos VMP dos agrotóxicos e metabólicos regulamentados pelas Portaria de Consolidação nº 05/2017 e Portaria nº 888/2021 do MS, e Portaria RS/SES nº 320/2014 com diferentes normatizações mundiais.....	43
Tabela 2 -VMP de agrotóxicos estabelecidos pela Portaria nº 320/2014 do RS.....	44
Tabela 3 - Gradiente de eluição da fase móvel.....	56
Tabela 4 - Absorvância (λ -254 nm) das amostras de água subterrânea do meio rural e urbano.	60
Tabela 5 - Cloro residual livre das amostras de água subterrânea do meio rural e urbano.	62
Tabela 6 - Condutividade elétrica das amostras de água do meio rural e urbano.	63
Tabela 7 - Nitrato nas amostras de água subterrânea do meio rural e urbano.	65
Tabela 8 – Resultados de OD das amostras de água subterrânea do meio rural e urbano.	66
Tabela 9 - Valor de pH das amostras de água subterrânea do meio rural e urbano.	67
Tabela 10 - Sólidos sedimentáveis nas amostras de água subterrânea do meio rural e urbano.	68
Tabela 11 - Temperatura das amostras de água subterrânea do município de Cerro Largo/RS.	69
Tabela 12 - Determinação de agrotóxicos nas amostras de água subterrânea dos pontos do município de Cerro Largo/RS.....	73
Tabela 13 - Comparação das concentrações de agrotóxicos encontradas nas águas subterrâneas de Cerro Largo/RS do mês de janeiro, na legislação estadual, nacional e mundial, 2021.	75
Tabela 17 - Parâmetros físico-químicos e microbiológicos de águas subterrâneas da cidade de Cerro Largo/RS.	95

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Ponto e local de coleta das amostras de água subterrânea por zona.	49
Quadro 2 - Metodologias e equipamentos utilizados para análise dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos.....	52
Quadro 3 - Características dos agrotóxicos em estudo.....	53
Quadro 4 - Coliformes totais e Escherichia coli nas amostras de água subterrânea do meio rural e urbano.....	58

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional das Águas
APHA	<i>American Public Health Association</i>
ATSDR	International Agency for Research on Cancer Agency for Toxic Substances and Disease Registry
CEVS/SES	Centro Estadual de Vigilância em Saúde da Secretaria da Saúde
CORSAN	Companhia Riograndense de Saneamento
CRL	Cloro Residual Livre
C18-ec	Sílica modificada com hidrocarboneto linear C18, octadecilsilano, com grupos silanos desativados (<i>ec- end capped</i>)
EUA	Estados Unidos da América
ESI	Ionização por Electrospray
ETA	Estação de Tratamento de Água
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental
HPCL	<i>High performance liquid chromatography</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMETRO	Instituto Nacional de Meteorologia, Qualidade e Tecnologia
IQA	Índices de Qualidade da Água
IQAS	Índice de Qualidade da Água Subterrânea
IQNAS	Índice de Qualidade Natural de Água Subterrânea
IQUAS	Índice de Qualidade de Uso da Água Subterrânea
LD	Limite de Detecção
LQ	Limite de Quantificação
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MOD	Matéria Orgânica Dissolvida
MS	Ministério da Saúde
NBR	Norma Brasileira
ND	Não detectado
NSF	National Sanitation Foundation
OD	Oxigênio Dissolvido
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas

pH	Potencial Hidrogeniônico
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra em Domicílios
PTFE	Polímero Politetrafluoretileno
RS	Rio Grande do Sul
SAG	Sistema Aquífero Guarani
SASG	Sistema Aquífero Serra Geral
SEMA	Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Infraestrutura
SIAGAS	Sistemas de Informações de Águas Subterrâneas
SPE	<i>Solid Phase Extraction</i>
SUS	Sistema Único de Saúde
UE	União Europeia
UFFS	Universidade Federal da Fronteira Sul
USEPA	United State Environmental Protection Agency
VMP	Valor máximo permitido
WQI	Water Quality Index

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	OBJETIVOS.....	18
1.1.1	Objetivo Geral	18
1.1.2	Objetivos Específicos	18
1.2	JUSTIFICATIVA.....	19
2	REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1	ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	21
2.1.1	Qualidade das águas subterrâneas	25
2.1.2	Contaminação das águas subterrâneas	29
2.1.3	Contaminação das águas subterrâneas por compostos agrotóxicos	32
2.2	POTABILIZAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA PARA O ABASTECIMENTO PÚBLICO 35	
2.2.1	Alguns dos principais processos utilizados no tratamento de águas subterrâneas para o abastecimento público	36
2.2.1.1	Potabilização da água subterrânea no meio urbano	37
2.2.1.2	Potabilização da água subterrânea no meio rural	39
2.3	LEGISLAÇÃO APLICÁVEL À POTABILIZAÇÃO DA ÁGUA.....	40
3	MATERIAIS E MÉTODOS	46
3.1	TIPO DE ESTUDO	46
3.2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	46
3.3	PONTOS DE AMOSTRAGEM.....	47
3.4	PROCEDIMENTO DE COLETA E PRESERVAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	50
3.4.1	Limpeza das vidrarias	51
3.5	ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS	51
3.6	MÉTODO ANALÍTICO PARA DETERMINAÇÃO DE AGROTÓXICOS EM ÁGUA.....	52
3.6.1	Características dos agrotóxicos em estudo	52
3.6.2	Preparo das amostras	53

3.6.3	Condições cromatográficas do sistema HPCL-MS.....	55
3.6.4	Validação do método.....	57
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	58
4.1	ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS	58
4.1.1	Presença/ausência de Coliformes totais e <i>Escherichia coli</i>	58
4.1.2	Absorvância λ - 254 mm	60
4.1.3	Cloro Residual Livre.....	62
4.1.4	Condutividade elétrica.....	63
4.1.5	Cor aparente	64
4.1.6	Nitrato	65
4.1.7	Oxigênio Dissolvido.....	66
4.1.8	pH.....	67
4.1.9	Sólidos Sedimentáveis	68
4.1.10	Temperatura	69
4.1.11	Turbidez	70
4.2	DETERMINAÇÃO DE RESÍDUOS DE AGROTÓXICOS	72
5	CONCLUSÃO	77
	REFERÊNCIAS	79
	ANEXO A – RESULTADO DAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS	95

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural essencial para a sobrevivência de todo e qualquer tipo de vida no planeta, assim como, é um componente fundamental para o desenvolvimento de economias nacionais e locais. É um bem precioso, visto que, a cada ano torna-se mais difícil encontrá-la em condições próprias para consumo e utilização humana, isso se dá devido a carência e falhas de gestão de recursos hídricos, juntamente com os serviços de saneamento inadequados. Estima-se que a Terra possui um volume total de água de cerca de 1,35 milhões de quilômetros cúbicos. Dentre este volume, 97,5% é água salgada encontrada em oceanos e mares, 1,979% é água doce que está em geleiras, 0,514% está em regiões subterrâneas (aquíferos) e apenas 0,007% é água doce encontrada em rios, lagos e na atmosfera (BOSCARDIN BORGHETTI, BORGHETTI, DA ROSA FILHO, 2004).

No Brasil, as condições climáticas e geológicas permitiram a formação de sistemas aquíferos, alguns deles de extensão regional, com potencial para suprir água em quantidade e qualidade necessárias às mais diversas atividades (ZOBY, 2008). De forma geral, os aquíferos do país apresentam de excelente à boa, quando considerada a qualidade natural de suas águas em quase todo o território. Fato este que, torna parte dos mananciais subterrâneos além de uma das mais importantes reservas para o suprimento de água, um recurso que por vezes necessita de processos simplificados de tratamento para o seu consumo, e em muitos casos apenas desinfecção, devido ao processo de filtragem natural do subsolo (SILVA *et al.*, 2017), ao contrário de águas superficiais que, em geral, necessitam de tratamento convencional para potabilização (HOLLAS, 2015). Porém, cabe destacar que, os mananciais não estão livres dos impactos negativos da atividade antrópica, biológica ou natural entre rocha e água que afetam diretamente a qualidade da água (SILVA, BARBOSA; SILVA, 2018).

De acordo com Mertem *et al.* (2002), a água utilizada para abastecimento público pode ser afetada por diferentes fontes de poluição, como efluentes doméstico e industrial e escoamento superficial urbano e agrícola. Os recursos hídricos subterrâneos são, no entanto, cada vez mais ameaçados pelos produtos químicos usados para atender às demandas de atividades agrícolas (LOPEZ *et al.*, 2015). Aproximadamente 1% dos produtos agroquímicos utilizados no campo não atingem os seus objetivos específicos. Os 99% restantes podem se mover através dos diferentes compartimentos ambientais causando efeitos indiretos sobre organismos não-alvo expostos a esses contaminantes (DORNELLES; OLIVEIRA, 2015).

Diante do conhecimento dos efeitos tóxicos de inúmeras substâncias químicas e dos riscos potenciais da exposição à essas substâncias por meio da ingestão da água, a preocupação com a qualidade das águas de abastecimento público tem aumentado significativamente nos últimos anos (NETO; SARCINELLI, 2009). Dessa forma, o controle da qualidade da água tem se tornado cada vez mais, indispensável para fins de abastecimento público, sendo assim, no Brasil a potabilidade da água está elencada na Portaria de Consolidação nº 5/2017 e Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde (MS), as quais trazem valores máximos permitidos para parâmetros físico-químicos, microbiológicos e de 40 compostos agrotóxicos.

Diante à preocupação com a qualidade da água de abastecimento, em virtude das possíveis contaminações da mesma, com destaque para o uso intensivo, extensivo e usualmente indiscriminado de agrotóxicos, que resulta na presença destes em água de abastecimento público, realizou-se o presente estudo a fim de avaliar a potabilidade da água subterrânea utilizada para abastecimento público no meio urbano e rural do município de Cerro Largo, localizado na Região das Missões, Rio Grande do Sul (RS).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral analisar a qualidade de água subterrânea considerando parâmetros físico-químicos, microbiológicos e resíduos de agrotóxicos em dez pontos de amostragem de abastecimento público no meio rural e urbano do município de Cerro Largo/RS.

1.1.2 Objetivos Específicos

- ✓ Analisar parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água de abastecimento público nos em poços de abastecimento de água subterrânea P₁ a P₅ no meio urbano e P₆ a P₁₀ no meio rural.
- ✓ Determinar resíduos de 26 agrotóxicos nas águas subterrâneas destinadas ao abastecimento público no meio rural e urbano do município em estudo, por meio de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência acoplada à Espectrometria de Massas.
- ✓ Avaliar se os resultados obtidos estão em conformidade com os VMP estabelecidos na Portaria de Consolidação nº 05/2017 e na Portaria nº 888/2021, ambas do MS, que dispõe sobre o padrão de potabilidade da água.

1.2 JUSTIFICATIVA

A água é um bem essencial que garante saúde à população, sendo considerada uma prioridade das ações da vigilância em saúde ambiental no Brasil (BARCELLOS; QUITÉRIO, 2006). Segundo a Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas (ONU), o acesso à água potável e ao saneamento básico, são direitos humanos essenciais, fundamentais e universais, indispensáveis à vida com dignidade, cujo direito ao acesso foi reconhecido como “condição essencial para o gozo pleno da vida e dos demais direitos humanos” (ONU, 2019).

Entretanto, padrões de desenvolvimento não sustentáveis vêm favorecendo a degradação ambiental, devido às alterações significativas no meio natural e a destruição de diversos ecossistemas (dentre os quais se destacam os aquáticos), que levam a mudanças nos padrões de distribuição de doenças e nas condições de saúde dos diferentes grupos populacionais (SOUZA; GASTALDINI, 2014).

A principal referência legal no Brasil é a Constituição Federal de 1988, na qual estabelece que toda a população tem direito de usufruir de um meio ambiente ecologicamente equilibrado, vinculando este a manutenção da qualidade de vida do ser humano (BRASIL, 1988). E atribui ao Sistema Único de Saúde (SUS), em seu Artigo 200, a competência de fiscalização e inspeção de água para consumo humano, além da participação na formulação da política e da execução das ações de saneamento básico, entre outras atribuições, garantindo o direito à saúde da população.

No ano de 1977 foi atribuída ao Ministério da Saúde a competência para elaborar normas e padrões de potabilidade da água para consumo humano. Assim, a Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano foi a primeira área de atuação da vigilância em saúde ambiental no Brasil (BRASIL, 2009). A vigilância da qualidade da água para consumo humano atua sobre as diferentes formas de seu abastecimento, as quais podem apresentar características bastante variadas, seja em relação a sua distribuição, fornecimento, manancial de captação e pela forma de tratamento empregada. Neste sentido, o monitoramento da qualidade da água é um importante instrumento de verificação da sua potabilidade para consumo humano, conforme padrão estabelecido na legislação (DANIEL; CABRAL, 2011).

No entanto, a qualidade e a quantidade de água utilizada para fins de abastecimento público estão cada vez mais comprometidas, até mesmo as subterrâneas que possuem como proteção a barreira do solo estão mais vulneráveis aos poluentes ambientais provenientes de fontes antropogênicas como utilização de agrotóxicos, efluentes domésticos e industriais (FREITAS; BRILHANTE; ALMEIDA, 2001; COLVARA; LIMA; SILVA, 2009).

No Brasil, e em especial na Região das Missões/ RS, emprega-se o sistema de tratamento convencional para a potabilização da água de abastecimento público, o qual contempla as etapas de clarificação, filtração e desinfecção, entretanto, tal tratamento é considerado insuficiente para remoção de resíduos de agrotóxicos de modo que atinja os limites mínimos para ser considerado potável e assim evitar malefícios à saúde humana (GOMES *et al.*; BRITO *et al.*, 2001; MARQUES, 2005; VEIGA *et al.*, 2006). Contudo, geralmente no meio rural, e em alguns casos no meio urbano, sequer há o tratamento simplificado, e comumente a água é servida à população sem passar por qualquer tratamento prévio, como é o caso de algumas comunidades da Região das Missões (SILVA, 2016).

Ainda, a Região das Missões, onde se localiza a água em estudo, apresenta elevado consumo de agrotóxicos em relação à média estadual e nacional, que parte dos agrotóxicos empregados nas culturas desta região são persistentes no meio ambiente, cujo compartimento mais afetado são os recursos hídricos (PALMA; LOURENCETTI, 2011). Nesse sentido, este estudo justifica-se pela relevância da potabilidade da água servida a população na área urbana e rural, do conhecimento acerca da presença de resíduos de agrotóxicos, pois a região em estudo é essencialmente agrícola e distintas matrizes ambientais podem ser impactadas por tais compostos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste item estão descritos os mais importantes conceitos, justificativas e características sobre o assunto abordado do ponto de vista da análise feita por outros autores.

2.1 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

As águas subterrâneas são formadas pelo excedente das águas de chuvas que percorrem camadas abaixo da superfície do solo e preenchem os espaços vazios entre as rochas permeáveis (ígneas, sedimentar e metamórfica) (BORGHETTI, 2004; ANA, 2017). Esta permanece no solo, fluindo de forma lenta até descarregar em corpos de água de superfície, ser interceptada por raízes de plantas ou ser extraída em poços. Tem papel essencial na manutenção da umidade do solo, do fluxo dos rios, lagos e brejos. A água subterrânea é também responsável pelo fluxo de base dos rios, sendo responsável pela sua perenização durante os períodos de estiagem (WORLD RESOURCES INSTITUTE, 1991; REBOUÇAS *et al.*, 1999).

Durante o percurso no qual a água caminha entre os poros do subsolo e das rochas, ocorre a depuração da mesma através de uma série de processos físico-químicos (troca iônica, decaimento radioativo, remoção de sólidos em suspensão, neutralização de pH em meio poroso, entre outros) e bacteriológicos (eliminação de microrganismos devido à ausência de nutrientes e oxigênio que os viabilizem) que agindo sobre a água, modificam as suas características adquiridas anteriormente, tornando-a particularmente mais adequada ao consumo humano. A composição química da água subterrânea é o resultado combinado da composição da água que percola o solo e da evolução química influenciada diretamente pelas litologias atravessadas, sendo que o teor de substâncias dissolvidas nas águas subterrâneas vai aumentando à medida que prossegue no seu movimento (BORGHETTI *et al.*, 2004; EPA, 1990).

Segundo Libânio (2010), a água subterrânea pode aparecer em duas zonas, uma é chamada de zona de aeração, que é a zona não saturada e a outra é chamada de zona saturada. A zona de aeração ou não saturada, tem seus poros parcialmente preenchidos por água e ar, enquanto que na zona de saturação os poros estão completamente preenchidos por água, dando origem aos aquíferos. A superfície que separa essas duas zonas é o lençol freático (HOLLAS, 2015).

De acordo com o relatório do Ministério do Meio Ambiente (2007), a forma como as rochas armazenam e transmitem a água subterrânea influencia diretamente na qualidade. Considerando a formação geológica, os aquíferos podem ser: granulares (porosos), fraturados

ou fissurais e cársticos (condutos). Os aquíferos porosos funcionam como esponjas, onde os espaços são deixados durante a formação das rochas sedimentares são ocupados por água. São considerados os melhores armazenadores de água (como Aquífero Guarani e São Sebastião-BA). Os aquíferos fraturados ou fissurais têm suas águas armazenadas nas fissuras resultantes do fraturamento das rochas ígneas e metamórficas que são menos permeáveis. E os aquíferos condutos são formados em rochas carbonáticas, sedimentares, ígneas ou metamórficas, sendo um tipo peculiar de aquífero fraturado, onde as fraturas, devido à dissolução do carbonato pela água, podem atingir aberturas muito grandes, criando, neste caso, verdadeiros rios subterrâneos (ZAMBONI, 2019).

Os aquíferos também são classificados como livres, confinados (artesianos), ou suspensos (SILVA; ARAÚJO, 2003). O aquífero livre também intitulado freático, é constituído por formações geológicas superficiais, totalmente aflorantes, com recarga direta, consiste em uma camada porosa e permeável na qual a água está sob condições de pressão atmosférica. O aquífero confinado, é aquele que se situa entre duas camadas de rochas impermeáveis, chamadas aquiocludes, e possui recarga indireta, através das chuvas. O aquífero suspenso é aquele que situa-se sobre uma camada de rocha impermeável, impossibilitando a comunicação deste com o lençol principal situado abaixo. Ocorre quando o depósito de água excede o nível regional do freático. Esse efeito é causado pela redução da permeabilidade do meio, que retém água descensional (TSUTIYA, 2006; HOLLAS, 2015; GUINZANE *et al.*, 2018).

A recarga dos aquíferos depende do fator pluviométrico e do equilíbrio entre a infiltração, escoamento e evaporação. Com isso, a topografia da área, os aspectos edáficos e a situação da cobertura vegetal têm papel fundamental na recarga dos aquíferos. As áreas de recarga diretas que são importantes para a manutenção da qualidade e quantidade das águas subterrâneas, geralmente estão localizadas em altos topográficos como morros, serras, e afloramentos de rochas sedimentares (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2007). A recarga dos aquíferos livres ocorre por toda superfície, já no aquífero confinado a recarga ocorre nas áreas de afloramento (áreas onde a rocha “aparece” na superfície). No entanto, o movimento das águas subterrâneas através dos poros das rochas e/ou do solo geralmente é muito baixo, da ordem de cm/dia. Essa movimentação depende das características do terreno, quanto mais poroso o terreno, maior a permeabilidade do solo e a velocidade da água subterrânea (PRESS *et al.*, 2006).

A vegetação existente nas áreas de recarga de aquífero facilita a infiltração da água e, juntamente com o solo, possibilita a filtragem parcial de impurezas que possam existir nesta água em processo de infiltração (MOTA, 1995). Isso se deve ao fato de a vegetação interferir

como facilitadora na infiltração em períodos de chuvas, determinando a diminuição do escoamento superficial (PRADO, 2005), ou seja, a vegetação acarreta um adequado ajustamento em termos de fluxo de água superficial e subterrânea. As matas ciliares também funcionam como filtros, retendo agrotóxicos, agroquímicos, poluentes e sedimentos que seriam transportados para os cursos d'água (ZAMBONI, 2019).

Além disso, a qualidade da água existente nas drenagens superficiais pode também interferir na qualidade das águas subterrâneas, pois estas, em alguns casos, são mantidas pelo abastecimento dos cursos d'água superficiais. Assim, a existência de áreas de preservação permanente, de unidades de conservação e áreas verdes em centros urbanos contribuem no processo de infiltração da água. Essa vegetação tem a capacidade de retenção de poluentes e facilita a infiltração da água para que o ciclo hidrológico se regularize, permitindo o processamento de água para os mananciais subterrâneos (TUNDISI, 2005).

Existem basicamente três maneiras de extrair água subterrânea, por meio de fontes; locais onde a água flui do solo; por meio de poços, aberturas feitas por perfurações ou escavações projetadas para alcançar a zona de saturação; e os sistemas artesianos, que são poços, onde a água está confinada entre duas camadas relativamente impermeáveis em zonas mais profundas, fazendo com que a pressão seja superior à atmosférica (WICANDES *et al.*, 2009). Quanto a susceptibilidade a contaminação, a água do aquífero confinado, tem seu processo de contaminação dificultado, uma vez que não fica próximo à superfície, ao contrário do aquífero livre, mais suscetível a contaminação devido à proximidade. Mesmo este sendo mais vulnerável, em função do baixo custo e da facilidade de perfuração, a captação de água do aquífero livre é mais frequentemente utilizado no Brasil (SILVA *et al.*, 2003).

No Brasil são encontrados diversos aquíferos, conforme apresentado na Figura 1. Entre estes, destaca-se o Aquífero Guarani, que é um dos maiores mananciais de água doce do mundo, abrangendo uma superfície de praticamente 1,2 milhões de km², localizando-se majoritariamente em território brasileiro e possui reserva de água estimada em 40 mil km³ (GIRALDI, 2013; MORAIS, 2009; PINTO-COELHO; HAVENS, 2015). Aproximadamente 29,9 milhões de habitantes residem na área de abrangência deste aquífero. Nas áreas de afloramento, a população residente é de cerca de 3,7 milhões de pessoas, 12,5 % do total (BORGHETTI *et al.*, 2004). Verificando-se todos os aquíferos encontrados no país, a disponibilidade de águas subterrâneas soma um volume de aproximadamente 112 mil km³, uma vazão de cerca de 14,6 mil m³ s⁻¹ e volume de recarga de 3.500 km³ anuais (ANA, 2010, 2017; MMA, 2007).

Figura 1 - Mapa ilustrativo dos principais aquíferos do país.



Fonte: ANA, 2005.

De acordo com o mapa hidrogeológico do estado do RS elaborado pelo Serviço Geológico Brasileiro (MACHADO; FREITAS, 2005), na Região Noroeste do RS, onde situa-se a Região das Missões, há predominância de dois aquíferos distintos: o Sistema Aquífero poroso denominado Guarani (SAG) e o sistema Aquífero Fraturado associado rochas vulcânicas da formação Serra Geral (SASG). O primeiro é confinado e desempenha um papel de reserva estratégica da região, enquanto que o fraturado é uma opção mais acessível e abrangente usado na Região da Missões. O SASG é um aquífero fissural com características hidrogeológicas (fraturas e zonas vesiculares, amígdaloides e de disjunção horizontal) permitem a exploração de grandes quantidades de águas subterrâneas em profundidades economicamente viáveis (FREITAS *et al.*, 2012).

2.1.1 Qualidade das águas subterrâneas

Devido ao fato de estarem mais protegidas que as águas superficiais, pois os solos, as camadas de areia e rochas do subsolo, tendem a funcionar como filtros, retendo os contaminantes antes destes alcançarem as águas subterrâneas (EPA, 1990). Entretanto, estas também estão sujeitas a contaminação de diversas formas, uma vez que os contaminantes podem atravessar todas as camadas de filtração, chegar à zona saturada e contaminar as águas subterrâneas.

Em geral, a qualidade da água subterrânea sofre influências de vários processos naturais e artificiais. Dentre os processos naturais, destacam-se: litologia, velocidade do aquífero, qualidade da recarga, interação com solos e rochas, interação com outros tipos de aquíferos, entre outros (HUNTINGTON, 2006). Dentre os processos artificiais, estão: agricultura, indústria, desenvolvimento urbano e aumento da exploração (HELENA *et al.*, 2000; JEONG, 2001; OKI; KANAE, 2006).

Devido ao processo natural de filtragem do subsolo, as águas subterrâneas geralmente não necessitam de tratamento convencional para o consumo (PHILIPPI Jr. *et al.*, 2005). Em razão do processo de filtração natural que o solo oferece à água que infiltra e recarrega o aquífero, o processo de potabilização tem seus custos drasticamente reduzidos, restringindo obrigatoriedade apenas de tratamento por desinfecção ou cloração (FERREIRA *et al.*, 2007; ROSA FILHO *et al.*, 2010).

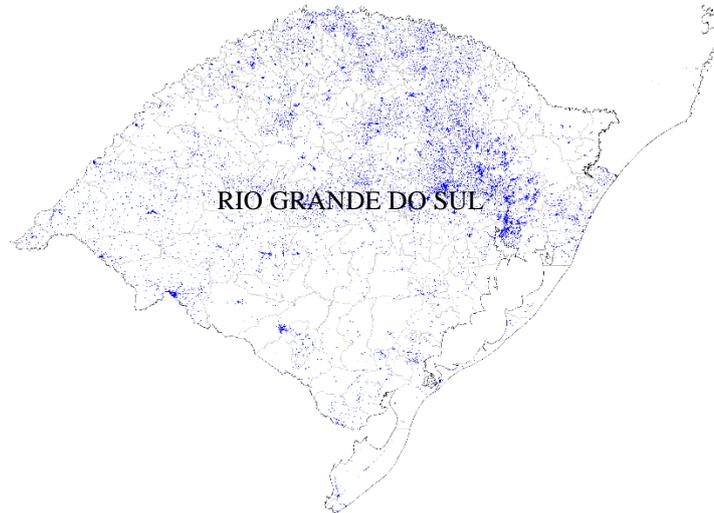
A qualidade das águas subterrâneas, segundo Hassuda (1999) depende diretamente das “(...) condições de temperatura e pressão, do tipo do solo ou rocha que a água subterrânea atravessa e do tempo de residência”. É avaliada conforme a concentração de vários constituintes dissolvidos na água, destacando-se como principais: o sódio, magnésio, cálcio, bicarbonato, cloreto, sulfato e silicato todos expressos em miligramas por litro (mg L^{-1}).

Segundo Freitas (2013), a qualidade da água é definida por sua composição e pelo conhecimento dos efeitos que podem causar seus constituintes. O conjunto destes constituintes permite que se estabeleçam padrões de qualidade, classificando-os, de acordo com seus usos (consumo humano, dessedentação animal, irrigação, industrial, piscicultura, aquicultura, recreação e urbano).

Segundo o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), no Brasil há 345.672 poços cadastrados no Ministério do Meio Ambiente (MMA), estando 19.486 no estado do Rio Grande do Sul (Figura 2) (SIAGAS, 2021). No período de 2008 a 2016, ocorreu um

aumento expressivo no cadastramento de poços, o que pode estar relacionado com a escassez hídrica que vem sendo vivenciada nos últimos anos (SIAGAS, 2021; ANA, 2017).

Figura 2 - Distribuição de poços subterrâneos no Rio Grande do Sul.



Fonte: SIAGAS, 2021.

O uso de água subterrânea apresenta muitas vantagens, uma vez que apresenta quantidade relativamente constante, pois sua vazão é menos afetada pelos períodos de estiagem prolongada e não apresenta perdas por evaporação; a distribuição é facilitada visto que a distância dos poços até o reservatório ou caixa de água, em geral, é de pequena extensão; as águas subterrâneas possui diversos usos; os custos para perfuração de poços e prazos de execução são inferiores aos necessários para as obras de captação de transporte de águas superficiais (MMA, 2007).

No entanto a degradação e as perspectivas de escassez dos recursos hídricos, traz à tona a necessidade do emprego de avaliação e monitoramento das águas, de forma objetiva e adequada, a fim de se obter uma interpretação eficaz da qualidade destas. Para isto faz-se a aplicação de Índices de Qualidade da Água (IQA), ferramenta matemática simples que permite integrar dados complexos de qualidade das águas subterrâneas, transformando-os em uma variação de valores numéricos, sintéticos, padronizados e fáceis de interpretação (SUNGSITTHISAWAD; PITAKSANURAT, 2013), sendo um guia para identificação de alteração na qualidade da água e por conseguinte direcionar seu uso, definindo-se inclusive o melhor processo de tratamento para adequação ao uso pretendido.

A aplicação de índices de qualidade da água subterrânea (IQAs) é evidenciada em pesquisas técnicas e científicas de vários autores que desenvolvem estudos para a melhoria da

gestão do monitoramento dos recursos hídricos. Muitos desses autores basearam-se no IQA desenvolvido por Brown *et al* (1970), o qual foi melhorado por Deininger (1975), conforme descreve Saeedi *et al* (2010). O índice é o Water Quality Index -WQI, criado pela National Sanitation Foundation -NSF (LUMB *et al*, 2011) e o mais utilizado pela maioria dos países.

No Brasil, identificou-se pelo menos 3 IQAs adaptados para avaliação da água subterrânea: Índice de Qualidade Natural de Água Subterrânea -IQNAS (OLIVEIRA; NEGRÃO; SILVA, 2006, 2007), Índice de Qualidade da Água Subterrânea -IQAS (OLIVEIRA; NEGRÃO; ROCHA, 2004) e Índice de Qualidade de Uso da Água Subterrânea -e-IQUAS (ALMEIDA, 2012). São índices criados com finalidades específicas - análise de água bruta com fins de definição de usos múltiplos, principalmente para atender demandas humanas. A fundamentação desses modelos é o IQA-NSF, mas com as devidas adequações para as características dos domínios hidro geológicos brasileiros, o que determina a relevância dos mesmos para melhorar o processo de monitoramento das águas subterrâneas.

O IQA é o principal indicador qualitativo usado no país (TOLEDO, NICOLELLA, 2002). Desenvolvido para avaliar a qualidade da água para o abastecimento público, após o tratamento convencional, se dá através da interpretação dos resultados levando em consideração o seu uso. Este é calculado com base nos parâmetros temperatura da água, pH, oxigênio dissolvido, resíduo total, demanda bioquímica de oxigênio, coliformes termotolerantes, nitrogênio total, fósforo total e turbidez (ANA, 2021).

O Brasil não possui uma rede nacional de monitoramento de águas subterrâneas. Contudo, possui a Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS), criada em 2009, considerada a única rede nacional sobre águas subterrâneas, com 12 anos de existência e mais de 400 poços monitorados (CPRM, 2021). Por isso, existe uma grande carência de informação a respeito da qualidade das águas, especialmente de abrangência regional. As fontes de informação mais importantes sobre o tema têm, em geral, caráter pontual e correspondem aos trabalhos desenvolvidos nas universidades e alguns são elaborados pelas secretarias estaduais de recursos hídricos (ANA, 2007).

Em relatório apresentado pela ANA, na Conjuntura de Recursos Hídricos no Brasil no ano de 2017, foi apresentado que 12% os pontos monitorados analisados são classificados como excelentes com base no IQA, que contém nove parâmetros físico-químicos e biológicos. Em áreas urbanizadas, este total cai para 7%. No total 63% dos pontos têm suas águas classificadas como boas, 13% como regulares, 9% como ruins e 3% como péssimas. Em cidades os pontos com IQA regular, ruim ou péssimo aumentam.

Os sistemas de água no Rio Grande do Sul são administrados pela Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), sendo concessionária dos serviços de água e esgoto em 317 de 497 municípios gaúchos, ou seja, atende 63,8% das sedes municipais, prestando serviços a mais de dois terços da população do estado, o equivalente a quase seis milhões de pessoas (CORSAN, 2017; RUBBO; ZINI, 2017). Demais municípios têm seus sistemas de abastecimento de água para consumo humano sob a responsabilidade das prefeituras, que devem ser operados por responsável técnico habilitado para o tratamento da água, autarquias específicas para a função, ou por empresas autônomas contratadas (RUBBO; ZINI, 2017).

O RS conta com a Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Infraestrutura (SEMA), que atua como órgão licenciador, agregando monitoramento e fiscalização ambiental, em conjunto com a Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM), que atua na fiscalização, licenciamento, desenvolvimento de estudos e pesquisas e execução de programas e projetos voltados a assegurar a proteção e preservação do meio ambiente do estado.

No que tange ao monitoramento da qualidade da água subterrânea, a FEPAM o faz com o objetivo de especificar mediante características da fonte pontual de potencial contaminação, dos mecanismos de dispersão e dos potenciais receptores, visando avaliar a distribuição espacial da qualidade da água subterrânea, possibilitando seu diagnóstico e prognóstico. Assim sendo, criou-se o Programa Nacional do Meio Ambiente – PNMA II, Componente Desenvolvimento Institucional, apresenta, como um de seus subcomponentes, o Monitoramento da Qualidade da Água, no qual está inserido o Projeto “Monitoramento da Qualidade das Águas na Bacia Hidrográfica dos Rios Turvo, Santa Rosa e Santo Cristo, Região Hidrográfica do Uruguai/RS, como subsídio à gestão de recursos hídricos e ao controle ambiental” (FEPAM, 2005).

Neste realizou-se o monitoramento das águas subterrâneas de 30 poços profundos, com o objetivo de caracterizar a qualidade atual das águas dos mananciais subterrâneos profundos utilizados para abastecimento humano de pequenas comunidades rurais em regiões de criação de suínos, fez-se a análise de 26 parâmetros físico-químicos e biológicos em duas campanhas de monitoramento, em outubro de 2004 e janeiro de 2015. Através destas, obteve-se resultados, se comparados com a Portaria nº 518/2004 do MS, do parâmetro coliformes fecais e totais sistematicamente superiores aos normatizados, e os parâmetros ferro total e sódio apresentaram superiores aos estabelecidos em 4 e 1 amostras respectivamente (FEPAM, 2005).

Em termos de qualidade das águas subterrâneas no estado do RS, em estudo realizado por Rezende *et al.* (2010) na região do Aquífero Guarani, localizada na Serra Gaúcha (nordeste do RS), foram coletadas e analisadas amostras de água subterrânea de 4 poços tubulares em 3 municípios da região, e estas águas apresentaram características de boa qualidade, consentindo

na ausência de qualquer tipo de poluição. Já no estudo realizado por Ceconello, Centeno e Leandro (2020), em 5 pontos amostrais de água subterrânea, localizados em propriedades rurais do município de Pelotas/RS, concluiu-se que a qualidade destas águas apresentavam-se impróprias para o consumo humano, segundo a legislação vigente, necessitando assim de estudos aprofundados sobre o uso e ocupação do solo na área do entorno dos poços rasos e medidas para a gestão do solo e da água subterrânea.

2.1.2 Contaminação das águas subterrâneas

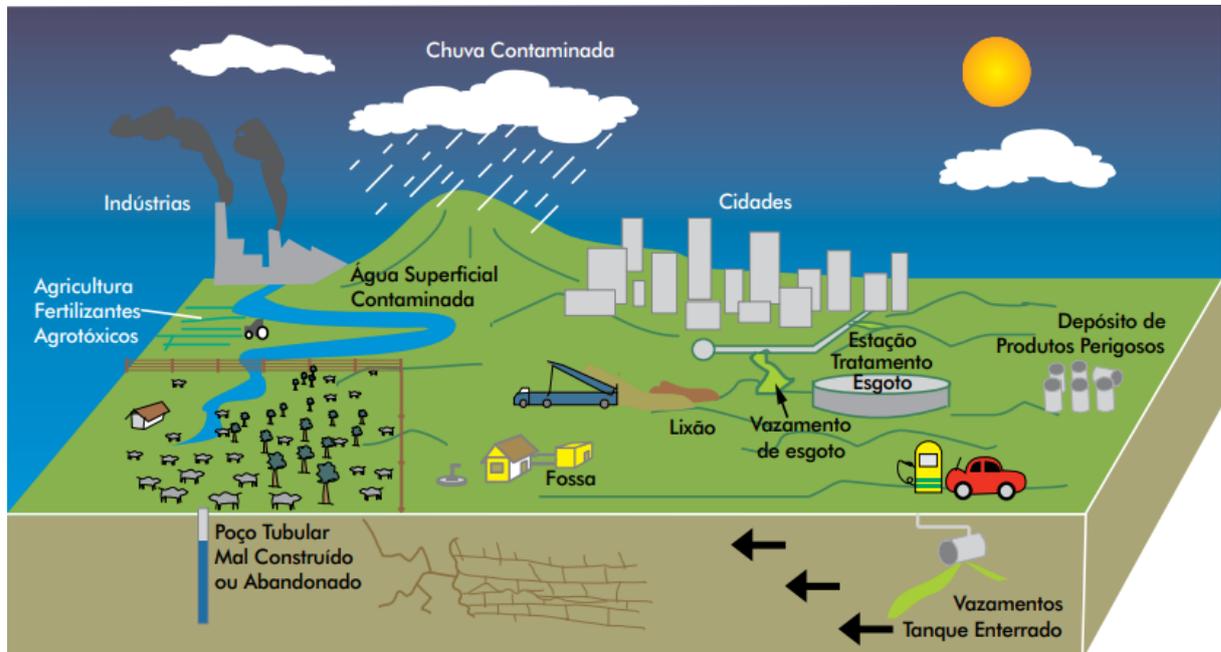
Apesar das águas subterrâneas estarem mais protegidas que as águas superficiais, elas também estão sujeitas a contaminação. As ações antrópicas que mais podem influenciar a qualidade da água são: lançamento de cargas de esgoto no solo e nos sistemas hídricos; alteração do uso do solo rural e urbano, e modificações no sistema fluvial (TUCCI; HESPANHOL; NETTO, 2003). Pode ser desencadeada também, por meio de lixões, aterros inadequadamente operados, atividades de manejo inapropriadas de diversos setores industriais, cemitérios, uso inadequado de agrotóxicos, irrigação, que promove a salinização e/ou lixiviação, além de poluentes diretamente lançados nos aquíferos, por intermédio dos poços mal construídos ou mal operados (MMA, 2007; PINTO-COELHO; HAVENS, 2015; CETESB, 2021a).

A profundidade e a forma como o poço é construído, também influenciam na qualidade da água subterrânea. Águas de poços com profundidade inferior a 6 m estão mais vulneráveis devido a alterações antrópicas em função da concentração de nitrato, coliformes totais e termotolerantes (DA COSTA *et al.*, 2010).

A forma como o poço é construído também é essencial para garantir a qualidade da água e maximizar a eficiência da operação do poço e a exploração do aquífero (ANA, 2007), visto que alguns fatores podem representar risco de contaminação das águas subterrâneas, como o não isolamento das camadas indesejáveis durante a perfuração, deixando a parte de rochas alteradas mais superficiais, mais vulneráveis à contaminação ou a ausência de laje de proteção sanitária e altura inadequada da boca do poço. A não desinfecção do poço após a construção e a não cimentação do espaço anelar entre o furo e o poço facilita a entrada de águas superficiais, podendo contribuir para a contaminação da água. Outro aspecto que exige atenção, refere-se à localização próxima a locais potencialmente contaminantes da água como fossas, postos de gasolina, lixões, etc. (ZOBY; OLIVEIRA, 2005).

Na Figura 3 são apresentadas as principais fontes de contaminação das águas subterrâneas.

Figura 3 - Principais fontes de contaminação de águas subterrâneas.



Fonte: MMA, 2007.

Além das fontes de contaminação, há diferentes tipos de poluição das águas cuja classificação depende das origens (FOGAÇA, 2021).

Dentre estas, destacam-se a poluição biológica, que ocorre quando os corpos de água possuem microrganismos patogênicos tais como bactérias, vírus, vermes e protozoários oriundos principalmente de esgotos domésticos e industriais, os quais são lançados diretamente na água ou infiltram-se nos solos, atingindo águas de poços ou de nascentes (FOGAÇA, 2021).

A poluição química, a qual ocorre por produtos químicos nocivos e indesejáveis, sendo essa a mais problemática de todas as poluições das águas, seus efeitos podem ser sutis e levam muito tempo para serem percebidos. Entre os principais poluentes químicos estão os fertilizantes agrícolas, outros poluentes são compostos sintéticos, como: plásticos, herbicidas, inseticidas, tintas, detergentes, solventes, remédios e aditivos alimentares. Há também os casos de derramamentos de petróleo por acidentes de navios ou no momento da perfuração e extração, pois as jazidas petrolíferas ficam, a maioria, no fundo do mar. Além disso, o descarte de compostos inorgânicos e minerais, como os metais pesados, podem causar intoxicações, deformações e até mesmo a morte (OPERSAN, 2017).

A poluição física pode ser classificada em sedimentar, que ocorre quando há o acúmulo de partículas em suspensão, tais como do solo e de produtos insolúveis inorgânicos e orgânicos, como por exemplo acúmulo de lixos e detritos que possuem poluentes químicos e biológicos; em poluição térmica, a qual se dá através do lançamento nos recursos hídricos de grandes quantidades de águas aquecidas já usadas em indústrias para aquecer caldeiras, em processos de refrigeração de refinarias, siderurgias e usinas termoelétricas, causando a diminuição do gás oxigênio da água e o aceleramento de reações de outros poluentes que estão presentes na água; e a poluição radioativa que ocorre por meio dos resíduos radioativos lançados no ar e no solo por experiências nucleares, lixos atômicos gerados em usinas nucleares e em hospitais (OPERSAN, 2017).

Pesquisas coordenadas pela ANA descrevem as características de algumas áreas contaminadas e indicam que a poluição das águas subterrâneas mais comum se dá pela presença de nitratos, proveniente da falta de esgotamento sanitário em áreas urbanas e o uso de fertilizantes nitrogenados em áreas rurais (PINTO-COELHO; HAVENS, 2015; ANA, 2017). Os nitratos tem alta mobilidade nas águas subterrâneas e os agrotóxicos podem contaminar as águas subterrâneas especialmente quando há atividade agrícola intensiva nas áreas de recarga do aquífero (ANA, 2017).

O risco potencial de um determinado aquífero ser contaminado está relacionado ao tipo de contaminante e suas características, como: litologia (tipo de rocha), hidrogeologia, gradientes hidráulicos (diferença de pressão entre dois pontos), entre outros. A maior ou menor susceptibilidade de um aquífero à contaminação e poluição é chamada de vulnerabilidade (MMA, 2007).

Os principais fatores que tornam os mananciais subterrâneos vulneráveis são: as características do solo e sua capacidade infiltração, que pode promover ou evitar a difusão de contaminantes ambientais; as mudanças climáticas que interferem na reposição natural dos aquíferos e; as ações antrópicas que levam a uma grande exploração dos recursos hídricos, a contaminação e a poluição, contribuindo para a redução de sua disponibilidade e qualidade (GIGLIO *et al.*, 2015; HOLLAS, 2015).

Apesar do Brasil possuir água subterrânea de boa qualidade sendo adequada para o consumo humano, há uma crescente preocupação para a saúde pública e ambiental relacionada com o risco de contaminação por agrotóxicos nos recursos hídricos, visto que a água subterrânea captada para consumo humano pode ser uma importante forma de exposição a estes compostos (FERNANDES NETO; SARCINELLI, 2009). E na maioria das vezes, a poluição

só é descoberta no momento em que substâncias nocivas aparecem nos reservatórios de água potável, quando os agentes poluidores atingiram uma grande área (CAPUCCI *et al.*, 2001).

Considera-se ainda que, uma vez poluídas ou contaminadas, as águas subterrâneas demandam um elevado dispêndio de recursos financeiros e humanos para sua remediação, o que de modo geral é atingido ao final de vários anos. Desta forma, devem ser tomadas medidas preventivas para sua proteção, associadas ao controle de poluição como um todo, definindo-se critérios de qualidade iniciando-se pelo estabelecimento de valores orientadores (CETESB, 2021b).

2.1.3 Contaminação das águas subterrâneas por compostos agrotóxicos

A água desempenha um papel fundamental na economia, sendo utilizada em setores como a agricultura, produção energética e mineração e fatores urbanos e industriais da sociedade, setores que conseqüentemente trarão impactos ao meio ambiente, podendo alterar as características da água causando conseqüências negativas em termos de potabilidade de água se, não forem adequadamente administradas em todos os seus aspectos ambientais (OLIVEIRA, 2013).

O cultivo e manejo do solo exercem influência na qualidade das águas subterrâneas e nas taxas de recarga de alguns aquíferos. Algumas práticas agrícolas são capazes de causar contaminação difusa por nutrientes e agrotóxicos (FOSTER, 1991), visto que a elevação da produção agrícola é proporcionalmente direta à quantidade de material químico incorporado ao solo (VIANA, 2009).

Segundos dados divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a contaminação por agrotóxicos é a segunda maior fonte de contaminação no país, perdendo apenas para o esgoto doméstico. Quando encontrados na água, estes produtos são classificados como micropoluentes, chamados de compostos químicos, que possuem características de conferir toxicidade mesmo em baixas concentrações e tornando por vezes, a água inadequada para diversos usos (ZINI, 2016).

De acordo com Antunes (2010), a palavra ‘agrotóxico’ significa “produtos químicos destinados à utilização pela agricultura com a finalidade de ‘proteção’ contra praga ou destinados a aumentar a produtividade de determinadas culturas”. E conforme a Lei Federal nº 7.802, de 11 de julho de 1989 (...) Agrotóxicos são os produtos e os agentes de processos físicos, químicos ou biológicos, destinados ao uso nos setores de produção, no armazenamento e beneficiamento dos produtos agrícolas, nas pastagens, na proteção de florestas, nativas ou

implantadas, e de outros ecossistemas e também de ambientes urbanos, hídricos e industriais, cuja finalidade seja alterar a composição da flora ou da fauna, a fim de preservá-las da ação danosa de seres vivos considerados nocivos (BRASIL, 1989).

São exemplos de compostos agrotóxicos, descritos na referida Lei Federal nº 7.802/89, os fungicidas, herbicidas, inseticidas, bactericidas, moluscidas, fumigantes, etc. Logo, o referido termo é abrangente e não considera apenas os compostos aplicados na agricultura.

Contudo os agrotóxicos podem ser divididos em classificações de acordo com o tipo de ação: fungicidas (combate aos fungos), inseticidas (combate os insetos), herbicidas (combate as plantas daninhas), desfoliantes (combate às folhas indesejadas), fumigantes (combate as bactérias do solo), raticidas (combate aos roedores), moluscocidas (combate aos moluscos) nematocidas (combate aos nematoides e acaricidas (combate aos ácaros) (PERES; MOREIRA; DUNOIS, 2003; ANVISA, 2011), sendo que os 3 primeiros citados representam são os principais grupos e o herbicida representa cerca de 45% dos agrotóxicos comercializados no mundo (QASEM, 2011), e são comumente utilizados para combater ervas daninhas prejudiciais à lavoura.

São classificados também quanto ao seu grupo químico, em síntese no grupo dos inseticidas destacam-se os compostos inorgânicos, organofosforados, organoclorados, carbamatos e piretróides. No grupo dos fungicidas, pode-se citar os ditiocarbamatos, compostos formilamina e dinitrofenóis e no grupo dos herbicidas cita-se, como exemplos, os compostos inorgânicos, fenoxiacéticos, carbamatos, dipiridilos e glifosato (PLUTH, 2017). Quanto em função dos efeitos à saúde que decorrem da exposição do ser humano a produtos químicos, são classificados por grau de toxicidade do composto, sendo estas: extremamente tóxico, altamente tóxico, moderadamente tóxico, pouco tóxico e improvável de causar dano agudo (ANVISA, 2011).

Pertinente à classificação dos agrotóxicos quanto a periculosidade ambiental, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) os classifica com base em sua Portaria Normativa nº 84, de 15 de outubro de 1996, quanto ao potencial de periculosidade ambiental, baseando-se nos parâmetros de bioacumulação (estudo realizado com peixes), persistência (em água e solo), transporte (em ar, solo e água), toxicidade a diversos organismos e potencial mutagênico, teratogênico e carcinogênico: Classe I – Produto altamente perigoso ao meio ambiente; Classe II – Produto muito perigoso ao meio ambiente; Classe III – Produto perigoso ao meio ambiente; Classe IV – Produto pouco perigoso ao meio ambiente (BRASIL, 1996).

Quando os agrotóxicos são introduzidos no meio ambiente, cerca de 55% da quantidade total aplicada não atinge a meta, dispersando-se para outras áreas ambientais, como água, solo e atmosfera (MARTINI *et al.*, 2012). No ambiente, a dinâmica dos agrotóxicos é afetada pelas características dos agrotóxicos e do solo, condições climáticas e práticas de manejo do produto, os quais são fatores condicionantes dos principais mecanismos de movimentação dos princípios ativos (NETO, 2010; SOARES, 2011). Ao compreender a divisão ambiental do agrotóxico, é possível determinar as principais formas de degradação e transporte que o agrotóxico sofrerá, desta forma pode-se prever seu deslocamento e sua concentração, bem como o tempo necessário para seu desaparecimento do meio ambiente (SPADOTTO *et al.*, 2010).

A contaminação da água por agrotóxicos pode ocorrer diretamente pela deriva das pulverizações aéreas, erosão de solos contaminados, escoamento superficial, lixiviação e pelo descarte e lavagem de tanques e embalagens de produtos (SOARES, 2011).

Uma das principais causas de poluição das águas por estes produtos é a sua utilização nas culturas agrícolas (FLOSS, 2015), em virtude de que ao serem aplicados em culturas no solo, entram em um ecossistema dinâmico e imediatamente começam a serem transferidos de uma parte do sistema para outra, assim degradam-se *in situ* ou são removidos do sistema para outro sistema (EDWARDS, 1975). Portanto, esses compostos podem ser conduzidos no meio ambiente de diferentes formas: sorção (adsorção, absorção e dessorção), transformação (degradação química ou biológica) ou transporte (volatilização, lixiviação e carreamento superficial), processos os quais controlam diretamente o transporte dos agrotóxicos no solo e sua transferência para a água, o ar e os alimentos (MORAIS, 2009; FERNANDES NETO, 2010; SANTAROSSA, 2017).

No que se refere ao processo de transporte dos agrotóxicos pelos compartimentos ambientais, destacam-se o escoamento superficial e a lixiviação, dos quais levam à poluição das águas subterrâneas em função dos agrotóxicos serem carregados em solução junto com a água ao longo do perfil do solo (MARTINI *et al.* 2012; REBELO; CALDAS, 2014). Nesse caso, o foco será a lixiviação, processo o qual refere-se ao movimento descendentes dos agrotóxicos na matriz do solo ou com a umidade do solo (BITTENCOURT JUNIOR; SOARES, 2013). A lixiviação é um processo básico do solo, visto que ela faz com que o agrotóxico alcance as sementes ou plantas em germinação, mas quando esse processo se tornar excessivo, pode carregar os agrotóxicos às camadas mais profundas do solo, limitando seu efeito e podendo contaminar o lençol freático. A lixiviação depende principalmente da umidade e porosidade do solo (RUBBO, 2017).

O potencial de contaminação de aquíferos pode ser determinado por meio do índice de GUS, sendo este capaz de avaliar o potencial de lixiviação dos agrotóxicos para as águas subterrâneas, a partir de dados físicos e químicos, tais como: coeficiente de adsorção à matéria orgânica no solo (K_{oc}) e tempo de meia-vida (DT50) de um determinado composto no solo (NETO, 2010; ZINI, 2016). O cálculo deste índice é realizado através da aplicação da equação $GUS = \log(DT50_{no\ solo}) \times [4 - \log(K_{oc})]$ (MARTINI *et al.*, 2012; NETO, 2010). De acordo com Neto (2010) uma vez identificado esse índice, os defensivos agrícolas são classificados de acordo com sua tendência a lixiviação ao domínio subterrâneo, de acordo com os seguintes intervalos: $GUS \leq 1,8$: não sofre lixiviação (NL); $1,8 < GUS < 2,8$: faixa de transição (T); $GUS \geq 2,8$: provável lixiviação (PL).

Quando os agrotóxicos entram no meio aquático, eles podem ser degradados por diferentes processos, tais como os físicos, químicos e microbiológicos. Nesses ambientes, podem ocorrer processos de fotólise, volatilização, sedimentação, ressuspensão, adsorção/dessorção, biodegradação, bioacumulação e biotransformação, sendo os processos mais eficazes para degradar estes compostos no ambiente aquático a adsorção/dessorção e a biodegradação (SOARES, 2011).

No entanto, resíduos destes compostos presentes em mananciais hídricos, pode trazer dificuldades para o posterior tratamento da água em virtude da eventual necessidade de tecnologias mais complexas do que aquelas normalmente usadas para a potabilização, uma vez que processos convencionais utilizados em estações de tratamento de água (ETA's) são na maioria das vezes ineficientes para remoção destes compostos da água, e os processos biológicos, sob certas condições, podem produzir substâncias mais tóxicas que o composto original (DERBALAH, *et al.*, 2013).

2.2 POTABILIZAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA PARA O ABASTECIMENTO PÚBLICO

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), água potável é aquela que atende às seguintes exigências: apresenta aspecto límpido e transparente; não apresenta gosto e odor objetiváveis; não contém qualquer tipo de microrganismo que possa causar alguma doença ao ser humano; não possui nenhuma substância em concentrações que possam provocar algum tipo de prejuízo à saúde humana (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Em função da necessidade de permitir o abastecimento de águas com qualidade e realizar a vigilância da qualidade e padrão de potabilidade, foi instituída a Portaria nº 2.914/2011 do MS alterada pela Portaria nº 888/2021 do MS, onde de acordo com o seu Art. 5º

do Capítulo II (BRASIL, 2021), água para consumo humano, água potável e padrão de potabilidade, apresentam as seguintes definições:

- II – água para consumo humano: água potável destinada à ingestão, preparação e produção de alimentos e à higiene pessoal, independente da sua origem;
- II – água potável: água que atenda ao padrão de potabilidade estabelecido nesta Portaria e que não ofereça riscos à saúde;
- III – padrão de potabilidade: conjunto de valores permitidos como parâmetro da qualidade da água para consumo humano, conforme definido nesta Portaria.

2.2.1 Alguns dos principais processos utilizados no tratamento de águas subterrâneas para o abastecimento público

O tratamento da água pode ser definido como o processamento da água para atingir uma qualidade de água que atenda aos padrões especificados pelas agências reguladoras, o qual tem como objetivo principal, produzir uma água segura e esteticamente atraente que seja benéfica à saúde pública e esteja em conformidade com os padrões de qualidade da água estabelecidos. Assim como o objetivo dos fornecedores de água, sejam privados ou públicos, é de fornecer água tratada sem interrupção ao consumidor (JOHN, 2012).

Para produzir água potável, a seleção de processos de tratamento deve ser feita de modo a permitir a remoção ou redução de certos componentes da água bruta. Dessa forma, os principais fatores limitantes para a escolha de um processo unitário são a natureza da água bruta e a qualidade pretendida da água tratada (RICHTER, 2019).

O conjunto de processos e operações utilizados para adequar as características físico-químicas e biológicas das águas naturais constitui as Estações de Tratamento de Água (ETA). Esses processos objetivam remover ou diminuir as concentrações de substâncias encontradas na água bruta até padrões estabelecidos para água potável, expressos por VMP, definidos no Brasil pela Portaria n° 5/2017 e na Portaria n° 888/2021, ambas do MS (BRASIL, 2021).

Na potabilização das águas naturais, as tecnologias de tratamento apresentam, basicamente, três fases nas quais processos e operações unitárias hão de se inserir: clarificação, filtração e desinfecção. Quando as características da água permitirem, apenas a desinfecção e cloração faz-se necessária para adequação ao padrão de potabilidade. À medida que se verifica reduzida qualidade da água bruta após filtração, insere-se a clarificação, objetivando em reduzir o aporte de partículas às unidades filtrantes. Em última análise as etapas da potabilização

funcionam como sucessivas barreiras à passagem de partículas, suspensas e dissolvidas, e microrganismos para água tratada (LIBÂNIO, 2010).

A clarificação inclui as etapas de coagulação (adição de coagulante que irá provocar agregação das partículas coloidais em suspensão, que ao colidirem entre elas vai aumentando de tamanho), flotação (formação de flocos) e decantação (deposição dos flocos no fundo de um tanque, por ação da gravidade, separando-se da água e diminuindo, consideravelmente, a turvação da mesma) (MATILAINEN *et al.*, 2010; MOGHADDAM, *et al.*, 2010; EPA, 2016), em síntese nestas fases ocorre a remoção dos sólidos suspensos e de parcela dos sólidos dissolvidos.

Sequencialmente, ocorre a filtração, processo que a água percorre filtros compostos por materiais porosos, normalmente areia, que irão reter as partículas de menor dimensão que possam ainda estar em suspensão na água, a fim de remover os sólidos dissolvidos, microrganismos, tais como bactérias e cistos e oocistos de protozoários (FRET *et al.*, 2016).

Por fim, realiza-se a desinfecção onde se aplica um agente desinfetante, que visa diminuir o número de microrganismos, manter um teor de desinfetante residual, além de impedir a proliferação de microrganismos patogênicos (MI *et al.*, 2015). Atualmente, o desinfetante mais utilizado é o cloro que, além de sua eficácia e permanência na água para além do momento de injeção mantém concentrações residuais ao longo da rede de distribuição de água, controlando assim possíveis contaminações biológicas (WHO, 2011).

De acordo com o Art. 24 do Anexo XX, Capítulo IV da Portaria de Consolidação Nº 888/2021 do MS, “Toda água para consumo humano fornecida coletivamente deverá passar por processo de desinfecção ou adição de desinfetante para manutenção dos residuais mínimos” (BRASIL, 2021).

No Rio Grande do Sul, nas localidades atendidas por poços ou fontes de responsabilidade da Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), geralmente a água subterrânea passa apenas pelas etapas de desinfecção e fluoretação para torna-la potável e distribuída à população (CORSAN, 2021).

2.2.1.1 Potabilização da água subterrânea no meio urbano

As águas subterrâneas, geralmente, possuem elevado padrão de qualidade físico-químico e bacteriológico e são captadas para o abastecimento público por meio de minas ou poços que podem ser construídos próximos das áreas de consumo (PNAS, 2009).

Para a Resolução CONAMA N° 396/2008 que dispõe sobre a classificação e diretrizes para o enquadramento das águas subterrâneas, em seu Art. 2, Cap. 1, define-se águas subterrâneas e aquífero como: “águas que ocorrem naturalmente ou artificialmente no subsolo” (BRASIL, 2008).

Em todo o Brasil, 99,4% dos municípios possuem uma rede geral de abastecimento de água. Destes, somente 85,7% dos domicílios têm acesso à essa rede. Apesar dos números apresentados, que transmitem um falso aspecto positivo de que grande parte do país é atendida, muitas vezes as redes de distribuição existem somente nos centros dos municípios, excluindo as populações periféricas. Esse fato é refletido no número de domicílios que dependem de água subterrânea, que contabilizam 9,9% no país. (IBGE, 2017). O manancial subterrâneo é utilizado como fonte de abastecimento em 52,3% das sedes urbanas no Brasil, seja como fonte única ou juntamente com o manancial superficial (ANA, 2010).

Segundo Heller e Pádua (2010), os sistemas de abastecimento possuem as seguintes unidades, com possíveis variações dependendo do local, composição da água, nível de complexidade da operação, entre outros: manancial, captação, adução, estações elevatórias, tratamento, reservatórios e rede de distribuição.

A etapa de tratamento deve ser realizada anteriormente à sua distribuição, a fim de torná-la potável e própria ao consumo humano. Para isso, geralmente no meio urbano faz-se a instalação de Estações de Tratamento de Água (ETAs), e de acordo com Franco (2015) as ETAs tradicionais são constituídas de coagulação, floculação e decantação para clarificação da água e filtração e desinfecção para a retirada e desativação de microrganismos.

Referindo-se à tratamentos convencionais, as ETAs são projetadas englobando as seguintes principais operações: peneiramento, oxidação, coagulação, floculação, decantação, flotação, filtração, desinfecção, fluoretação e estabilização química (HELLER; PÁDUA, 2010). E em mananciais subterrâneos são utilizados pré-filtros, chamados crivos, na captação da água do aquífero com a finalidade de impedir o carreamento de partículas de sedimento, aumentando período útil do poço (TSUTIYA, 2006).

Porém há comunidades de pequeno porte que não dispõem desta instalação, contudo faz-se o tratamento da água subterrânea captada por meio de poços e fontes diretamente no local, com a inserção de compostos desinfetantes (cloro) e flúor, como é o caso das cidades atendidas pela CORSAN.

2.2.1.2 Potabilização da água subterrânea no meio rural

No Brasil, cerca de 90% da população tem acesso à água potável, e quem ainda não dispõe de água potável costuma residir em áreas distantes dos centros urbanos, como áreas rurais e aldeias indígenas (ANA, 2019).

De acordo com a Pesquisa Nacional por Amostra em Domicílios (PNAD), as áreas rurais brasileiras têm uma população de aproximadamente 30 milhões, e é a mais desfavorecida em termos de infraestrutura e saneamento básico, destes 67,2 % captam água de chafarizes e poços, sendo eles protegidos ou não, em cursos de água não tratados e outras fontes de água geralmente insalubres (FUNASA, 2007).

Cabe destacar ainda que, os sistemas de tratamento de água e esgotos operados por empresas de saneamento, geralmente não são fornecidos a propriedades rurais. É existente ainda, em alguns casos a associação fossa-poço, o que aumenta o risco de propagação de doenças e parasitas por meio da poluição da água subterrânea (BERTONCINI, 2008).

Nas áreas rurais, as principais fontes de abastecimento de água são poços rasos e nascentes, superfícies de coleta de água (água da chuva); caixa de tomada (nascente de encosta); galeria filtrante (fundos de vales); poços escavados (nível do lençol freático); poços tubulares profundos (lençol subterrâneo); retirados diretamente de rios, lagos e açudes (FUNASA, 2006). No entanto, essas fontes de água são bastantes suscetíveis a contaminação e segundo a Portaria nº 5/2017 do MS, toda água destinada a consumo, fornecida coletivamente, deverá passar no mínimo, por processo de desinfecção ou cloração.

Geralmente, em áreas rurais, não existe sistema de tratamento individual ou coletivo das águas destinadas ao abastecimento público, e além disso muitos moradores não possuem acesso a uma análise de qualidade da água, utilizando-a para irrigar alimentos ou consumo animal, o que é perigoso para todos que consomem esses produtos posteriormente (LEITE *et al.*, 2015).

Embora os residentes rurais classifiquem a água de poço como água “boa”, em muitos locais, a água de poço pode estar contaminada. A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2013) acredita que as características químicas das águas subterrâneas refletem a forma como as mesmas permeiam e estão intimamente relacionadas ao tipo de rocha drenada e ao uso do solo.

Considerando que os sistemas de abastecimento e tratamento de água municipais muitas vezes não atingem as áreas rurais, soluções alternativas devem ser executadas para o fornecimento adequado em termos qualitativos e quantitativos (LEITE *et al.*, 2015).

Nas áreas rurais prevalecem as soluções alternativas individuais para abastecimento da água, e segundo a Portaria de Consolidação nº 888/2021 do MS em seu Art. 4, toda água destinada ao consumo humano proveniente de solução alternativa individual de abastecimento de água está sujeita à vigilância da qualidade da água. Porém, a Portaria não menciona o órgão ou agente responsável pela vigilância. Sendo assim, tem-se a ausência de competência na vigilância das águas oriundas de soluções alternativas individuais, o que pode ocasionar uma falta de segurança hídrica para esses consumidores, principalmente nas áreas rurais (LEITE *et al.*, 2015).

Em muitas situações, a água captada pela população, por meio de soluções alternativas ou individuais, não é adequada ao consumo humano. Nestes casos, torna-se imprescindível o emprego de processos de tratamento. Contudo, diferentemente dos sistemas convencionais de abastecimento de água, as soluções alternativas não necessariamente ficam sob a responsabilidade do poder público, apesar de o ser, e as consequências dele advinda, ficam erroneamente sob responsabilidade da própria população, que muitas vezes habita zonas rurais mais afastadas ou periferias de centro urbanos.

Existem técnicas de tratamento que podem ser utilizadas pela população, mas há sempre o risco de os procedimentos não serem seguidos corretamente e, ao contrário das ETA que produzem água para um grande número de pessoas, e para isso necessitam de um número relativamente pequeno de funcionários qualificados, no caso das soluções alternativas podem haver vários locais de tratamento da água, sem colaborador qualificado. Em determinadas situações tem-se um ponto de tratamento em cada residência, de modo que a falha no tratamento pode comprometer a saúde de todos os moradores da residência. Destaca-se, ainda, a dificuldade de controle da qualidade da água quando são adotadas essas soluções (HELLER; PÁDUA, 2006).

2.3 LEGISLAÇÃO APLICÁVEL À POTABILIZAÇÃO DA ÁGUA

Para minimizar os impactos da poluição e disciplinar os diferentes usos da água, os governos de diversos países criaram leis ambientais que estabelecem conceitos e padrões de qualidade e potabilidade a serem seguidos. Sendo, a legislação ambiental brasileira uma das mais completas do mundo (MACHADO, 2002).

No Brasil, os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade são definidos pela Portaria de Consolidação nº 05/2017 e Portaria nº 888/2021 do MS, a qual se aplica à água destinada ao consumo humano

proveniente de sistema e solução alternativa, coletiva ou individual de abastecimento de água, visando à proteção da saúde pública e o controle de substâncias potencialmente prejudiciais à saúde, como microrganismos patogênicos, substâncias tóxicas ou venenosas e elementos radioativos, (BRASIL, 2021).

Em seu Art. 8º ressalta-se que o controle da qualidade da água é de competência do responsável pelo sistema de abastecimento de água. Sendo assim, em cada município devem ser realizadas pelas Secretarias de Saúde, a vigilância da qualidade da água destinada ao consumo humano, fiscalizando a qualidade e as práticas operacionais do sistema de abastecimento, além de coletar amostras de água bruta para posterior análises e verificação da qualidade da água no específico ponto de captação (BRASIL, 2021).

Segundo a Portaria de Consolidação nº 5/2017 e Portaria nº 888/2021 do MS, toda água destinada ao consumo humano deve obedecer ao padrão de potabilidade e está sujeita a vigilância da qualidade da água, com isso são designados valores máximos permitidos (VMP) de substâncias, parâmetros físico-químicos e microbiológicos que orientam os padrões de qualidade da água de consumo humano.

Dentre as substâncias descritas nas Portarias nº 5/2017 e nº 888/2021, cabe destacar que, os compostos agrotóxicos a serem monitorados na água destinada ao consumo pela população deve ser constante. Ressalta-se ainda que, no Brasil, existe uma legislação moderna, que se fosse cumprida de modo correto por todos os elos da cadeia (fabricantes, comerciantes, órgãos fiscalizadores e produtores rurais), os danos causados pelos agrotóxicos à saúde humana e ao meio ambiente, seriam reduzidos (FLOSS, 2015; LONDRES, 2011). Segundo Dahshan *et al.* (2016), na maioria das vezes a eficácia das políticas de legislações ambientais depende de informações que descrevam as situações de poluição ambiental, sendo estas importantes ferramentas para o controle e gerenciamento do uso dos compostos químicos, dentre eles os agrotóxicos.

Dentre os órgãos governamentais internacionais que estipulam os limites permitidos para resíduos de agrotóxicos em água potável, o Conselho Nacional de Saúde e Pesquisa Médica/Conselho Ministerial para Gerenciamento de Recursos Naturais do Governo Australiano (NHMRC/NRMMC), o Ministério da Saúde Canadense (Health Canada), a Organização Mundial da Saúde (OMS) e a United State Environmental Protection Agency (USEPA). No Brasil, essa responsabilidade é exercida pelo MS, que em sua Portaria de Consolidação nº 05/2017 e Portaria nº 888/2021, estabelecem padrões de potabilidade da água para consumo humano (SILVA, 2010), incluso os compostos agrotóxicos.

Na Tabela 1 é apresentada uma comparação dos VMP de agrotóxicos regulamentados pela Portaria de Consolidação nº 05/2017 e Portaria nº 888/2021, ambas do MS em termos de compostos agrotóxicos, bem como os estabelecidos por diversos países como a Austrália, Canadá, Estados Unidos da América (EUA), Índia e OMS.

Tabela 1 - Comparação dos VMP dos agrotóxicos e metabólicos regulamentados pelas Portaria de Consolidação nº 05/2017 e Portaria nº 888/2021 do MS, e Portaria RS/SES nº 320/2014 com diferentes normatizações mundiais.

Parâmetro ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Portaria MS nº 888/2021 ¹	Portaria RS/SES nº 320/2014 ²	Canadá ₃	Austrália ⁴	Índia ₅	EUA ⁶	OMS ⁷
2,4 D	30	-	100	30	30	70	30
Acloro	20	-	-	-	20	2	20
Aldicarbe + Aldicarbesulfona	10	-	*	4	-	-	10
+Aldicarbesulfóxido							
Aldrin + Dieldrin **	0,03	-	*	0,3	0,03	-	0,03
Ametrina	60	-	-	70	-	-	-
Atrazina + S - Clorotriazinas	2	-	5	20	2	3	100
Carbendazim	120	-	-	90	-	-	-
Carbofurano	7	-	90	10	-	40	7
Ciproconazol	30	60	-	-	-	-	-
Clordano	0,2	-	*	2	-	2	0,2
Clorotalonil	45	180	-	50	-	-	-
Clorpirifós + clorpirifós- oxon	30	-	90	10	30	-	30
DDT+DDD +DDE **	1	-	*	9	1	-	1
Difenoconazol	30	60	-	-	-	-	-
Dimetoato + ometoato	1,2	12	20	8	-	-	-
Diuron	20	-	150	20	-	-	-
Epoxiconazol	60	18	-	-	-	-	-
Fipronil	1,2	1,2	-	7	-	-	-
Flutriafol	30	60	-	-	-	-	-
Glifosato + AMPA	500	-	280	1.000	-	700	***
Hidroxi-Atrazina	120	-	-	-	-	-	-
Lindano (gama HCH) **	2	-	*	10	2	0,2	2
Malationa	60	-	-	70	190	-	-
Mancozebe + ETU	8	-	-	9	-	-	-
Metamidofós + Acefato **	7	-	-	-	-	-	-
Metolaclo	10	-	50	300	-	-	10
Metribuzim	25	-	80	70	-	-	-
Molinato	6	-	-	4	-	-	6
Paraquate	13	-	7	20	-	-	-
Picloram	60	-	190	300	-	500	-
Profenofós	0,3	-	-	0,3	-	-	-
Propargito	30	-	-	7	-	-	-
Simazina	2	-	10	20	-	40	2
Tebuconazol	180	-	-	-	-	-	-
Terbufós	1,2	-	1	0,9	-	-	-
Tiametoxam	36	120	-	-	-	-	-
Tiodicarbe	90	180	-	-	-	-	-
Tiram	6	-	-	7	-	-	-
Trifluralina	20	-	45	90	-	-	20
Concentração Total	1.675,13		1.118	2.238,5	275,0 3	1.357,2	238,2 3

Fonte: Elaborado pela autora, 2021. Adaptado de: ¹Brasil (2021); ²RS (2014); ³Health Canada (2020); ⁴NHMRC (2018); ⁵BIS (2012); ⁶USEPA (2009); ⁷WHO (2017). Nota: * Parâmetro retirado por não ser mais encontrado na água potável do Canadá; ** Uso proibido no Brasil de acordo com a ANVISA (2017); *** Ocorrem em concentração ínfima em água potável.

Percebe-se que a legislação brasileira, possui os VMP (Tabela 1), com poucas exceções, semelhantes ou iguais aos estabelecidos pela OMS. E em comparação com os demais países/organizações, é a segunda menos restritiva pois, apresenta uma soma dos VMP dos 39 parâmetros de agrotóxicos regulamentados equivalente à $1.675,13 \text{ } 03 \mu\text{g L}^{-1}$ permitidos na água para consumo humano, sendo a legislação da Austrália a menos restritiva, que dos 29 compostos regulamentados, totalizam um VMP de $2.238,5 \mu\text{g L}^{-1}$. Em contrapartida, a legislação estabelecida pela comunidade Econômica Europeia é a mais rígida em termos de legislação mundial, na qual os parâmetros e respectivos valores são referenciados na diretiva Drinking Water Directive 98/83 que é baseada nos guias da OMS. Esta estabelece que a concentração máxima permitida para cada agrotóxico de $0,1 \mu\text{g L}^{-1}$, à exceção de Aldrin, Dieldrin, Heptacloro e Heptacloro epóxido cujo VMP são de $0,03 \mu\text{g L}^{-1}$, já o somatório destes na água potável não pode ultrapassar $0,5 \mu\text{g L}^{-1}$ (FERNANDES NETO, 2010; SCHNEIDER, 2013; UNIÃO EUROPEIA, 1998).

No RS a Portaria n° 320/2014 estabelece 46 parâmetros adicionais de agrotóxicos ao padrão de potabilidade da Portaria n° 888/2021 do MS. Estes agrotóxicos a serem monitorados e seus VMP estão expressos na Tabela 2.

Tabela 2 -VMP de agrotóxicos estabelecidos pela Portaria n° 320/2014 do RS.

Parâmetro	VMP ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Parâmetro	VMP ($\mu\text{g L}^{-1}$)
Abamectina	12	Folpet	600
Acefato+ Metamidofós	4,8	Fomesafem	18
Bifentrina	120	Gama-cialotrina	60
Carbaril	18	Hidrazida maleica	1.800
Cianamida	12	Imazetapir	1.500
Cipermetrina	300	Imidacloprido	300
Ciproconazol*	60	Indoxacarbe	60
Cletodim	60	Iodosulfurom-metilico	180
Clorimurom-etilico	120	Ioxinil octanoato	30
Clorotalonil*	180	Lambda-cialotrina	30
Cresoxim-metil	2.400	Mesotriona	30
Diazinona	12	Metalaxil-m (Mefenoxam)	480
Difenoconazole*	60	Metamitrona	150
Diflubenzuron	120	Metidationa	6
Dimetoato*	12	Metiram + Mancozebe	180
Ditianona	60	Metsulfuron metil	60
Epoxiconazol*	18	Picoxistrobina	258
Etosisulfuron	240	Tembotriona	2,4
Fenitrotriona	30	Tetraconazol	30
Fenoxaprop-p-etilico	15	Tiametoxam*	120
Fentiona	42	Tiodicarbe*	180
Fipronil*	1,2	Tiofanato-metilico + Carbendazim + Benomil	120
Flutriafol*	60	Triciclazol	180

Fonte: Adaptado de RS/SES, 2014. Nota: VMP: Valor Máximo Permitido. * Adicionados em alteração da Portaria de Consolidação n° 05/2017 na Portaria n° 888/2021 do MS.

A decisão do MS de incluir ou excluir substâncias químicas no padrão de potabilidade brasileiro levou em consideração: i) potencial tóxico (classificação quanto à carcinogenicidade da Health Canada, International Agency for Research on Cancer Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) e da United States Environmental Protection Agency (USEPA)) ii) intensidade de uso no país; iii) ocorrência em mananciais de abastecimento e em águas tratadas no país (dados escassos); iv) potencial de ocorrência em mananciais de abastecimento e em águas tratadas no país; v) padrões de potabilidade dos Estados Unidos, Canadá, Austrália e OMS (BRASIL, 2012).

De acordo com Bombardi (2017), a quantidade de agrotóxicos apresentadas na legislação brasileira é pequena em relação ao número total de compostos existentes, visto que o Brasil é destaque no mundo quanto ao mercado de agrotóxicos por ser um dos poucos países onde são produzidos e importados agrotóxicos com princípios ativos proibidos em outros locais, como países da União Europeia (UE), Estados Unidos da América, Canadá, Japão e China (MORAIS, 2009; FERNANDES NETO, 2010). Além disso, o VMP dos agrotóxicos apresentados na legislação é brando, frente aos valores estabelecidos em outros países. Por exemplo, na União Europeia a concentração máxima permitida de glifosato é de $0,1 \mu\text{g L}^{-1}$, enquanto no Brasil admite-se um valor de $500 \mu\text{g L}^{-1}$.

Vale ressaltar que entre os 50 agrotóxicos mais utilizados nas lavouras brasileiras, 22 destes são proibidos na UE (CARNEIRO *et al.*, 2015). Em comparação com as regulamentações europeias, outros estudos revelaram as deficiências da normativa brasileira. Um exemplo é o estudo de Gomes, Spadotto e Lanchotte (2001) que aponta que a legislação nacional é menos restritiva e contempla poucos agrotóxicos em relação à diversidade desses produtos utilizados no país. Da mesma forma, Sarcinelli *et al.* (2005), expõe que embora a legislação brasileira considere os importantes agrotóxicos utilizados, sua amplitude é muito deficiente.

A deficiência da legislação brasileira se caracteriza pelo fato de que a Portaria de Consolidação Nº 288/2021 não especifica alguns princípios ativos relevantes, como as classes dos organofosforados e carbamatos, que são muito utilizados no Brasil e possuem um alto grau de toxicidade.

Ainda, na Portaria nº 888/2021, dentre as substâncias químicas que representam risco à saúde, 48% correspondem a agrotóxicos. Destes, o glifosato, 2,4-D, atrazina, diuron, mancobeze, protioconazol, tebuconazol e epoxiconazol, estão entre os dez agrotóxicos mais consumidos no Brasil (TOOGE, 2019; IBAMA, 2021).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste item estão elencados os materiais e métodos empregados nas análises realizadas para determinação dos parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e quantificação de resíduos de agrotóxicos na água subterrânea destinada ao abastecimento público no meio rural e urbano do município de Cerro Largo/RS. Para tal, serão indicadas nos itens a seguir informações a respeito da região em estudo e sobre o processo de desenvolvimento das atividades à campo e análises laboratoriais.

3.1 TIPO DE ESTUDO

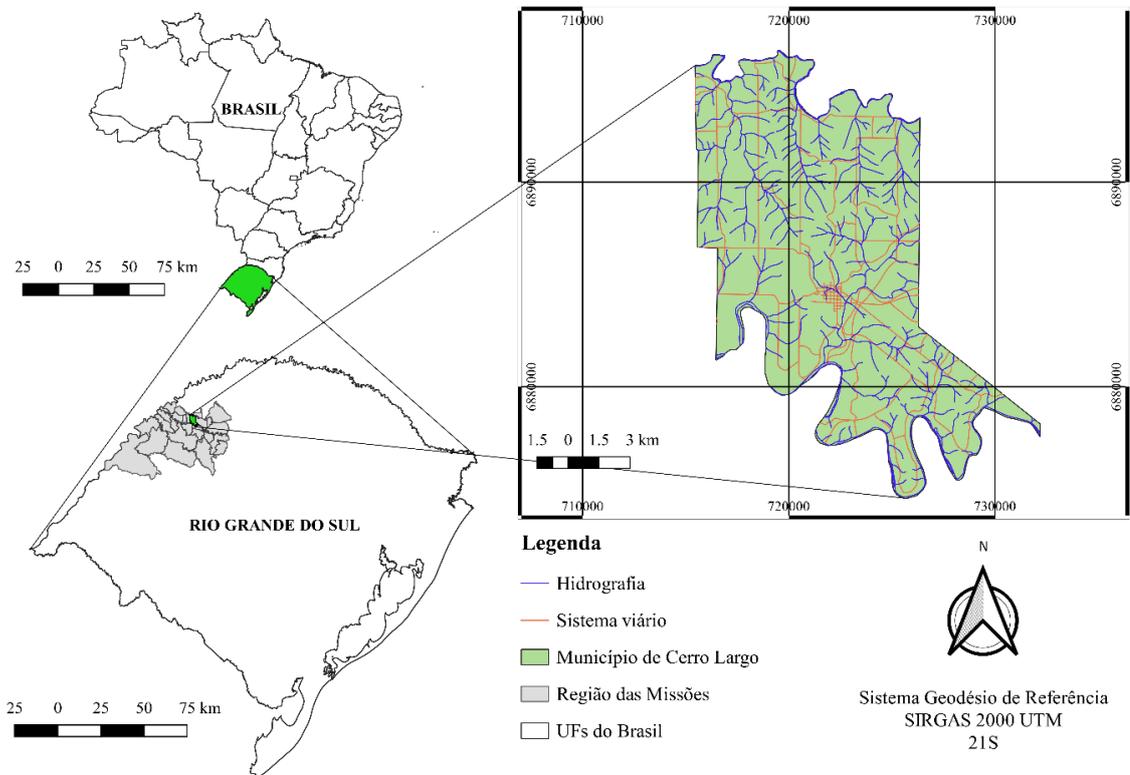
O presente estudo pode ser compreendido como uma pesquisa exploratória conforme o descrito por Lakatos e Marconi (2003), bem como se trata de um estudo que objetiva contribuir para a ampliação de conhecimento e compreensão do problema escolhido e oferecer subsídios para outros trabalhos.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado no município em um Município da Região das Missões no Estado do Rio Grande do Sul (Figura 4). O município apresenta uma altitude de 211 m e a estrutura geológica- geomorfológica da região é classificada como Planalto Norte-riograndense, sendo formado por rochas basálticas oriundas de um derrame de lavas ocorrido na era Mesozóica, apresentando solos do tipo Neossolo e Latossolo (RIO GRANDE DO SUL, 2019).

Segundo o censo demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística do ano de 2019 (IBGE, 2019), o município possui uma área territorial total correspondente a 176,643 km², dispendo de 14.189 habitantes, com uma porção de 65,5 % (9.293,80 hab) residindo em áreas urbanas e 34,5% (4.895,20 hab) em áreas rurais, e densidade populacional de aproximadamente 74,79 hab/km² (IBGE, 2010).

Figura 4 - Mapa de localização do município.



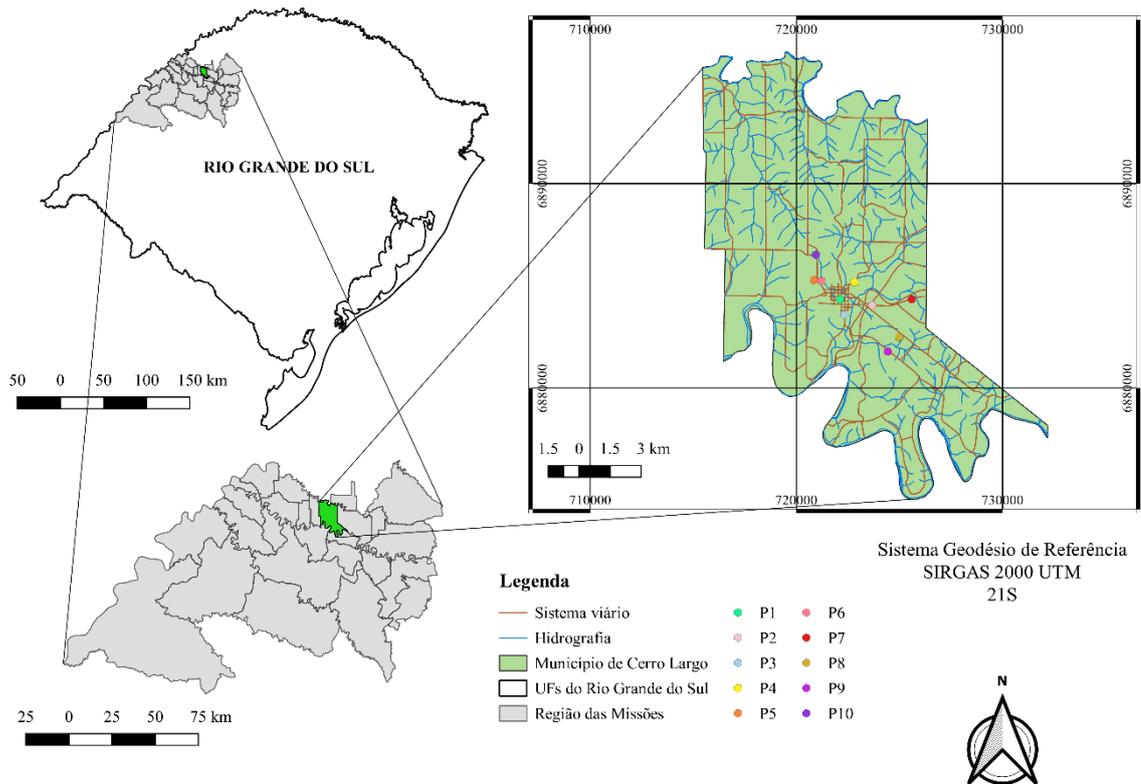
Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Neste município, em grande parte, a prefeitura municipal fica responsável pelos processos de potabilização da água para abastecimento público nas zonas rurais, uma vez que, nas zonas urbanas esse trabalho é de responsabilidade da CORSAN.

3.3 PONTOS DE AMOSTRAGEM

No município foram selecionados 10 pontos para coleta de amostra (Figura 5), a fim de verificar a qualidade da água destinada ao abastecimento público, averiguando as características físicas, químicas e microbiológicas, assim como a presença de resíduos de agrotóxicos na mesma.

Figura 5 - Mapa de localização dos pontos de coleta.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Dentre os 10 pontos elencados, 5 situam-se na zona urbana (P₁ a P₅) e 5 na zona rural (P₆ a P₁₀) (Figura 6 e 7).

Os pontos localizados na zona rural, possuíam poços com acesso para a coleta da água e autorização da prefeitura municipal, sendo, portanto, a amostra de água bruta coletada diretamente em torneira do poço de abastecimento de água. Enquanto que, na zona urbana os poços por motivos de não serem de responsabilidade da municipalidade, foram coletadas amostras de água em residência considerando a uma torneira mais próxima ao registro de água, preferivelmente antes da caixa d'água. Assim, no Quadro 1, encontra-se indicado o ponto e o local de coleta, seja poço ou residência, subdivididos por zona de localização.

Quadro 1 - Ponto e local de coleta das amostras de água subterrânea por zona.

Ponto	Local de coleta	Zona	Tratamento
P ₁	Local público	Urbana	Desinfecção e Fluoretação
P ₂	Residência	Urbana	Desinfecção e Fluoretação
P ₃	Residência	Urbana	Desinfecção e Fluoretação
P ₄	Residência	Urbana	Desinfecção e Fluoretação
P ₅	Residência	Urbana	Desinfecção e Fluoretação
P ₆	Poço	Rural	Desinfecção e Fluoretação
P ₇	Poço	Rural	Desinfecção e Fluoretação
P ₈	Poço	Rural	Desinfecção e Fluoretação
P ₉	Poço	Rural	Desinfecção e Fluoretação
P ₁₀	Poço	Rural	Desinfecção e Fluoretação

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

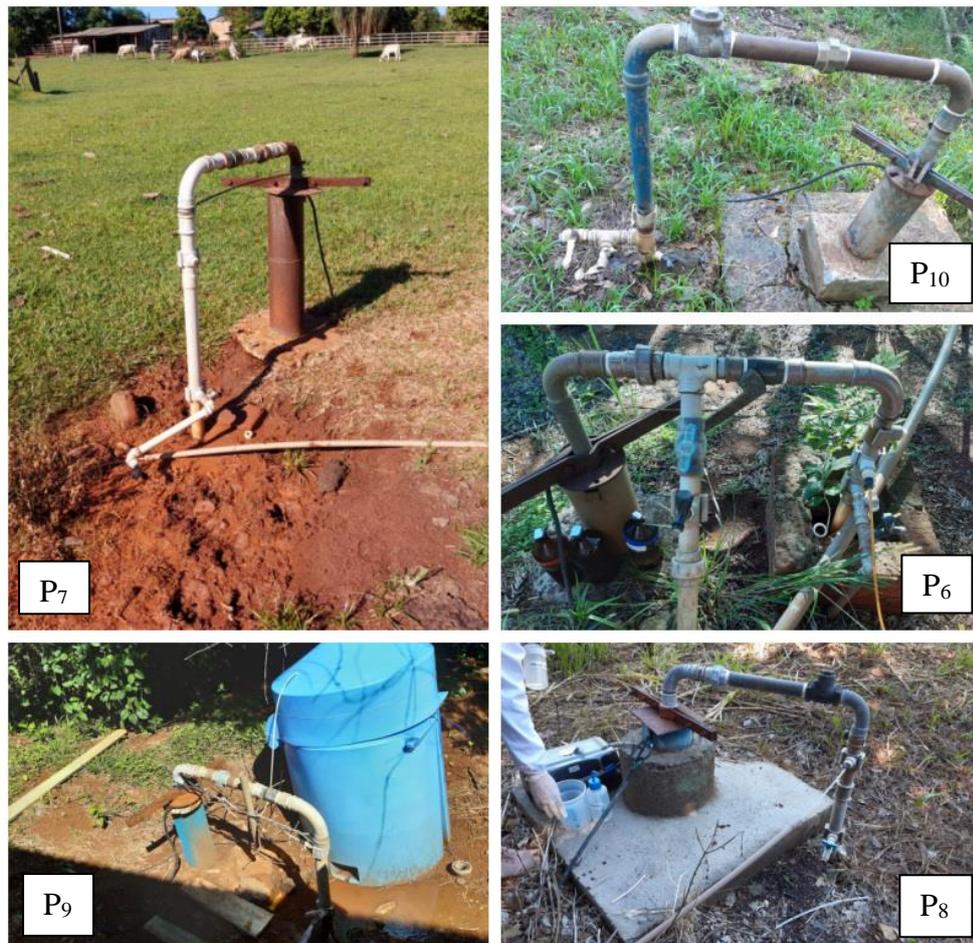
Para fins de não especificação do ponto amostral optou-se por denominar os pontos localizados em área urbana de P₁, P₂, P₃, P₄ e P₅ (escolhidos aleatoriamente) e os pontos localizados na área rural em P₆, P₇, P₈, P₉ e P₁₀, também assim denominados de forma aleatória.

Figura 6 - Pontos de coleta na zona urbana.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Figura 7 - Pontos de coleta na zona rural.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

3.4 PROCEDIMENTO DE COLETA E PRESERVAÇÃO DAS AMOSTRAS

Todo procedimento de coleta nos pontos supracitados (Figura 5) baseou-se na Norma Brasileira (NBR) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) N° 9.898/1978. Sendo realizada a coleta no ano de 2021 no mês de janeiro, e em virtude da Pandemia Covid-19, não foram realizados novos monitoramentos ao longo do referido ano.

Para a coleta da água, frascos de vidro tipo âmbar com capacidade de 1 L para coletas de análises físico-químicas e de agrotóxicos, e frascos de plástico com capacidade de 100 mL para as análises microbiológicas. Os frascos estavam devidamente limpos (Item 3.4.1) e identificados para amostra de cada ponto, contendo o nome do local e data da coleta.

Ao chegar no local, inicialmente foi realizada a higienização da torneira com o uso de algodão embebido em álcool 70%, posteriormente a torneira foi aberta e aguardou-se por 2 minutos para a realização da coleta, com o intuito de que a água contida na tubulação fosse

descartada. Em cada local coletou-se ao total 3 L de amostra nos frascos âmbar e 100 mL nos frascos utilizados para análise microbiológica.

Após cada coleta, as amostras foram direcionadas às caixas térmicas com gelo, de modo a preservá-las até a chegada ao laboratório de análise, onde foram armazenadas em refrigeração a $4\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$, durante um período de 7 dias.

3.4.1 Limpeza das vidrarias

Para coleta de amostra destinada a análises físico-químicas, usou-se frascos tipo âmbar com capacidade de 1 L, os quais passaram por limpeza utilizando apenas o enxague da vidraria com água da torneira e água destilada, sendo repetidos 3 vezes cada um. Enquanto que os frascos de coleta para análise dos parâmetros microbiológicos, passaram por limpeza que constituía em 10 enxagues com água da torneira, 5 enxagues com água destilada, posteriormente deixados em banho com hipoclorito de sódio durante 24 horas. Passado o período de banho, repetiu-se o processo de enxague com água da torneira e água destilada, e após secagem foram destinados a câmara com luz ultravioleta por um período de 1 h, garantindo a esterilização do frasco.

Os frascos para determinação de agrotóxico, do tipo âmbar de 1 L, passaram por um processo mais complexo de limpeza, a qual consistiu em enxaguar a vidraria 5 vezes com água da torneira, 5 vezes com água destilada, e posteriormente aos enxagues encheu-se os mesmos até sua capacidade máxima com detergente de alta pureza Extran® 5%. Após o preenchimento, os frascos permaneceram em molho por um período de 24 h. Por fim, os frascos foram retirados do molho, removendo o detergente e posteriormente repetiu-se os processos de lavagem iniciais, no final foram ainda borrifados com água Milli-Q por 3 vezes.

3.5 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS

Foram realizadas determinações em triplicata dos parâmetros de absorvância λ -264 nm, cor aparente (μH), nitrato (mg L^{-1}), sólidos sedimentáveis (mL L^{-1}), turbidez (μT), coliformes totais e *Escherichia coli*, realizadas *ex situ* no Laboratório de Águas e Ecotoxicologia (Laboratório 114, bloco 3) da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *campus* Cerro Largo/RS, e *in loco* dos parâmetros de cloro residual livre (ppm), utilizando fitas de teste de cloro, oxigênio dissolvido (mg L^{-1}), pH, temperatura ($^{\circ}\text{C}$), condutividade elétrica ($\mu\text{s cm}^{-1}$), com

o uso de sonda multiparâmetro, YSI Professional Plus, calibrada de modo a manter a precisão dos resultados.

A metodologia seguida para a realização das análises dos parâmetros, assim como os equipamentos utilizados para cada análise estão representados no Quadro 2.

Quadro 2 - Metodologias e equipamentos utilizados para análise dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos.

Parâmetro (unidade)	Método	Equipamento
Absorvância λ -264 nm	5910 B APHA ⁽¹⁾ (2005)	Espectrofotômetro Thermo Scientific - Evolution 201
Cloro Residual Livre (ppm)	-	Fita teste de cloro Igui-Oxi®
Coliformes Totais (a/p) ⁽²⁾	SM 9221 C APHA (2005)	Kit COLItest®
Condutividade Elétrica ($\mu\text{s cm}^{-1}$)	2510 B APHA (2005)	Sonda multiparâmetro YSI Professional Plus
Cor Aparente (μH)	2120 B APHA (2005)	Colorímetro Del Lab DLA-COR
<i>Escherichia coli</i> (a/p)	SM 9221 F APHA (2005)	Kit COLItest®
Nitrato (mg L^{-1})	FRIES; GETROST, 1977	Espectrofotômetro Thermo Scientific - Evolution 201
Oxigênio Dissolvido (mg L^{-1})	4500 G APHA (2005)	Sonda multiparâmetro YSI Professional Plus
pH	4500 B APHA (2005)	pHmetro Hanna, HI 2221
Sólidos Sedimentáveis (mL L^{-1})	2540 F APHA (2005)	Método do cone de Imhoff
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	2550 B APHA (2005)	Sonda multiparâmetro YSI Professional Plus
Turbidez (μT)	2130 B APHA (2005)	Turbidímetro PoliControl AP 2000

Fonte: Elaborado pela autora, 2021. Nota: (1): *American Public Health Association*, 2005; (2): Ausente/Presente.

3.6 MÉTODO ANALÍTICO PARA DETERMINAÇÃO DE AGROTÓXICOS EM ÁGUA

A escolha dos agrotóxicos em estudo se deu devido ao seu vasto emprego nas lavouras da região em estudo, bem como pela disponibilidade do método validado para monitoramento pelo Laboratório de Análises Químicas.

3.6.1 Características dos agrotóxicos em estudo

Estão descritas no Quadro 3, as características dos agrotóxicos analisados no estudo, estas sendo informações necessárias para aferir o risco de contaminação dos mananciais hídricos.

Quadro 3 - Características dos agrotóxicos em estudo.

Agrotóxico	Classe	Grupo Químico	CT	Aplicação na agricultura
2,4-D	Herbicida	Ácido ariloxialcanóico	I	Arroz, cana-de-açúcar, milho, pastagem, soja, sorgo, trigo
Atrazina	Herbicida	Triazina	III	Cana-de-açúcar, milho, sorgo
Azoxistrobina	Fungicida	Estrobilurina	III	Algodão, arroz, milho, soja, trigo
Bentazona	Herbicida	Benzotiadiazinona	III	Arroz, milho, soja, trigo
Carbofurano	Inseticida	Carbamato	-	Cana-de-açúcar
Ciproconazol	Fungicida	Triazol	III	Algodão, arroz, milho, soja, trigo
Clomazone	Herbicida	Isoxazolidinona	III	Algodão, arroz, cana-de-açúcar, milho, soja
Difenoconazol	Fungicida	Triazol	I	Algodão, arroz, milho, soja, trigo
Epoxiconazol	Fungicida	Triazol	III	Algodão, arroz, cana-de-açúcar, milho, soja, sorgo, trigo
Fipronil	Inseticida	Pirazol	II	Algodão, arroz, milho, pastagem, sorgo, soja, trigo
ImidaclopridO	Inseticida	Neonicotinóide	II	Algodão, arroz, batata, cana-de- açúcar, feijão, milho, soja, tomate, trigo
Imazapique	Herbicida	Imidazolinona	II	Arroz, cana-de-açúcar, soja
Imazetapir	Herbicida	Imidazolinona	III	Arroz, soja
Malationa	Inseticida	Organofosforado	III	Algodão, arroz, milho, soja, sorgo, trigo
Metsulfurom – metílico	Herbicida	Sulfonilureia	III	Arroz, pastagens, trigo
Penoxsulam	Herbicida	Triazolopirimidina	III	Arroz
Piraclostrobina	Fungicida	Estrobilurina	-	Algodão, cana-de-açúcar, milho, soja, sorgo, trigo
Pirazossulfuro m	Herbicida	Sulfoniluréia	III	Arroz
Pirimicarbe	Inseticida	Carbamato	II	Alface, batata, feijão, trigo
Profenofós	Inseticida	Organofosforado	II	Algodão, milho, soja, trigo
Propanil	Herbicida	Anilida	I	Arroz irrigado
Propiconazol	Fungicida	Triazol	II	Algodão, arroz, milho, soja, trigo
Simazina	Herbicida	Triazina	III	Cana-de-açúcar, milho, sorgo
Tebuconazol	Fungicida	Triazol	IV	Algodão, arroz, cana-de-açúcar, milho, soja, sorgo, trigo
Tiametoxam	Inseticida	Neonicotinóide	III	Arroz, algodão, cana-de-açúcar, milho, pastagem, soja, sorgo, trigo
Trifloxistrobina	Fungicida	Estrobilurina	II	Arroz, algodão, cana-de-açúcar, milho, soja, trigo

Nota: (CT) Classificação Toxicológica.

Fonte: Adaptado de: ANVISA, 2019; UPL, 2017.

3.6.2 Preparo das amostras

O preparo da amostra fez a aplicação da técnica da Extração em Fase Sólida (SPE) para a extração e pré-concentração das amostras, e para a determinação de resíduos de agrotóxicos nas águas subterrâneas utilizadas para o abastecimento público fez-se o uso do equipamento HPCL-MS, modelo LC-MS-2020 da marca Shimadzu®.

O preparo das amostras baseou-se na técnica de Extração em Fase Sólida (SPE), a qual consiste em extrair os analitos contidos numa matriz aquosa, juntamente com os compostos interferentes, após passarem por um cartucho contendo sorvente. Um solvente orgânico seletivo é geralmente utilizado para remover os interferentes e então, outro solvente é usado para lavar os analitos de interesse (BARRIONUEVO *et al.*, 2001; CALDAS *et al.*, 2011; AGUIAR *et al.*, 2018).

O processo de preparo consistiu em diversas etapas, inicialmente ocorreu a filtração da amostra por membrana, a fim de remover qualquer material sólido em suspensão, garantindo que não houvesse interferentes nas análises ou que ocorresse o comprometimento e entupimento do sistema cromatográfico. Foram filtrados em torno de 250 mL de amostra de água de cada ponto, com o auxílio de alguns materiais tais como, copo de vidro, funil com a inclusão da membrana filtrante de acetado de celulose de 0,45 μm , a qual foi substituída para cada amostra, garra para unir e segurar a vedação dos itens anteriores, rolha de silicone para vedação para proporcionar o vácuo, kitassato e uma bomba à vácuo. Na Figura 8 (A) está representado o sistema e equipamentos utilizados para o processo de filtração por membrana.

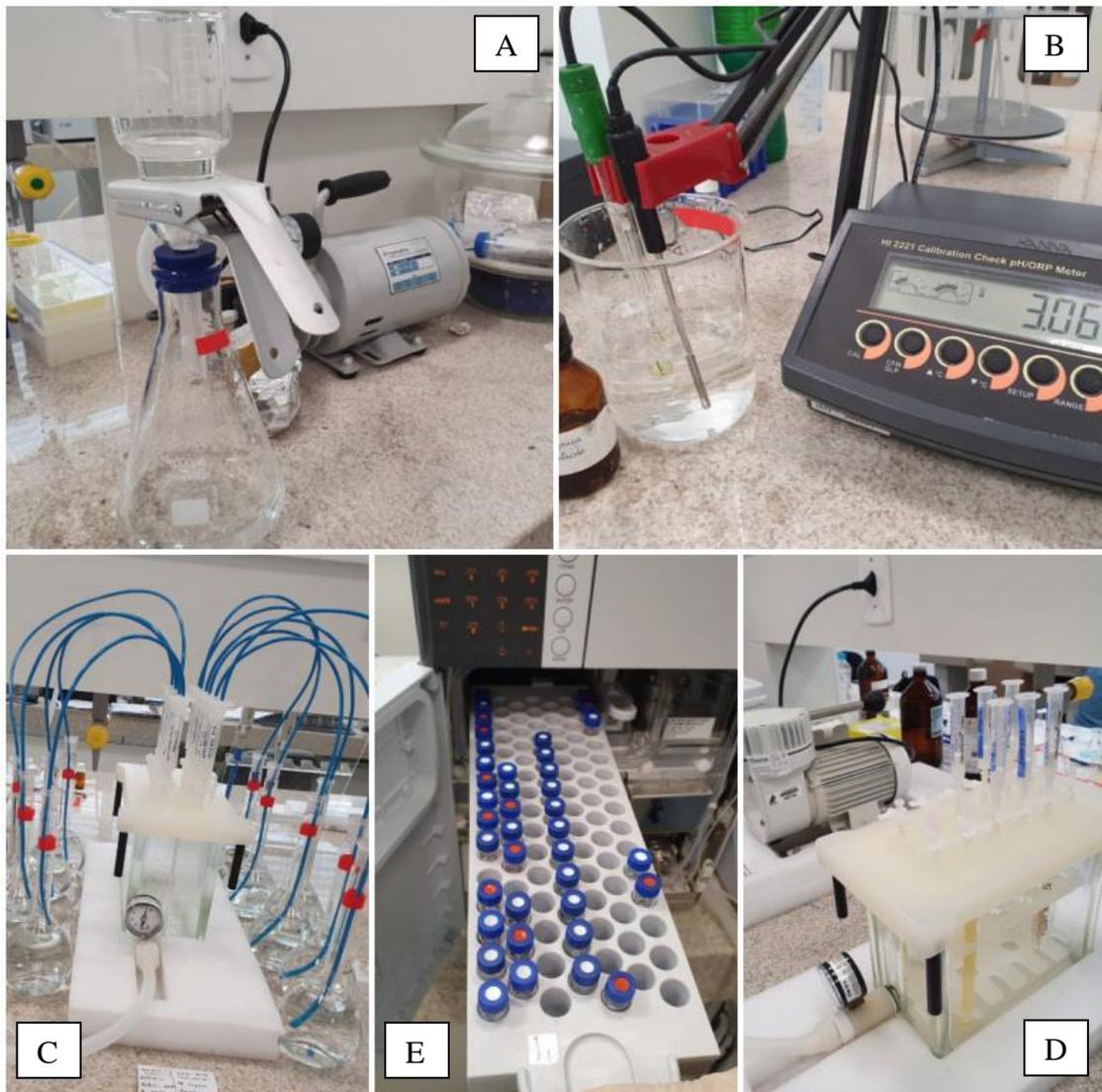
Após a filtração, as amostras foram transferidas e acondicionadas em balões volumétricos aferidas em 250 mL, seguidamente acidificou-se as amostras aplicando o ácido fosfórico 50% até a amostra obter um pH próximo à 3 (Figura 8B) em virtude de que a acidificação permite melhores recuperações para os agrotóxicos com características ácidas.

Posteriormente, para a SPE fez-se necessário a ativação do sorvente realizando o condicionamento dos cartuchos $\text{C}_{18\text{e-c}}$ de 500 mg com capacidade de 3 mL, acoplados no sistema SPE *vacuum* Manifold. A ativação se deu através da adição de 2 mL de metanol e 2 mL de água ultrapura acidificada a pH 3. Esta é executada para que a amostra tenha uma boa interação com o adsorvente, promovendo a adsorção dos compostos de interesse no cartucho. Em seguida conectou-se entre o balão volumétrico (contendo amostra) e os cartuchos uma mangueira de politetrafluoretileno (PTFE), possibilitando que a amostra fosse aspirada. Abriu-se o registro dando início a extração, percolando as amostras nos cartuchos a uma vazão de 10 mL min^{-1} , a qual foi controlada pela bomba à vácuo, a fim de permitir a correta absorção dos compostos de interesse, conforme a Figura 8C. Desta forma a extração teve duração de aproximadamente 30 minutos por amostra. Por fim, tendo toda a amostra percolada, retirou-se os cartuchos do equipamento e os mesmos foram envoltos de papel alumínio, etiquetados e então acondicionados em refrigeração até o momento da eluição.

Para a eluição dos analitos adsorvidos no cartucho, preparou-se o sistema *Manifold* com agulhas especiais encaixadas no segmento interno em direção aos tubos de ensaio volumétricos

para a coleta das amostras (Figura 8D). Adicionou-se duas alíquotas de 1 mL de metanol em cada cartucho para eluir os resíduos de agrotóxicos, obtendo-se ao fim 2 mL de eluato, os quais posteriormente foram armazenados em *vials* (frascos) de vidro, específicos para leitura no HPCL- MS, conforme Figura 8E.

Figura 8 - Processo de preparo das amostras.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021. Nota: (A): Sistema e equipamentos utilizados no processo de filtração por membrana; (B): Processo de acidificação da amostra; (C): Condicionamento e percolamento do cartucho C₁₈; (D): Eluição dos analitos; (E): Armazenamento do eluato em vials destinados a leitura HPCL-MS.

3.6.3 Condições cromatográficas do sistema HPCL-MS

Os procedimentos das análises de quantificação dos agrotóxicos presentes nas amostras foram realizados no Laboratório de Análises Químicas (laboratório 107, bloco 3) da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *campus* Cerro Largo/RS.

As condições do sistema HPCL-MS para detecção e separação cromatográfica foram aprimoradas conforme a metodologia elaborada pelo Laboratório de Química Instrumental da UFFS, com o intuito de obter a melhor detectabilidade para cada composto analisado. Empregou-se os seguintes parâmetros: o equipamento utilizado nas determinações foi o Cromatógrafo Líquido Shimadzu LC-MS 2020 (Figura 9), com fonte de Ionização por Electrospray (ESI), analisador de massa tipo Quádruplo e sistema de aquisição de dados LabSolutions®.

A separação cromatográfica foi realizada em coluna analítica InfiniyLab Poroshell 120 EC-C18 3 x 50mm, 2.7 μm (Agilent ®). A temperatura do forno da coluna foi estabilizada a uma temperatura de 30 °C e a fase móvel foi composta por água ultrapura (A) e metanol (B), ambos acidificados com ácido fórmico grau HPCL a 0,1% e formiato de amônio de 5 mmol L⁻¹, com eluição gradiente conforme descrito na Tabela 3.

Tabela 3 - Gradiente de eluição da fase móvel.

Tempo de análise (min)	% A	% B
0,01	90	10
0,25	90	10
2,00	52	48
8,00	0	100
9,00	0	100
11,00	90	10
13,00	Parada	

Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

Figura 9 – Sistema HPCL.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

3.6.4 Validação do método

Para a validação do método utilizado nas análises de agrotóxicos, seguiu-se a metodologia desenvolvida no Laboratório de Química Instrumental da Universidade Federal da Fronteira Sul, de modo a segurar que sejam atendidas as exigências das aplicações analíticas. Sendo assim, validou-se o método a partir das normas do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO, 2020), para analisar os seguintes parâmetros: seletividade; linearidade/faixa e trabalho/faixa; precisão; exatidão; limite de detecção (LD) e limite de quantificação (LQ).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste item estão descritos os resultados obtidos referentes aos parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados na água de abastecimento público do município de Cerro Largo/RS, assim como a detecção de resíduos de agrotóxicos. Os resultados encontrados foram comparados com o estabelecido pela legislação brasileira acerca da potabilidade da água, e com informações da literatura.

4.1 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS

Os resultados referentes as análises dos parâmetros físico-químicos, absorvância UV λ -254 nm, cor aparente (uH), condutividade elétrica ($\mu\text{s cm}^{-1}$), pH, cloro residual livre (ppm), OD (mg L^{-1}), sólidos sedimentáveis (mL L^{-1}), temperatura ($^{\circ}\text{C}$), turbidez (μT), nitrato (mg L^{-1}), e dos parâmetros microbiológicos presença/ausência de coliformes totais e *Escherichia coli* da água do município de estudo estão apresentados nos itens a seguir.

4.1.1 Presença/ausência de Coliformes totais e *Escherichia coli*

No Quadro 4 estão apresentados os resultados referentes aos parâmetros de coliformes totais e *Escherichia coli* na água subterrânea destinada ao abastecimento público nos 10 pontos analisados no ano de 2021.

Quadro 4 - Coliformes totais e *Escherichia coli* nas amostras de água subterrânea do meio rural e urbano.

Meio urbano	Parâmetro		Meio rural	Parâmetro	
	Coliformes totais (p/a)	<i>Escherichia coli</i> (p/a)		Coliformes totais (p/a)	<i>Escherichia coli</i> (p/a)
P ₁	Ausente	Ausente	P ₆	Ausente	Ausente
P ₂	Ausente	Ausente	P ₇	Ausente	Ausente
P ₃	Ausente	Ausente	P ₈	Ausente	Ausente
P ₄	Ausente	Ausente	P ₉	Ausente	Ausente
P ₅	Ausente	Ausente	P ₁₀	Ausente	Presente

Fonte: Elaborado pela autora, 2021. Nota: P₁ a P₅ (Pontos amostrais da zona urbana); P₆ a P₁₀ (Pontos amostrais da zona rural), (p/a): presente/ausente.

Segundo os resultados obtidos, verificou-se que dos 10 pontos de coleta analisados), nenhum (0%) apresentou resultados de presença de coliformes totais e um (10 %) apresentou

E. coli nas águas. Portanto percebe-se que a água subterrânea de 90 % dos 10 pontos analisados se encontra em conformidade com a Portaria de Consolidação nº 05/2017 e Portaria nº 888/2021, ambas do MS, em exceto o ponto P₁₀ (zona rural), visto que, para o abastecimento público, os parâmetros microbiológicos coliformes totais e *E. coli* devem estar ausentes em 100 mL de água.

Cabe destacar que os 10 pontos amostrados possuíam tratamento de desinfecção por cloração, e segundo Fernandes (2011), se a água passar por este processo de tratamento, seja com o emprego de cloro ou outro produto desinfetante, não deve conter organismos coliformes numa amostra de 100 mL, corroborando com a Portaria de Consolidação nº 5/2017 do MS. Contudo, uma amostra apresentou a detecção de *E. coli* (P₁₀), o que indica uma possível ineficiência do tratamento por desinfecção neste local, podendo ser causada por problemas de funcionamento adequado dos dosadores de desinfetante ou ainda uso incorreto de dosagem por parte dos responsáveis por este processo, ou até nenhum tipo de tratamento. Ressalta-se que no caso de ocorrer a presença de *E. coli* nas águas de abastecimento público, o consumo desta deve ser proibido até que este organismo se ausente (FERNANDES, 2011).

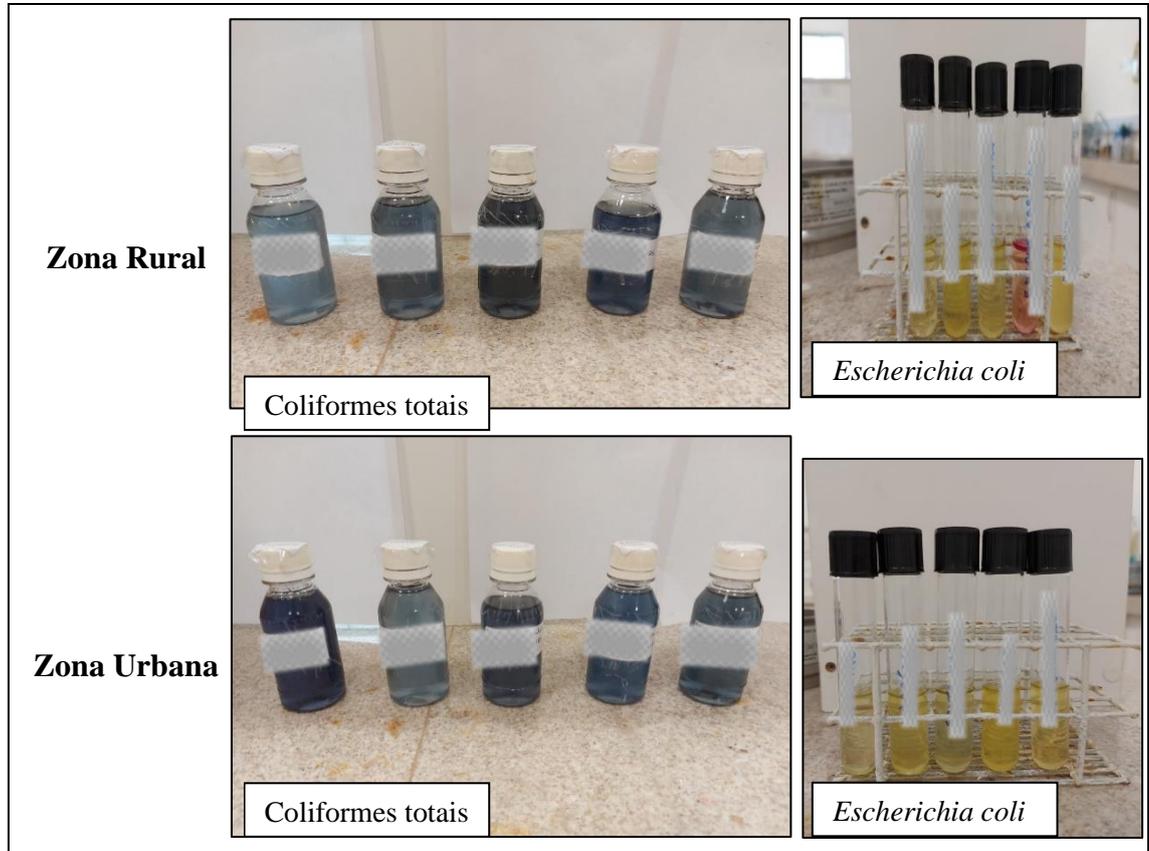
Em se tratando destes resultados destaca-se que, para a obtenção dos mesmos, realizou-se a análise e a mesma foi refeita e reconferida, a fim de se obter confiabilidade e minimizar a possibilidade da ocorrência de erros.

No que se refere a *E. coli*, identificada no P₁₀, esse subgrupo das bactérias do grupo coliformes, de origem fecal, tem sido abundantemente encontrada em águas naturais, esgotos e solos que tenham recebido contaminação fecal recente (SALES, 2005; ZIESE *et al.* 2000). Segundo Von Sperling (2005), a presença de *E. coli* nas águas consiste em um problema de grande relevância para a saúde pública.

Considera-se ainda que, por se tratar da zona rural, constatou-se que apenas um ponto amostral apresenta contaminação por coliformes, podendo ainda, estar vinculado a falha no saneamento básico neste local, em virtude de que na área em estudo, em média, apenas 40,8 % das residências dispõem de esgotamento sanitário adequado (IBGE, 2010). Esta contaminação também pode ser oriunda da intrusão das águas superficiais, derramamento das fossas negras, causadas pelo maior fluxo e movimento da água do aquífero em períodos mais chuvosos.

Levando em consideração que para ter a presença de *E. coli* nas águas deve-se detectar a presença de coliformes totais durante análise (Figura 10), o que no caso do ponto (P₁₀) possivelmente a ínfima concentração de coliformes totais não foi detectada pelo método utilizado (Kit COLItest®).

Figura 10 - Análise de Coliformes totais e Escherichia coli nas amostras de água subterrânea do meio rural e urbano.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

4.1.2 Absorvância λ - 254 nm

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados obtidos para absorvância UV (λ - 254 nm) da água subterrânea destinada ao abastecimento público nos 10 pontos analisados no ano de 2021.

Tabela 4 - Absorvância (λ -254 nm) das amostras de água subterrânea do meio rural e urbano.

Meio urbano	Absorvância (λ -254 nm)	Meio rural	Absorvância (λ -254 nm)
P ₁	0,010 \pm 0,001	P ₆	0,003 \pm 0
P ₂	0,009 \pm 0	P ₇	0,001 \pm 0
P ₃	0,016 \pm 0	P ₈	0,012 \pm 0,001
P ₄	0,041 \pm 0,001	P ₉	0,004 \pm 0,001
P ₅	0,005 \pm 0,001	P ₁₀	0,016 \pm 0

Fonte: Elaborado pela autora, 2021. Nota: P₁ a P₅ (Pontos amostrais da zona urbana); P₆ a P₁₀ (Pontos amostrais da zona rural).

Para os pontos amostrais (Figura 5), de acordo com a Tabela 4, os valores acerca do parâmetro absorvância (λ - 254 nm), variaram de 0,005 a 0,041 com um desvio padrão de \pm 0,001 no comprimento de onda 254 nm na zona urbana. Na zona rural, a absorvância (λ - 254 nm), variou de 0,001 a 0,016 com um desvio padrão de \pm 0,001. Portanto, apesar de todos os valores obtidos forem considerados baixos, na zona urbana tem-se resultados mais altos que na zona rural.

A absorvância λ - 254 nm não é considerada um parâmetro de potabilidade pela Portaria de Consolidação nº 05/2017 e na Portaria nº 888/2021, ambas do MS. Este parâmetro está relacionado a presença de matéria orgânica nos corpos d'água, sejam subterrâneos ou superficiais, apesar disso vem sendo usada como possível substituto para a medida de matéria orgânica dissolvida (MOD), representando compostos aromáticos (ALBREKTIENE *et al.*, 2012), dado que este parâmetro viabiliza uma avaliação indireta substitutiva para o teor de matéria orgânica. Geralmente a MOD ocorre espontaneamente em águas naturais, sendo capaz de carrear contaminantes tóxicos e metais, além disso contribui para a formação de biofilmes na rede de distribuição de água, cuja presença propicia a presença de cor, sabor e odor (MATILAINEN *et al.*, 2011). A presença de MOD é indicada por valores de carbono orgânico total variando entre 0,2 e 15 mg L⁻¹ (LEAL, 2013).

Os baixos valores de absorvância λ - 254 nm (Tabela 4) obtidos podem ser consequentes do tipo de solo da região em estudo, os quais são divididos em Latossolos e Neossolos. Entre estes, os neossolos são os que podem apresentar camada de material orgânico, pouco espesso e com menos de 20 cm de altura. Já os latossolos são constituídos por matéria mineral (EMBRAPA, 2018).

Segundo Albrektiene *et al.* (2012), valores altos de absorvância λ - 254 nm (\leq 0,2) indicam que existe alta concentração de carbono orgânico nas águas, assim como no estudo realizado por Leal (2013), no qual o autor relata que isto ocorreu em razão da região em estudo ser composta por mangues ou terrenos alagadiços, os quais são locais característicos por apresentarem elevados teores de matéria orgânica. Sendo assim, os valores baixos encontrados podem estar relacionados com a ausência de locais úmidos como mencionados no estudo citado anteriormente.

4.1.3 Cloro Residual Livre

Na Tabela 5 estão apresentados os resultados obtidos para cloro residual livre da água subterrânea destinada ao abastecimento público nos 10 pontos analisados no ano de 2021.

Tabela 5 - Cloro residual livre das amostras de água subterrânea do meio rural e urbano.

Meio urbano	Cloro residual livre (ppm)	Meio rural	Cloro residual livre (ppm)
P₁	0 (< 0,01)	P₆	0 (< 0,01)
P₂	0 (< 0,01)	P₇	0 (< 0,01)
P₃	0 (< 0,01)	P₈	0 (< 0,01)
P₄	0,5 (< 0,01)	P₉	0 (< 0,01)
P₅	0 (< 0,01)	P₁₀	0 (< 0,01)

Fonte: Elaborado pela autora, 2021. Nota: P₁ a P₅ (Pontos amostrais da zona urbana); P₆ a P₁₀ (Pontos amostrais da zona rural).

Segundo os resultados obtidos, verificou-se que dos 10 pontos de coleta analisados (Figura 5), houve detecção de cloro residual livre na água, apenas no ponto P₄ (zona urbana), com um valor de 0,5 ppm.

Portanto, obteve-se valor referente ao cloro residual livre apenas em um ponto amostral, sendo este localizado na zona urbana do município, já os demais desta zona e na rural, tiveram resultados igual à zero.

Segundo a legislação nº 888/2021 do MS, toda água fornecida coletivamente para consumo humano deve passar por um processo de desinfecção ou adição de desinfetante para manutenção dos residuais mínimos (BRASIL, 2021). A desinfecção tem caráter corretivo e preventivo, considerando que a água pode ser contaminada ao longo do percurso até o consumo. Em geral, considera-se que um teor de cloro residual livre de 0,2 mg/L a 0,5 mg/L é adequado e suficiente para a desinfecção bacteriana (OMS, 1995).

A Portaria de Consolidação nº 05/2017 e na Portaria nº 888/2021, ambas do MS, preconiza em seu Art. 34 a obrigação de manter no mínimo 0,2 mg L⁻¹ de cloro residual livre ou 2 mg L⁻¹ de cloro residual combinado ou de 0,2 mg L⁻¹ de dióxido de cloro em toda a extensão do sistema de distribuição (reservatório e rede) e nos pontos de consumo. E em relação ao padrão de potabilidade para subprodutos da desinfecção que representam riscos à saúde, a legislação estabelece um VMP de 5 mg L⁻¹ de CRL (BRASIL, 2021). Portanto, apenas o ponto P₄ está de acordo com o estabelecido, com um valor superior ao mínimo exigido e dentro do valor máximo permitido para consumo.

A ausência de teor de cloro residual livre na água pode permitir a contaminação biológica na rede de distribuição de água, já que faz-se a utilização de cloro para a desinfecção. Fato comprovado nas análises microbiológicas deste estudo, já que o ponto em que houve presença de *E.coli*, (P₁₀) é um dos que apresentou ausência de cloro residual livre na água. Salienta-se que nenhum ponto no meio rural apresentou cloro residual livre na água, sugerindo também a ineficiência ou não realização de tratamento nestes locais.

Já em estudo realizado por Richert (2018), no município de Roque Gonzales/RS, também pertencente à região das missões, os resultados obtidos em 2 pontos amostrais variaram de 0,5 mg L⁻¹ e 1 mg L⁻¹, estando de acordo com o valor estipulado pela Portaria nº 888/2021 do MS, e assim como no presente estudo, nos demais pontos amostrais não se obteve presença do parâmetro.

4.1.4 Condutividade elétrica

Na Tabela 6 estão apresentados os resultados obtidos de condutividade elétrica da água subterrânea destinada ao abastecimento público nos 10 pontos analisados no ano de 2021.

Tabela 6 - Condutividade elétrica das amostras de água do meio rural e urbano.

Meio urbano	Condutividade elétrica (µs cm⁻¹)	Meio rural	Condutividade elétrica (µs cm⁻¹)
P₁	59,6	P₆	45,8
P₂	54,5	P₇	46,8
P₃	61,9	P₈	51,7
P₄	77,8	P₉	43,8
P₅	107,4	P₁₀	50,6

Fonte: Elaborado pela autora, 2021. Nota: P₁ a P₅ (Pontos amostrais da zona urbana); P₆ a P₁₀ (Pontos amostrais da zona rural).

Segundo os valores apresentados na Tabela 6, verificou-se que a condutividade elétrica das amostras de água subterrânea, variou de 54,5 a 107,4 µs cm⁻¹ na zona urbana (P₁ a P₅), e na zona rural de 43,8 a 51,7 µs cm⁻¹ (P₆ a P₁₀). Portanto, os valores obtidos na zona urbana são consideravelmente mais altos que os da zona rural.

A condutividade elétrica está relacionada à quantidade de íons dissolvidos no meio, que geralmente são oriundos de sais inorgânicos, como o cálcio, magnésio, sódio, potássio, carbonato, bicarbonato, cloreto, sulfato e nitrato (YAMAGUISHI, 2013). De acordo com a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2017), este parâmetro aumenta na

proporção que há a adição de sólidos dissolvidos na água, principalmente pelo acréscimo de material em estado coloidal orgânico e inorgânico, estando relacionado a esgotos domésticos.

Apenas uma amostra (P₅) apresentou condutividade elétrica acima de 100 $\mu\text{s cm}^{-1}$. Posto isto, deduz-se que a água deste ponto amostral está negativamente impactada por ação antrópica.

A condutividade elétrica não é considerada um parâmetro de potabilidade pela Portaria de Consolidação n° 05/2017 e na Portaria n° 888/2021, ambas do MS. Apesar disso, este parâmetro representa uma medida indireta da concentração de poluentes existentes na água, das quais valores que ultrapassem 100 $\mu\text{s cm}^{-1}$ são indesejados e podem estar associados a ambientes impactados negativamente (CETESB, 2017; VON SPERLING, 2007; FREDDO FILHO, 2018), os quais são originados através de resíduos de avícolas, bovinos e suínos, bem como da utilização de fertilizantes e da contribuição de esgotos (RAJU *et al.*, 2015).

4.1.5 Cor aparente

Todos os resultados referentes a cor aparente da água subterrânea destinada ao abastecimento público dos pontos analisados no ano de 2021, foram iguais à zero, considerando-se portanto, abaixo do limite de detecção.

Portanto, identifica-se que os valores de cor aparente obtidos em todos os pontos amostrais estão de acordo com a Portaria de Consolidação n° 05/2017 e na Portaria n° 888/2021, ambas do MS, na qual o VMP é de 15 μH . Valores inferiores a 10 uH são dificilmente perceptíveis (FUNASA, 2014).

A cor aparente das águas subterrâneas tende a ser baixa devido as suas características de própria filtragem e purificação, que remove o material em suspensão, gerador de cor nas águas. E, a ocorrência desta pode estar relacionada com presença de sólidos dissolvidos, principalmente material orgânico e inorgânico no estado coloidal, dentre os quais podem ser citados substâncias naturais decorrentes da decomposição de compostos orgânicos, ou produzidos pelo lançamento de esgotos domésticos e industriais que igualmente formam material orgânico em estado coloidal (CETESB, 2016). Apesar disso, está relacionada a presença de compostos inorgânicos como óxidos de ferro e manganês normalmente presentes em diversos tipos de solos, incluindo o solo tipo Latossolo, típico da região em estudo (CETESB, 2018).

4.1.6 Nitrate

Na Tabela 7 estão apresentados os resultados referentes ao parâmetro nitrato na água subterrânea destinada ao abastecimento público nos 10 pontos analisados no ano de 2021.

Tabela 7 - Nitrate nas amostras de água subterrânea do meio rural e urbano.

Meio urbano	Nitrato (mg L⁻¹)	Meio rural	Nitrato (mg L⁻¹)
P₁	0,332 ± 0,056	P₆	0,128 ± 0,017
P₂	0,089 ± 0,004	P₇	0,302 ± 0,029
P₃	0,078 ± 0,018	P₈	0,238 ± 0,049
P₄	0,069 ± 0,015	P₉	0,200 ± 0,025
P₅	0,162 ± 0,027	P₁₀	0,100 ± 0,013

Fonte: Elaborado pela autora, 2021. Nota: P₁ a P₅ (Pontos amostrais da zona urbana); P₆ a P₁₀ (Pontos amostrais da zona rural).

Conforme a Tabela 7 é possível verificar que as concentrações de nitrato das amostras de água subterrânea variaram de 0,069 a 0,332 mg L⁻¹ na zona urbana, e de 0,100 a 0,302 mg L⁻¹ na zona rural do município em estudo, logo houve a detecção de nitrato em todas as amostras analisadas. Portanto, os valores obtidos na zona urbana são aproximados dos da zona rural.

De acordo com a Portaria de Consolidação nº 05/2017 e na Portaria nº 888/2021, ambas do MS, o VMP para concentração de nitrato em águas de consumo humano é 10 mg L⁻¹, sendo assim, nenhuma amostra de água esteve em desconformidade com o estabelecido por essa portaria.

O nitrato pode ser encontrado naturalmente em águas subterrâneas com teores que variam de 0,1 a 10 mg L⁻¹ (BAIRD, 2002 apud BIGUELINI; GUMY, 2012). No entanto, valores superiores à 3 mg L⁻¹ são indicativos de contaminação antrópica (CAMPOS, 2004), e segundo a CETESB (2017), níveis mais elevados (≤ 10 mg L⁻¹) deste composto são tóxicos e causam uma doença chamada metahemoglobinemia infantil (ou síndrome do bebê azul), que é mortal para crianças.

Destaca-se que o nitrato é um contaminante inorgânico de maior ocorrência em aquíferos no mundo devido à sua alta mobilidade e persistência, frequentemente presente nas águas subterrâneas, tanto em zonas rurais como urbanas, fato que causa uma constante preocupação por parte dos gestores dos recursos hídricos voltada aos casos de altas concentrações deste composto nos mananciais hídricos subterrâneos em diversos países, uma vez que são indicadores da contaminação antrópica (MOURA *et al.*, 2015; CTAS/CRH, 2019).

4.1.7 Oxigênio Dissolvido

Na Tabela 8 estão apresentados os resultados referentes ao parâmetro oxigênio dissolvido (OD) da água subterrânea destinada ao abastecimento público nos 10 pontos analisados no ano de 2021.

Tabela 8 – Resultados de OD das amostras de água subterrânea do meio rural e urbano.

Meio urbano	OD (mg L⁻¹)	Meio rural	OD (mg L⁻¹)
P₁	7,63	P₆	7,21
P₂	6,79	P₇	10,61
P₃	6,80	P₈	8,86
P₄	3,40	P₉	11,04
P₅	9,35	P₁₀	3,21

Fonte: Elaborado pela autora, 2021. Nota: P₁ a P₅ (Pontos amostrais da zona urbana); P₆ a P₁₀ (Pontos amostrais da zona rural).

Conforme a Tabela 8 é possível verificar que as concentrações de OD nas amostras de água subterrânea variaram de 3,40 a 9,35 mg L⁻¹ na zona urbana, e de 3,21 a 11,04 mg L⁻¹ na zona rural do município em estudo. Portanto, os valores obtidos na zona urbana são aproximados dos da zona rural, os quais são considerados baixos, porém normais, visto que o nível de OD em águas subterrâneas é mais baixo devido à baixa superfície em contato com o ar (SOUZA *et al.*, 2004).

Em estudo realizado por Blank e Vieira (2014), foram realizadas três coletas, do mês de março, abril e maio de 2009, sendo as amostras de água provenientes de três poços rasos do Bairro Três Vendas da cidade de Pelotas/RS. Nas análises feitas, foram determinados índices de OD médio entre 5,27 a 7,80 mg L⁻¹, e segundo os autores, o ponto no qual obteve-se o maior média de OD, apresentou menor valor para matéria orgânica. Enquanto que os valores de OD obtidos por Souza *et al.* (2004) variaram entre 3,14 e 9,74 mg L⁻¹, com valor médio estabelecido em 5,69 mg L⁻¹, para as águas subterrâneas de um bairro do município de Santa Maria/RS.

Ainda, de acordo com Tomić *et al.* (2017), o parâmetro OD é um dos mais importantes relacionados a qualidade de vida dos organismos aquáticos, pois descreve diretamente o estado do ecossistema em sua capacidade de sustentar a vida. No entanto, devido à baixa velocidade de fluxo subterrâneo, as águas subterrâneas tendem a possuir menor teor de OD quando comparado com as águas superficiais. Os valores normalmente encontrados em águas subterrâneas variam de 0 a 5 mg L⁻¹ (FEITOSA; MANOEL FILHO, 1997), porém o Ministério

da Saúde considera como suficiente, teores mínimos de 2 a 5 mg L⁻¹ de acordo com o grau de exigência de cada organismo (BRASIL, 2006).

Contudo, a Portaria de Consolidação nº 5/2017 e Portaria nº 888/2021, ambas do MS, não consideram o OD como um parâmetro de potabilidade da água, não sendo possível estabelecer uma comparação dos resultados obtidos. Porém, se comparados aos teores mínimos de OD para manutenção da vida aquática aeróbica estabelecidos pelo MS, os valores encontrados estão de acordo com os valores mínimos.

4.1.8 pH

Na Tabela 9 estão apresentados os resultados referentes ao pH da água subterrânea destinada ao abastecimento público nos 10 pontos analisados no ano de 2021.

Tabela 9 - Valor de pH das amostras de água subterrânea do meio rural e urbano.

Meio urbano	pH	Meio rural	pH
P₁	6,93	P₆	7,08
P₂	7,63	P₇	7,12
P₃	7,90	P₈	7,13
P₄	8,14	P₉	6,90
P₅	6,94	P₁₀	7,77

Fonte: Elaborado pela autora, 2021. Nota: P₁ a P₅ (Pontos amostrais da zona urbana); P₆ a P₁₀ (Pontos amostrais da zona rural).

Segundo os valores apresentados na Tabela 9, verificou-se que os resultados obtidos de pH das amostras de água subterrânea variaram de 6,93 a 8,14 na zona urbana, e de 6,90 a 7,77 na zona rural do município em estudo. Percebe-se, que houve maior variação de pH, na zona urbana.

A Portaria de Consolidação nº 05/2017 do MS e na Portaria nº 888/2021, ambas do MS, recomenda uma variação do pH da água de abastecimento público seja mantida em uma faixa de 6,0 a 9,5. Portanto, é possível identificar que 100% dos pontos amostrais, tanto em zona urbana quanto rural, estão de acordo com o estabelecido pela portaria, apresentando valores dentro da faixa de variação. Percebe-se que foram encontrados valores de pH próximos a neutralidade (pH 7,0), e segundo Motta e Frinhani (2012), águas com tendências neutras são atribuídas as áreas do sistema aquífero Serra Geral, que é característica hidrogeológica da área estudada.

A maioria das águas subterrâneas, em seu estado natural, possuem pH entre 5,5 e 8,5 (CERQUEIRA, 2014). No estudo realizado por Motta e Frinhani (2012), foram analisadas águas subterrâneas de 60 poços localizados em municípios do estado de Santa Catarina (SC), e determinou-se um pH médio de 7,58, máximo de 9,87 e mínimo de 6,00. Enquanto Cerqueira (2014), ao analisar as águas subterrâneas de poços artesianos rasos e profundos de São João da Barra/RJ, foram obtidos valores de pH entre 7,9 e 6,98. E, essas variações do pH segundo a FUNASA (2014), podem ocorrer naturalmente, através da dissolução das rochas ou fotossíntese, ou ainda de origem antropogênica, por meio da descarga de efluentes domésticos e industriais.

4.1.9 Sólidos Sedimentáveis

Na Tabela 10 estão apresentados os resultados referentes aos sólidos sedimentáveis na água subterrânea destinada ao abastecimento público nos 10 pontos analisados no ano de 2021.

Tabela 10 - Sólidos sedimentáveis nas amostras de água subterrânea do meio rural e urbano.

Meio urbano	Sólidos sedimentáveis (mL L⁻¹)	Meio rural	Sólidos sedimentáveis (mL L⁻¹)
P₁	≤ 0,01*	P₆	≤ 0,01*
P₂	≤ 0,01*	P₇	≤ 0,01*
P₃	≤ 0,01*	P₈	≤ 0,01*
P₄	≤ 0,01*	P₉	≤ 0,01*
P₅	≤ 0,01*	P₁₀	≤ 0,01*

Fonte: Elaborado pela autora, 2021. Nota: P₁ a P₅ (Pontos amostrais da zona urbana); P₆ a P₁₀ (Pontos amostrais da zona rural); * menor valor de detecção do método.

Foi possível observar, conforme apresentado na Tabela 10 que as amostras de água subterrânea não apresentaram sólidos sedimentáveis detectáveis pelo método, sendo que em todos os pontos amostrais este valor foi inferior a 0,01.

Segundo Von Sperling (2005), os sólidos que adentram na água de forma natural por meio de organismos e detritos orgânicos, ou de forma antropogênica, através do lançamento de resíduos sólidos e efluentes (FUNASA, 2014), podem ser classificados de acordo com seu tamanho e estado (pelos sólidos totais, sólidos suspensos e sólidos dissolvidos), pelas suas propriedades químicas (sólidos voláteis e sólidos fixos) e por sedimentabilidade (sólidos em suspensão sedimentáveis e sólidos em suspensão não sedimentáveis). De acordo com a ABNT NBR N° 10.561 de dezembro de 1988, sólidos sedimentáveis é o material em suspensão que sedimenta por ação da gravidade. Apenas sólidos suspensos com alta sedimentação, que

possuem um peso específico superior ao da água, decantarão. O acúmulo destes sólidos sedimentados forma o lodo (NUNES *et al.*, 2015).

Apesar dos sólidos sedimentáveis serem considerados indicadores de poluição e constituem um parâmetro importante de legislações (PROMATEC, 2020), este não é considerado um parâmetro de potabilidade pela Portaria de Consolidação nº 05/2017 e na Portaria nº 888/2021, ambas do MS.

4.1.10 Temperatura

Na Tabela 11 estão apresentados os resultados referentes a temperatura da água subterrânea destinada ao abastecimento público nos 10 pontos analisados no ano de 2021.

Tabela 11 - Temperatura das amostras de água subterrânea do meio rural e urbano.

Meio urbano	Temperatura (°C)	Meio rural	Temperatura (°C)
P₁	22,2	P₆	22,4
P₂	23,7	P₇	23,3
P₃	26,9	P₈	21,2
P₄	26,1	P₉	21,4
P₅	25,2	P₁₀	21

Fonte: Elaborado pela autora, 2021. Nota: P₁ a P₅ (Pontos amostrais da zona urbana); P₆ a P₁₀ (Pontos amostrais da zona rural).

Os resultados da temperatura, conforme exposto pela Tabela 11, apresentaram variações de 22,2 a 26,9 °C na zona urbana, e de 21 a 23,3 na zona rural do município em estudo. Entretanto, a Portaria de Consolidação nº 05/2017 e na Portaria N° 888/2021, ambas do MS, não determina um VMP ou um intervalo de valores para o parâmetro temperatura da água de consumo humano, por ser um fator ambiental que muda diariamente, sendo difícil manter um controle para o abastecimento público.

As maiores temperaturas foram na área urbana e isso pode ter relação com o ponto de coleta e não com a água subterrânea em si. E segundo a CETESB (2017), as variações de temperatura são parte do regime climático normal e corpos de água naturais apresentam variações sazonais e diurnas, bem como estratificação vertical, e é afetada por fatores como latitude, altitude, estação do ano, hora do dia, fluxo e profundidade. Estas mudanças na temperatura, além de serem causadas por fontes naturais, podem se de forma antropogênica através do despejo de efluentes industriais nos quais encaixa-se a água utilizada para resfriamento de máquinas (FUNASA, 2014).

A temperatura pode ser apontada como a característica mais importante do meio aquático, uma vez que as propriedades físicas, químicas e biológicas da água sofrem influência da temperatura. Pode afetar a palatabilidade da água pela intensificação de gosto e odor, sendo desagradável ao paladar águas com temperaturas superiores a 27,0° C (SCHWARZBACH; MORANDI, 2000).

Em relação à qualidade da água, a temperatura é importante porque acelera as reações químicas e reduz a solubilidade dos gases, além de realçar o sabor e o cheiro da água natural. Geralmente as águas subterrâneas apresentam pequena variação térmica, pois sua temperatura não é afetada pelas mudanças da temperatura atmosférica, em exceto para os aquíferos subterrâneos rasos. Em profundidades maiores, a temperatura da água é afetada pelo grau geotérmico local (CERQUEIRA, 2014).

4.1.11 Turbidez

Os resultados de turbidez da água subterrânea apresentados não oscilaram, permanecendo em 0 μ T em todos os pontos amostrais da zona rural e urbana. Logo, os resultados de turbidez obtidos em todos os pontos estão de acordo com o estabelecido pela Portaria de Consolidação nº 05/2017 e na Portaria nº 888/2021, ambas do MS, na qual estipula que o VMP é 5 μ T para águas sem desinfecção e 1 μ T para águas pós-desinfecção.

Pesquisadores da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA, 2014) consideraram a turbidez como um dos parâmetros de qualidade para a avaliação das características físicas da água bruta e da água tratada. E segundo eles a turbidez natural das águas está, geralmente, compreendida na faixa de 3 a 500 μ T e para fins de potabilidade esta deve ser inferior a 1 μ T. Tal restrição fundamenta-se na influência da turbidez nos processos usuais de desinfecção, atuando como escudo aos micro-organismos patogênicos, minimizando a ação do desinfetante. Além disso, as partículas de turbidez transportam matéria orgânica absorvida que podem provocar sabor e odor. A turbidez é mais frequente em águas correntes devido ao carreamento de areia e argila pelas mesmas.

Os resultados obtidos em relação a turbidez corroboram com o descrito por Yamaguishi (2013), águas subterrâneas tem valores de turbidez abaixo de 1 μ T, sendo um indicativo de boa qualidade da água em relação a este parâmetro, no entanto valores mais altos podem ocorrer devido ao maior contato da água com o lodo do leito do poço ou ainda algum tipo de contaminação externa em épocas secas, e em épocas úmidas devido à possível arraste de material.

Em estudo realizado por Migliorini (2011), foram analisadas 183 amostras de águas subterrâneas de poços cadastrados na região de Cuiabá e Várzea Grande/MT, e obteve-se variações da turbidez de 0 a 100 μT , porém na grande maioria entre 1 e 10 μT , apresentando valor mínimo, médio e máximo de 0, 3,44 e 100 μT , respectivamente, corroborando o menor valor encontrado nesse estudo.

4.2 DETERMINAÇÃO DE RESÍDUOS DE AGROTÓXICOS

Por meio da CLAE-EM, foram determinados 26 agrotóxicos, sendo estes: atrazina; azoxistrobina; bentazona; ciproconazol; difenoconazol; clomazona; epoxiconazol; imazetapir; imidacloprido; fipronil; malationa; pirimicarbe; propiconazol; simazina; imazapique; carbofurano; tebuconazol; piraclostrobina; 2,4D; metsulfurom-metílico; penoxlam; pirazussulfurom-etílico; profenofós; propanil; tiametoxam e trifloxistrobina de dez pontos amostrais de água subterrânea do município de Cerro Largo (Figura 5), em janeiro de 2021. Na Tabela 12 estão apresentados os resultados das análises de resíduos de agrotóxicos realizadas no mês de janeiro.

Tabela 12 - Determinação de agrotóxicos nas amostras de água subterrânea do meio rural e urbano, do município de Cerro Largo/RS.

Agrotóxicos	Concentração ($\mu\text{g L}^{-1}$)										LQm	
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀		
Bentazona	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,02
Atrazina	ND	ND	0,02	ND	ND	0,07	0,07	0,02	0,11	0,06	0,06	0,01
Azoxistrobina	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,04
Ciproconazol	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,04
Difenoconazol	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,10
Clomazona	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,04
Epoxiconazol	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,02
Imazetapir	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,01
Fipronil	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,04
Malationa	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,20
Pirimicarbe	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,08
Propiconazol	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,02
Simazina	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,04
Imazapique	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,01
Carbofurano	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,02
Tebuconazol	ND	ND	<LQm	ND	ND	<LQm	ND	ND	ND	ND	ND	0,10
Piraclostrobina	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,20
Penoxsulam	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,04
Pirazosulfurom	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,04
Profenofós	ND	ND	ND	ND	ND	<LQm	<LQm	<LQm	<LQm	<LQm	<LQm	0,20
Tiametoxam	ND	ND	ND	ND	<LQm	ND	ND	<LQm	ND	ND	ND	0,20
Trifloxistrobina	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,20
2,4D	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1,00
Metsulfurom- metílico	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,10
Propanil	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
Imidacloprida	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	

Fonte: Elaborado pela autora, 2021. Nota: < LQm: Menor que o valor do Limite de quantificação do método; ND: Não detectado. P₁ a P₅ (Pontos amostrais da zona urbana); P₆ a P₁₀ (Pontos amostrais da zona rural).

Conforme os resultados apresentados na Tabela 12, é possível verificar que dos 26 compostos analisados nas amostras de água subterrânea do município de Cerro Largo/RS, realizadas no mês de janeiro de 2021 (estação verão), 4 foram detectados sendo eles, Atrazina, Tebuconazol, Profenofós e Tiametoxam. Entretanto, identificou-se apenas 1 composto acima do Limite de Quantificação do método (LQm: indica o menor nível de quantificação alcançado na validação do método. Quando quantificado em concentrações menores que deste nível, não se apresenta o valor encontrado, devido a limitada certeza do valor exato).

O agrotóxico identificado acima deste limite foi a atrazina, a qual foi detectada com concentrações de 0,02 a 0,11 $\mu\text{g L}^{-1}$ nos pontos P₃, P₆, P₇, P₈, P₉ e P₁₀ (Tabela 12). Pode-se perceber, que houve a detecção deste em apenas 1 ponto amostral no meio urbano (P₃), e em todos os pontos amostrais no meio rural.

Vale destacar que os 4 compostos detectados, inclusive a atrazina, estão abaixo do VMP estabelecidos pela Portaria de Consolidação n° 05/2017 e na Portaria n° 888/2021, ambas do MS, assim como estão de acordo com as demais legislações internacionais como está destacado Tabela 13.

No entanto, a presença destes compostos em águas subterrâneas pode ser um indicativo da infiltração dos mesmos, chegando aos mananciais, o que é preocupante, uma vez que esta água pode ser destinada ao abastecimento público, ou ainda, a água subterrânea pode ter sido poluída o momento da exploração na camada superficial, não havendo então a contaminação em termos de aquífero. Atestando-se, portanto, a presença do agrotóxico atrazina na água servida a população, não havendo confirmação científica de poluição do aquífero em que se explora a água subterrânea do referido estudo.

E apesar dos compostos detectados e quantificados nas águas subterrâneas analisadas, encontrarem-se em concentrações abaixo do limite estabelecido pela legislação, deve-se considerar a possível ocorrência de impacto sobre a saúde ambiental, vegetal e animal, já que alguns desses compostos são indicados como prováveis de ação mutagênica e desregulação endócrina (SOUZA, 2016).

Tabela 13 - Comparação das concentrações de agrotóxicos encontradas nas águas subterrâneas de Cerro Largo/RS do mês de janeiro, na legislação estadual, nacional e mundial, 2021.

Agrotóxico	Concentração quantificada (mín. e máx.)	Portaria RS/SES nº 320/214	Concentração de agrotóxico e VMP de diferentes países ()					
			Brasil	Canadá	Austrália	Índia	EUA	OMS
Atrazina	0,02 - 0,11	-	2	5	20	2	3	100
Tebuconazol	<LQm (0,10)	-	180	-	-	-	-	-
Profenofós	<LQm (0,20)	-	0,3	-	0,3	-	-	-
Tiametoxam	<LQm (0,20)	120	36	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborado pela autora, 2021. Nota: <LQm: Menor que o valor do Limite de quantificação do método.

Através da Tabela 13, observa-se que o composto atrazina não possui VMP na legislação estadual, contudo possui nas demais representadas, e dentre estas a menos restrita é da OMS, com um VMP de 100 $\mu\text{g L}^{-1}$, valor bem discrepante aos demais. Nesse sentido a legislação brasileira e indiana são as mais restritas.

Apesar da atrazina ser banida em diversos países, é ainda muito utilizada no Brasil (VIEIRA *et al.*, 2017), ocupando a 8ª posição em vendas no estado do RS, com 888,45 toneladas vendidas no ano de 2019 (IBAMA, 2021). É um contaminante comum dos mananciais hídricos (SOUZA, 2016), em virtude de suas características: alto potencial de escoamento, elevada persistência em solos, hidrólise lenta, solubilidade baixa a moderada em água, absorção moderada à matéria orgânica e à argila (UETA *et al.* 2002; TRAGHETTA *et al.* 1996). Devido a este comportamento, seus resíduos podem contaminar o solo, águas subterrâneas e pequenos córregos podendo ser detectados em água de abastecimento público.

A atrazina é um herbicida com classificação toxicológica de classe III, que representa o grau de mediantemente tóxico e quanto ao seu potencial de periculosidade ambiental classifica-se como produto muito perigoso ao meio ambiente. É indicado e normalmente utilizado em culturas de milho e cana de açúcar (ANVISA, 2019; BRASIL, 1996), as quais são respectivamente a 2ª e 5ª culturas mais produzidas na região em estudo (IBGE, 2019), sendo assim, a presença deste agrotóxico na água pode estar relacionada com as culturas predominantemente encontradas na região, considerando a época de plantio das culturas, sendo de cana de açúcar entre o início de abril até o final de outubro, e de milho entre o início de julho ao final de dezembro (CONAB, 2019), e seu tempo de meia vida no solo de 75 dias (IUPAC, 2021), coincidindo com a data de coleta das amostras, realizadas no início de janeiro, corroborando com a utilização deste composto nas culturas de milho da região.

De acordo com o Índice de Vulnerabilidade de Águas Subterrâneas, do inglês Groundwater Ubiquity Score (GUS), a atrazina apresenta alto potencial de lixiviação (GUS = 2,57), é moderadamente persistente no solo, com um tempo de meia vida de 75 dias e tem capacidade de se movimentar neste extrato ($K_{oc} = 100 \text{ mL g}^{-1}$ / moderadamente móvel), assim este composto pode atingir as águas subterrâneas mesmo tendo baixa solubilidade em água ($S = 35 \text{ mg L}^{-1}$) (IUPAC, 2021). Consequentemente, este agrotóxico tem sido identificado nas águas subterrâneas visto sua alta capacidade de lixiviação, que corresponde a cerca de 4,0 a 11,0% do transporte deste agrotóxico pelo ambiente (SANTAROSSA, 2017). É um composto mobilizável no sistema água-solo, logo o monitoramento de seu resíduo na água subterrânea se faz necessário, principalmente pelo risco de contaminação da rede de distribuição de água para consumo humano.

5 CONCLUSÃO

Através das análises realizadas na água de 10 poços subterrâneos localizados no meio urbano e rural e destinados ao abastecimento público em um município da região das missões, foi possível verificar sua potabilidade por meio da comparação dos resultados de parâmetros investigados com a Portaria de Consolidação nº 5/2017 e Portaria nº 888/2021, ambas do MS, que preconiza os valores máximos permitidos de parâmetros físico-químicos, microbiológicos e de compostos agrotóxicos.

Ao comparar os parâmetros analisados: cloro residual livre, cor aparente, nitrato, pH, turbidez, *E. coli* e coliformes totais com a Portaria de Consolidação nº 5/2017 e Portaria nº 888/2021, ambas do MS, constatou-se que os parâmetros coliformes totais, cor aparente, nitrato, turbidez e pH apresentaram resultados de acordo com os VMP estabelecidos nesta resolução, em todos os pontos amostrais. Referente ao cloro residual livre, apenas um ponto amostral (P₄) encontrava-se de acordo com a legislação, com um valor de 0,5 ppm detectado, portanto, os demais poços estavam recebendo um ineficiente tratamento por desinfecção. Pertinente a qualidade microbiológica, no ponto P₁₀ ocorreu a presença de *E. coli*, a qual pode estar associada ao baixo índice de saneamento básico do município, a falta de cuidados com a higiene antes da utilização da água para consumo e falta de manutenção ou localização inadequada dos poços.

Referente aos demais parâmetros analisados, tais como condutividade elétrica, temperatura, oxigênio dissolvido, sólidos sedimentáveis e absorvância (λ -254 nm), a Portaria de Consolidação nº 5/2017 e Portaria nº 888/2021, ambas do MS, não estabelecem VMP a serem considerados para avaliar a potabilidade. No entanto, de acordo com a CETESB (2015) e Von Sperling (2007), a condutividade elétrica acima de 100 $\mu\text{S cm}^{-1}$ indica um ambiente impactado. Assim, apenas um ponto amostral (P₅) apresentou condutividade elétrica acima de 100 $\mu\text{S cm}^{-1}$.

No tocante a determinação de resíduos de agrotóxicos, foram quantificados a atrazina (0,0192 - 0,1067 $\mu\text{g L}^{-1}$), entretanto em concentração abaixo do VMP estipulado pela legislação brasileira (Portaria de Consolidação nº 5/2017 e Portaria nº 888/2021, ambas do MS), ou seja, estando em conformidade com a legislação ambiental vigente. E no que tange à legislação estadual (Portaria nº 320/2014), não tem-se VMP para o composto. Porém, levando em conta os parâmetros estabelecidos pela União Europeia, cerca de 2% do total de amostras apresentaram níveis de agrotóxicos acima de 0,1 $\mu\text{g L}^{-1}$, portanto, estando fora dos padrões de água potável estabelecidos por essa legislação.

Diante do exposto, sugere-se que pesquisas futuras sejam realizadas em continuidade a este estudo, monitorando os parâmetros analisados e os demais estabelecidos em legislação, com destaque para o composto agrotóxico atrazina, a fim de verificar se há a presença deste e demais agrotóxicos no decorrer do tempo. Trabalhos desta natureza são relevantes uma vez que trazem informações a respeito da qualidade da água, e verificando se esta está apropriada para o consumo humano, pode evitar danos à saúde da população da comunidade, assim como deve-se cobrar que medidas sejam tomadas por parte dos órgãos públicos, de modo a garantir a qualidade da água de abastecimento público.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR *et al.* Extração em fase sólida de resíduos de agrotóxicos de água superficial, empregando um sorvente de menor retenção. **Química Nova**, v. 41, n. 6, p. 641-647, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170223>. Acesso em: 03/2021.
- ALBREKTIENE, R. *et al.* Determination of organic matter by UV absorption in the ground water. **Journal of environmental engineering and landscape management** [online], v. 20, n. 1, p. 163-167, 2012.
- ALMEIDA, R. A. S. **Índice de Qualidade de Uso da Água Subterrânea (e-IQUAS): uma Metodologia de Modelagem Numérica Flexível**. 2012. Tese de Doutorado (Doutorado em Energia e Ambiente), Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, UFBA, Salvador, 344 p.
- ANA. Cadernos de recursos hídricos. **Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil**. Brasília, maio 2005.
- ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Cadernos de recursos hídricos. **Panorama do enquadramento dos corpos d'água – Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. Brasília, 2007.
- ANA. **ATLAS Brasil**. Abastecimento urbano de água. Panorama Nacional, v. 1, 72 p., 2010.
- ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: Relatório Pleno**. Brasília/DF, 2017.
- ANA. **Água subterrânea**. Brasil, 2017. Disponível em: < <https://www.ana.gov.br/aguas-no-brasil/panorama-das-aguas/quantidade-da-agua/agua-subterranea>>. Acesso em: 05/01/2021.
- ANA. **90% dos brasileiros têm acesso a água potável**. 2019. Disponível em: < <https://www.ana.gov.br/noticias-antigas/90-dos-brasileiros-tam-acesso-a-a-gua-potavel.2019-03-14.0448875933> >. Acesso em: 05/05/2021.
- ANTUNES, P. B. **Direito Ambiental**. 12 ed. Rio de Janeiro: Lumen Juris. 2010.
- ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Cartilha sobre Agrotóxicos**. 2011.
- ANVISA. **Monografias Autorizadas**. 2019. Disponível em: < <http://portal.anvisa.gov.br/registros-e-autorizacoes/agrotoxicos/produtos/monografia-de-agrotoxicos/autorizadas>>. Acesso em 29/06/2021.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9.898**, de 30 de junho de 1987: Preservação e Técnicas de Amostragem e Efluentes Líquidos e Corpos Receptores. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.
- BARCELLOS, C.; QUITÉRIO, L. A. D. Vigilância ambiental em saúde e sua implantação no Sistema Único de Saúde. **Revista Saúde Pública** [online], v.40, n.1, p.170-177, 2006. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/rsp/a/KRGj4FpbpkCpYHxqdy6fcdG/?lang=pt&format=pdf>>. Acesso em: 20/05/2021.

BARRIONUEVO, W. R.; LANÇAS, F. M. Extração em fase sólida (SPE) e micro extração em fase sólida (SPME) de piretróides em água. **Quim. Nova**, v. 24, n. 2, p. 172-175, 2001. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/qn/a/rCQCWSFFL74V9cwymkjWqPw/?lang=pt&format=pdf>>. Acesso em: 10/02/2021.

BERTONCINI, E. I. **Tratamento de efluentes e reuso da água no meio agrícola**. Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária, v. 1, n. 1, p. 152-169, 2008.

BITTENCOURT JUNIOR, F. F.; SOARES, É. R. Uma revisão sobre pesticidas: mecanismos de ação, consequências socioambientais e estratégias para mitigação. **Rev. Interbio**, v. 7, n. 2, p. 14-22, 2013.

BLANK, D. E.; VIEIRA, J. G. **Caracterização físico-química e microbiológica de água de poços rasos do bairro Três Vendas, Pelotas-RS**. Vetor, Rio Grande, v. 24, n. 1, p. 2-17, 2014. Disponível em: < <https://periodicos.furg.br/vetor/article/view/1291/3830>>. Acesso em 19/07/2021.

BOMBARDI, L. M. **Geografia do Uso de Agrotóxicos no Brasil e Conexões com a União Europeia**. 1 ed. São Paulo: FFLCH – São Paulo, 2017.

BORGHETTI, N. R. **Aquífero Guarani: a verdadeira integração dos países do MERCOSUL**. Curitiba/PR, 2004.

BOSCARDIN BORGHETTI, N. R.; BORGHETTI, J. R.; DA ROSA FILHO, E. F. **O Aquífero Guarani**. Curitiba, p. 214, 2004.

BRASIL. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR N° 10.561**, de dezembro de 1988.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. **Diário Oficial da União**, 1988.

BRASIL. **Lei nº 7802, 11 de julho, 1989**. Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de Agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências; Diário Oficial da União, Brasília/DF, 1989.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). **Portaria Normativa N° 84**, de 15 de outubro de 1996.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Resolução N° 357**, de 17 de março de 2005. Brasília/DF, 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde (MS). **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília/DF, 2006. 212 p.

- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N° 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] República Federativa do Brasil**, n° 66, Brasília/DF 2008.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria N° 518/2004**. Resumo executivo. Brasília/DF, 2009.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Documento Base de Elaboração da Portaria N° 2.914/2011 do Ministério da Saúde**. Portaria de Potabilidade da Água para Consumo Humano. Brasília, 2012. 148 p.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria de Consolidação N° 5**, de 28 de setembro de 2017. Brasília/DF, 2017.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria de Consolidação N° 288**, de 4 de maio de 2021. Brasília/DF, 2021.
- BRITO, N. M. *et al.* Risco de Contaminação de Águas por Pesticidas Aplicados em Plantações de Eucaliptos e Coqueiros: Análise Preliminar. **Pesticidas: Riscos Ecotoxicológicos e Meio Ambiente**, v. 11, 2001.
- BROWN, P. M. *et al.* **A water quality index – do we dare?** Water & Sewage World, 1970. p. 339-343.
- CALDAS, S. S. *et al.* Principais técnicas de preparo de amostra para a determinação de resíduos de agrotóxicos em água por cromatografia líquida com detecção por arranjo de diodos e por espectrometria de massas. **Química Nova**, v. 34, n. 9, p. 1604-1617, 2011.
- CAPUCCI, E. *et al.* **Poços tubulares e outras captações de águas subterrâneas**. DRMJ – Departamento de Recursos Minerais do Rio de Janeiro/RJ, 2001.
- CARNEIRO, F. F. *et al.* **Dossiê ABRASCO: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde**. Rio de Janeiro: EPSJV; São Paulo: Expressão Popular, 2015. 624 p.
- CERQUEIRA, F. C. **Hidroquímica e Vulnerabilidade Natural à Contaminação da Água Subterrânea no Município de São João da barra, RJ**. 2014. 144 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciência e Tecnologia, Laboratório de Engenharia Civil, Campos dos Goytacazes, 2014.
- CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 2013. **Qualidade das águas subterrâneas do estado de São Paulo 2010-2012**.
- CETESB. **Qualidade das águas superficiais do estado de São Paulo 2014**. São Paulo: CETESB, 2015.
- CETESB. **Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas**. 2016. Disponível em: < <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/Ap%C3%AAndice-D-Significado-Ambiental-e-Sanit%C3%A1rio-das-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-29-04-2014.pdf>>. Acesso em: 20/03/2021.

CETESB. **Relatório de Qualidade das águas interiores do estado de São Paulo**. Apêndice E – Significado ambiental das variáveis de qualidade. 2017.

CETESB. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo**. Apêndice E - Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas de Amostragem. São Paulo: CETESB, 2018. 58 p.

CETESB. **Águas Subterrâneas**. Disponível em: < <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/>>. Acesso em: 16/05/2021.

CETESB. **Águas Subterrâneas**. Poluição das águas subterrâneas. Disponível em: < <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/informacoes-basicas/poluicao-das-aguas-subterraneas/>>. Acesso em: 16/05/2021b.

CEVS/SES. Centro de Vigilância em Saúde da Secretaria da Saúde/Secretaria Estadual da Saúde. **Relatório Final**. Levantamento do uso e da criticidade dos agrotóxicos usados no Estado do Rio Grande do Sul, 373 p. Porto Alegre: Talha-Mar Soluções Ambientais, 2010.

COLVARA, J. G.; LIMA, A. S.; SILVA, W. P. Avaliação da contaminação de água subterrânea em poços artesianos no sul do Rio Grande do Sul. **Braz. J. Food Technol** [online], II SSA: 11-14, 2009. Disponível em: < http://bjft.ital.sp.gov.br/especiais/especial_2009/v11_edesp_03.pdf>. Acesso em: 17/07/2021.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Calendário de Plantio e Colheita de Grãos no Brasil 2019**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/institucional/publicacoes/outras-publicacoes/item/7694-calendario-agricola-plantio-e-colheita>>. Acesso em: 29/06/2021.

CORSAN. **Tratamento de Água**. Disponível em: < <https://www.corsan.com.br/tratamentodeagua>>. Acesso em: 15/06/2021.

CORSAN. **CORSAN presente no 37º Congresso de Municípios da Famurs – 2017**. Disponível em: < <https://www.corsan.com.br/corsan-presente-no-37-congresso-de-municipios-da-famurs>>. Acesso em: 01/10/2021.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **RIMAS – Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas subterrâneas**. Disponível em: < <http://rimasweb.cprm.gov.br/layout/apresentacao.php>>. Acessado em: 01/10/2021.

CTAS/CRH. **Nitrato nas águas subterrâneas: desafios frente ao panorama atual**. Claudia Varnier (coord.). - São Paulo: SIMA / IG, 2019. 128p. Disponível em: < https://smastr16.blob.core.windows.net/igeo/2020/01/boletim_ig_nitrato.pdf>. Acesso em 20/03/2021.

DA COSTA, A. B. *et al.* Avaliação da qualidade das águas subterrâneas em áreas de preservação permanente (sistema aquífero guarani–sag), bacia hidrográfica do Rio Pardo, RS, Brasil. **Tecno-Lógica**, v. 14, n. 1, p. 26-38, 2010.

DAHSHAN, H. *et al.* Monitoring of pesticides water pollution-The Egyptian River Nile. **Journal of Environmental Health Science and Engineering**, p. 1-9, 2016.

DANIEL, M. H. B.; CABRAL, A. R. A Vigilância da Qualidade da Água para consumo humano (Vigiagua) e os Objetivos do Desenvolvimento do Milênio (ODM). **Cad. Saúde Colet.** v.19, n.4, p.487-492, 2011. Disponível em: <
http://www.cadernos.iesc.ufrj.br/cadernos/images/csc/2011_4/artigos/csc_v19n4_487-492.pdf>. Acesso em: 21/05/2021.

DERBALAH, A. *et al.* Monitoring of organophosphorus pesticides and remediation technologies of the frequently detected compound (chlorpyrifos) in drinking water. **Polish Journal of Chemical Technology**, v. 15, p. 25-34, 2013.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2 ed. São Carlos: RiMa, v. 1, 2005.

DORNELLES, M. F.; OLIVEIRA, G. T. Toxicity of atrazine, glyphosate, and quinclorac in bullfrog tadpoles exposed to concentrations below legal limits. **Environ Sci Pollut.** 2015.

EDWARDS, C. A. Factors that affect the persistence of pesticides in plants and soils. **Pure and Applied Chemistry**, Berlin/Boston, v. 42, n. 1-2, p. 39-56, 1975.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed., Brasília/DF, 2018.

EPA. **Drinking Water Treatability Database - Conventional Treatment**. Environmental. 2016.

EPA, U. S. **Environmental Protection Agency**. Guia para la proteccion de las aguas subterranas. EPA 440/6-90-004 April 1990.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Fortaleza: Serviço Geológico do Brasil; CPRM/REFO; LABHID/UFPE, 1997. 389 p.

FERNANDES NETO, M. L.; SARCINELLI, P. M. Agrotóxicos em água para consumo humano: uma abordagem de avaliação de risco e contribuição ao processo de atualização da legislação brasileira. **Eng. Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 1, p. 69-78, 2009.

FERNANDES NETO, M. L. **Norma brasileira de potabilidade de água: análise dos parâmetros agrotóxicos numa abordagem de avaliação de risco**. 2010. 173 p. Tese de Doutorado, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2010.

FERNANDES, Â. M. F. **Diagnóstico da qualidade da água subterrânea em propriedade rural no município de Planalto, RS**. 2011. 65 p. Monografia (Curso de Geografia) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Graduação em Geografia, Ijuí/RS, 2011.

FERREIRA, A. N. P. *et al.* **Águas Subterrâneas um recurso a ser conhecido e protegido**. Brasília, 2007. Disponível em: <
<http://www.agrolink.com.br/downloads/%C3%81GUAS%20SUBTERR%C3%82NEAS>>. Acesso em: 21/03/2021.

FLOSS, V. M. **Determinação multiresíduo de agrotóxicos em água empregando microextração líquido-líquido dispersiva (DLLME) e GC-MS/MS.** 2015. 99 p. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Química), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, 2015.

FOGAÇA, J. **Tipos de poluição das águas.** Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/tipos-poluicao-das-aguas.htm>>. Acesso em: 01/10/2021.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; **Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas, una metodología basada en datos existentes, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente-Cepis.** Lima, 1991.

FREDDO FILHO, V. J. **Qualidade das águas subterrâneas rasas do aquífero Barreiras: estudo de caso em Benevides – PA.** 2018. 113 p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém/PA, 2018.

FREITAS, M. A. et al. Avaliação do potencial hidrogeológico, vulnerabilidade intrínseca e hidroquímica do Sistema Sistema Aquífero Serra Geral no noroeste do estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, RBRH, Porto Alegre/RS, v. 17, n. 2, p. 31-41, 2012.

FREITAS, H. B. *et al.* **Avaliação do Monitoramento das Águas Subterrâneas Usadas para Abastecimento Humano na Comunidade de Morrinhos, Aracati/CE.** XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Rio Grande do Sul, 2013. Disponível em: <https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/155/e2aa5f493922955ee6ea4fc58173ac29_54771066426a956842d2f844745ecc2f.pdf>. Acesso em: 25/06/2021.

FRET *et al.* **Implementation of flocculation and sand filtration in medium recirculation in a closed microalgae production system.** *Algal Research*. v. 13, p. 116–125, 2016.

FUNASA. Fundação Nacional de Saúde. Manual de Saneamento. 3 ed., rev. **Brasília: Fundação Nacional de Saúde**, 2006.

FUNASA. **Saneamento rural.** 2007. Disponível em: <<http://www.funasa.gov.br/>>. Acesso em: 05/05/2021.

FUNASA. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAs.** Brasília, 2014.

GIGLIO, O. *et al.* Factors influencing groundwater quality: towards an integrated management approach. **Annali di igiene: medicina preventiva e di comunità**, v. 27, n. 1, p. 52-57, 2015.

GIRALDI, A. A água que ninguém vê. **Unesp Ciência**, 2013. Disponível em: <http://www.abas.org/arquivos/unesciencia_052013.pdf>. Acesso em: 21/03/2021.

GOMES, M. A. F.; SPADOTTO, C.; LANCHOTTE, V. L. Ocorrência do herbicida Tebuthiuron na água subterrânea da microbacia do Córrego Espreado, Ribeirão Preto – SP. **Rev. Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 11, p. 65-76, 2001.

GUINZANE, G. V. *et al.* **Estação de tratamento de água subterrânea para abastecimento do condomínio solar de Maricá I e proposta para utilização de águas cinzas**. 2018. 103 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Química), Departamento de Engenharia Química e de Petróleo da Escola de Engenharia da Universidade Federal Fluminense, Graduação em Engenharia Química, Niterói/RJ, 2018. Disponível em: <<https://app.uff.br/riuff/bitstream/1/8083/1/TCC%20Gabriela-Larissa-Luiza%20S.pdf>>. Acesso em: 21/03/2021.

HASSUDA, S. Água subterrânea, um recurso a proteger. 1999. In: CHASSOT, A.; CAMPOS, H. (Ed.). **Ciências da Terra e Meio Ambiente - Diálogos Para (Inter)Ações no Planeta**. São Leopoldo: Unisinos.

HELENA, B. *et al.* Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga river, Spain) by principal component analysis. **Water Research**, n. 34, v. 3, p. 807-816, 2000.

HELLER, L.; PÁDUA, V.L. **Abastecimento de águas para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2ª ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

HOLLAS, C. E. **Avaliação da qualidade da água subterrânea utilizada para abastecimento na zona rural do município de Francisco Beltrão – Paraná**. 2015. 163 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Graduação em Engenharia Ambiental, Francisco Beltrão/PR, 2015. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/11506/3/FB_COEAM_2015_2_03.pdf>. Acesso em: 20/03/2021.

HUNTINGTON, T. G. Evidence for intensification of the global water cycle: Review and synthesis, **Journal of Hydrology**, n. 319, v. 15, p.1-4, 2006.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Relatórios de Comercialização de Agrotóxicos**. Disponível em: <<https://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos#>>. Acesso em 12/05/2021.

IBAMA. **Vendas de Ingredientes Ativos por Unidade da Federação em 2019**. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/phocadownload/qualidadeambiental/relatorios/2019/Vendas_ingredientes_ativos_UF_2019.xls>. Acesso em: 29/06/2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Contagem e Estimativas da Populvieiração 2010: Rio Grande do Sul**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/panorama>>. Acesso em 08/11/2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2019: Rio Grande do Sul**. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/panorama>>. Acesso em: 08/11/2020.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal – Lavoura temporária**. 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/cerro-largo/pesquisa/14/10193?indicador=10354>>. Acesso em: 29/06/2021.

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Orientações sobre Validação de Métodos Analíticos: DOQ-CGCRE-008. **Rev. 08**. Rio de Janeiro, 2020.

IUPAC. International Union of Pure and Applied Chemistry. **The PPDB - A to Z list of Active Ingredients**. Disponível em: <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/iupac/atoz.htm>>. Acesso em: 29/06/2021.

JEONG, C. H. Effect of land use and urbanization on hydrochemistry and contamination of groundwater from Taejon area, Korea. **Journal of Hydrology**, n. 253, p. 194-210, 2001.

JOHN, C. C. *et al.* **MWH's Water Treatment: Principles and Design**. 3 ed. Howe and George Tchobanoglous Copyright ©, John Wiley & Sons, Inc, 2012.

LEAL, M. J. C. **Remoção de matéria húmica aquática, ferro e manganês das águas para abastecimento por meio de coagulação, floculação, sedimentação e filtração com membranas**. 2013. 159 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, 2013.

LEITE, M. A. *et al.* **Segurança Hídrica em Área Rural**. XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Brasília, 2015.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento da água**. 3 ed. Campinas/SP: Editora Átomo, 2010.

LONDRES, F. **Agrotóxicos no Brasil, um guia para ação em defesa da vida**. 1ª edição, Rio de Janeiro, 2011.

LOPEZ, B. *et al.* Screening of French groundwater for regulated and emerging contaminants. 2015. **Science of the Total Environment**. p. 518–519, p. 562–573.

MACHADO, P. A. L. **Direito ambiental brasileiro**. Rev. atual. e ampl. São Paulo:Malheiros, 10 ed., p. 53-69; 126-131, 2002.

LUMB, A. *et al.* **A Comparative Study of USA and Canadian Water Quality Index Models**. 2011. Water Qual Expo Health, p. 203–216.

MACHADO, J. L. F.; FREITAS, M. A. **Projeto mapa hidrogeológico do estado do Rio Grande do Sul**: escala 1:750.000: relatório final. Porto Alegre: CPRM, 2005.

MARTINI, L. F. D. *et al.* Risco de contaminação das águas de superfície e subterrâneas por agrotóxicos recomendados para a cultura do arroz irrigado. **Ciência Rural**, v. 42, n. 10, p. 1715-1721, 2012.

MATILAINEN, A. *et al.* Natural organic matter removal by coagulation during drinking water treatment: a review. **Advances in Colloid and Interface Science**. v. 159, n. 2, p. 189-197, 2010.

MATILAINEN, A. *et al.* An overview of the methods used in the characterisation of natural organic matter (NOM) in relation to drinking water treatment. **Chemosphere**, v. 83, n. 11, p. 1431-1442, 2011.

MARQUES, M. N. **Avaliação do impacto de agrotóxicos em áreas de proteção ambiental, pertencentes à bacia hidrográfica do Rio Ribeira de Iguape, São Paulo: Uma contribuição à análise crítica da legislação sobre o padrão de potabilidade.** Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2005, p. 198.

MI, Z. *et al.* Impact of disinfection on drinking water biofilm bacterial community. **Journal of Environmental Sciences**. v. 37, p. 200-205, 2015.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Águas subterrâneas – um recurso a ser conhecido e protegido.** Brasília, 2007.

MOGHADDAM, S.S. *et al.* Coagulation/flocculation process for dye removal using sludge from water treatment plant: Optimization through response surface methodology. **Journal of Hazardous Materials**. n. 175, p. 651-657, 2010.

MORAIS, L. S. R. **Desenvolvimento e validação de métodos para a determinação de agrotóxicos em água e solo das áreas de recarga do aquífero Guarani, na região das nascentes do rio Araguaia, MT/GO.** 2009. 157 p. Tese (Doutorado em Ciências), Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química, Campinas, 2009.

MOTA, S. **Preservação e conservação de recursos hídricos.** Rio de Janeiro: ABES, 1995.

MOTTA, E.; FRINHANI, E. M. D. Qualidade físico-química e microbiológica das águas subterrâneas dos municípios de Ibicaré, Lacerdópolis, Ouro e Capinzal. **Rev. Evidência**, Joaçara, v. 12, n. 1, p. 63-82, 2012.

MOURA, C. C. *et al.* Concentrações de nitrato nas águas subterrâneas em áreas rurais do município de São José do Rio Preto (SP). **Revista Águas Subterrâneas**, v. 29, n. 3, p. 268-284, 2015.

NETO, M. L. F.; SARCINELLI, P. N. Agrotóxicos em água para consumo humano: uma abordagem de avaliação de risco e contribuição ao processo de atualização da legislação brasileira. 2009. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 14, n. 1, p. 69-78.

NETO, M. L. F. **Norma Brasileira de Potabilidade de Água: Análise dos parâmetros de agrotóxicos numa abordagem de avaliação de risco.** 2010. 169 p. Tese (Doutorado em

Ciências), Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública e Meio Ambiente, Rio de Janeiro/RJ, 2010.

NUNES, R. I. *et al.* Análise dos parâmetros físicos: sólidos totais, sólidos sedimentáveis, sólidos totais dissolvidos e sólidos suspensos nas águas do Vale do Açu. 5º Encontro Regional de Química e 4º Encontro Nacional de Química. **Blucher Chemistry Proceedings**, v. 3, n. 1, 2015.

OLIVEIRA, I. B.; NEGRÃO, F. I.; ROCHA, T. S. **Determinação do Índice de Qualidade da Água Subterrânea –IQAS, com base nos dados de poços tubulares do estado da Bahia: Áreas Piloto: Recôncavo e Platô de Irecê -Cuiabá.** 2004. Anais do XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2004.

OLIVEIRA I. B., NEGRÃO, F. I., SILVA, A. G. L. S. **Aplicação do Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas –IQNAS, para os Domínios Hidrogeológicos do Estado da Bahia.** 2006. Anais do XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Curitiba, p. 7-10.

OLIVEIRA I. B., NEGRÃO, F. I., SILVA, A. G. L. S. **Mapeamento dos Aquíferos do Estado da Bahia Utilizando o Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas – IQNAS.** 2007. *Águas Subterrâneas*, v. 21, n. 1, p.123-137.

OLIVEIRA, B. S. S. O. **Qualidade da água associada à vulnerabilidade climática e riscos sanitários no baixo Rio Jarí – AP.** Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2013. Disponível em: < http://www2.unifap.br/cambientais/files/2014/01/TCC-BRUNNA_CIENCIASAMBIENTAIS-2009.pdf>. Acesso em: 16/05/2021.

OLIVEIRA, G. A. *et al.* **Avaliação da qualidade da água subterrânea: estudo de caso em Vilhena – RO.** *Águas Subterrâneas*, v. 29, n. 2, p. 213-223, 2015.

ONUBR. Nações Unidas no Brasil. **A ONU e a água.** Disponível em: < <https://nacoesunidas.org/acao/agua/> >Acesso em: 20/05/2021.

OPERSAN. Soluções Ambientais. **Os principais tipos de poluição das águas.** 2017. Disponível em: < <http://info.opersan.com.br/os-principais-tipos-de-polu%C3%A7%C3%A3o-das-%C3%A1guas>>. Acesso em: 16/05/2021.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD-OMS. **Manual de desinfección. Guías para la selección y aplicación de tecnologías de desinfección del agua para consumo humano en pueblos pequeños y comunidades rurales en America Latina y el Caribe,** 227 p. Washington-DC: OMS, 1995.

PERES, F.; MOREIRA, J. C.; DUNOIS, G. S. **É veneno ou é remédio?** Agrotóxicos, saúde e ambiente. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2003.

PHILIPPI Jr, A. (Edit.). **Saneamento, Saúde e Ambiente:** Fundamentos para um desenvolvimento sustentável. Barueri, São Paulo: Manole, 2005.

PINTO-COELHO, R. M.; HAVENS, K. **Crise nas águas.** 1. ed. Belo Horizonte: Recóleo, 2015.

PLUTH, T. B. **Exposição à agrotóxicos e câncer**. 2017. 123 p. Dissertação (Mestrado em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis, Cerro Largo, RS, 2017.

PNAS. **Programa Nacional de Águas Subterrâneas**. 2009. Brasília: MMA. Disponível em: <Programa Nacional de Águas Subterrâneas - PNAS - Meio Ambiente Brasil (google.com)>. Acesso em: 19/06/2021.

PRADO, T. B. G. **Evolução do uso dos temas e produção de sedimentos na bacia hidrográfica ao rio Jundiá-Mirim**. 2005. Dissertação (Mestrado em Agricultura), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

PRESS *et al.* **Para Entender a Terra**. 4 ed., Porto Alegre: Artmed, 2006.

PRINCE, A. A. Captação de água de superfície. In: HELLER, L., PÁDUA, V. L. (Org.). **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG. 2006. cap. 8 (Anexo), p. 378-382.

PROMATEC. Solução e Competência em Análises Ambientais. **Qual a importância da análise de sólidos sedimentáveis?** São Paulo, 2020. Disponível em: <<https://www.promatecambiental.com.br/blog/qual-a-importancia-da-analise-de-solidos-sedimentaveis/>>. Acesso em 20/03/2021.

QASEM, J. R. **Herbicides Applications: Problems and Considerations**. In: KORTEKAMP, A. (Ed.). *Herbicides and Environment*. p.643- 664. ISBN: 978- 953-307-476-4, 2011.

QUEIROZ, V. T. *et al.* Environmental risk assessment for sustainable pesticide use in coffee production. **Journal of Contaminant Hydrology**, v. 219, p. 18-27, 2018.

RAMOS, S. A. G. *et al.* Criação de um banco de dados geográfico e implicações da qualidade da água na bacia hidrográfica do marrecas visando o planejamento ambiental. In: II Congresso Nacional de Pesquisa em Ciências Sociais Aplicadas Francisco Beltrão/PR, outubro de 2013. **II CONAPE**.

RAJU, N. J. *et al.* Geochemical assessment of groundwater quality in the Dun valley of central Nepal using chemometric method and geochemical modeling. **Groundwater for Sustainable Development**, v. 1, n. 12, p. 135-145, 2015.

REBELO, R. M.; CALDAS, E. D. Avaliação de risco ambiental de ambientes aquáticos afetados pelo uso de agrotóxicos. **Química Nova**, v. 37, p. 1199-1208, 2014.

REBOUÇAS, A. C. *et al.* **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo, Escrituras Ed., 1999. 717 p.

RICHTER, C.A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. Edgard Blucher, 2009.

RICHERT, R. R. **Monitoramento de quatro pontos de abastecimento de água pública no município de Roque Gonzales/RS**. 2018. 47 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação

em Engenharia Ambiental e Sanitária), Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo/RS, 2018.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Planejamento, Orçamento e Gestão. **Atlas socioeconômico do Rio Grande do Sul**. Disponível em: <<https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/solos>>. Acesso em 09/11/2020.

ROSA FILHO, E. F. *et al.* **Aquíferos do estado do Paraná**. Curitiba: edição do autor, 2010.

RUBBO, J. P. **Avaliação dos controles de agrotóxicos na água para consumo humano dos sistemas de abastecimento de água do Rio Grande do Sul em 2016**. 2017. 120 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Aperfeiçoamento Especializado, Residência Integrada em Saúde), Porto Alegre/RS, 2017.

RUBBO, J. P.; ZINI, L. B. Avaliação dos controles de agrotóxicos na água para consumo humano dos sistemas de abastecimento de água do Rio Grande do Sul em 2016. **Boletim da Saúde, Porto Alegre**, v. 26, n 1, p. 17-27, 2017.

SAEEDI, M. *et al.* **Development of groundwater quality index**. 2010. Environ Monit Assess, p. 327-335.

SALES, A. E. T. **Estudos da Balneabilidade das Praias Urbanas do Município de Natal Durante o ano de 2005**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária), Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRGN, Rio Grande do Norte, 2005.

SANTAROSSA, M. A. S. **Contaminação de águas de pesque-pague por agrotóxicos e cafeína em áreas de cultivo de cana de açúcar**. 2017. 125 p. Tese de Doutorado (PósGraduação em Aquicultura), Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal/SP, 2017.

SANTOS, J. S. **Análise da qualidade da água subterrânea em aquíferos urbanos considerando os efeitos da sua evolução temporal em parte da cidade de Maceió – AL**. 2019. 62 p. Dissertação (Pós-Graduação em Análise de Sistemas Ambientais), Centro Universitário CESMAC, Maceió/AL, 2019.

SARCINELLI, P. N. *et al.* **Estudo dos agrotóxicos mais utilizados no país: avaliação da contaminação das águas de consumo humano nas grandes bacias hidrográficas e estratégias analíticas para o monitoramento**. Relatório Final, Rio de Janeiro: Fiocruz, 2005.

SCHNEIDER, S. E. **Determinação de agrotóxicos e fármacos em água empregando extração em fase sólida, GC-MS e UHPLC-MS/MS**. 2013. 135 p. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Química Tecnológica e Ambiental), Universidade Federal do Rio Grande, Santo Antônio da Patrulha/RS, 2013.

SCHWARZBACH, M. S. R.; MORANDI, I. C. Avaliação da variabilidade temporal das características físico-químicas das águas subterrâneas dos poços tubulares profundos do município de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. **Águas Subterrâneas**, [S. I], 2000. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/24337/16341>>. Acesso em: 24/05/2021.

SENSEMAN, S. A. **Herbicide Handbook**, 9 ed., Weed Science Society of America: Lawrence, 2007.

SIAGAS. **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas**. 2021. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/visualizar_mapa.php>. Acesso em 09/02/2021.

SILVA, R. C. A.; ARAÚJO, T. M. Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA). **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 8, n. 4, p.1019-1028, 2003.

SILVA, J. C. C. **Desenvolvimento de metodologia analítica para determinação de microcistina-LR e agrotóxicos em águas superficiais, utilizando as técnicas de cromatografia líquida e cromatografia gasosa acopladas a espectrometria de massas**. 2010. 176 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto/MG, 2010.

SILVA, A. S. R. **Autogestão de sistemas rurais de abastecimento de água: estudo de caso na comunidade quilombola de Lagedo, São Francisco – MG**. 2016. 180 p. Dissertação (Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte/MG, 2016.

SILVA, D. R. O. *et al.* Ocorrência de agrotóxicos em águas subterrâneas de áreas adjacentes a lavouras de arroz irrigado. **Rev. Química Nova**, v. 34, n. 5, p. 748-752, 2011.

SILVA, A. B. da. *et al.*, Parâmetros físico-químicos da água utilizada para consumo em poços artesianos na cidade de Remígio/PB. 2017. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 31, n. 2, p. 109-118. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28807/18715>>. Acesso em: 15/02/2021.

SILVA, L. P.; BARBOSA, J. P.; SILVA, G. A. Análise exploratória de dados da qualidade da água de poços amazonas na cidade de Macapá, Amapá, Brasil. 2018. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 32, n. 1, p. 43–51. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28941/18844>>. Acesso em: 15/02/2021.

SOARES, A. F. S. **Uso de agrotóxicos, contaminação de mananciais e análise da legislação pertinente: um estudo na região de Manhauçu – MG**. 2011. 294 p. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Belo Horizonte, 2011.

SOUZA, V. C. A. B. *et al.* Qualidade da água subterrânea do Bairro Perpétuo Socorro de Santa Maria – RS. **Rev. Disc. Scientia**, Série: Ciências Naturais e Tecnológicas, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 31-49, 2004.

SOUZA, L. F. C. B. **Determinação de agrotóxicos em amostras de água de manancial e de abastecimento público do município de Londrina, Paraná, Brasil**. 2016. 84 p. Dissertação de Mestrado (Ciência Animal), Universidade Estadual de Londrina/PR, 2016.

SOUZA, M. M.; GASTALDINI, M. C. C. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. **Eng. Sanit. Ambient.** [online], v. 19, n.3, p. 263-274, 2014. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/esa/a/LGHjSGCrD9fgGKzFwnnRZhG/?lang=pt&format=pdf>>. Acesso em: 20/05/2021.

SPADOTTO, C. A. *et al.* **Fundamentos e aplicações da modelagem ambiental de agrotóxicos.** Embrapa, Campinas/SP, 2010.

SUNGSITTHISAWAD, W.; P ITAKSANURAT, S. (2013). **Groundwater Quality Index for Water Supply Production.** Thailandia Society of Higher Education Institutes on Environment. Environment Asia, p.18-23.

SZÉKÁCS, A.; MÖRTL, M.; DARVAS, B. Monitoring pesticide residues in surface and ground water in Hungary: Surveys in 1990-2015. **Journal of Chemistry**, 2015.

TOLEDO, L.G.; NICOLELLA, G. Water Quality Index For Agricultural And Urban Watershed Use. **Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)**, 2002, v. 59, n. 1, p.181-186. ISSN 0103-9016.

TOMIĆ, A. S. *et al.* A linear and non-linear polynomial neural network modeling of dissolved oxygen content in surface water: Inter- and extrapolation performance with inputs' significance analysis. **Science of The Total Environmental**, v. 610-611, p. 1038-1046, 2017.

TOOGE, R. Portal de notícias da Globo – G1. **LISTA: quais são e para que servem os ingredientes dos agrotóxicos mais vendidos.** 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2019/10/07/quais-sao-e-para-que-servem-os-principais-ingredientes-dos-agrotoxicos-mais-vendidos.ghtml>>. Acesso em: 01/10/2021.

TRAGHETTA, D. G. *et al.* Mecanismos de sorção da atrazina em solos: estudos espectroscópicos e polarográficos. **EMBRAPA.** Comunicado Técnico, n. 14, p. 1-7, 1996.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água.** 3ª ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. 643 p.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; NETTO, O. M. C. **Gestão da água no Brasil.** Brasília: UNESCO, 2001, 2003. 156p.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: Enfrentando a escassez.** 2ª ed. São Carlos, RiMa, IIE, 2005.

UETA, J. *et al.* **Biodegradação de herbicidas biorremediação. Microrganismos degradadores do herbicida Atrazina.** 2002. Disponível em: <http://www.rsa.ind.br/midia/biodegrada%E7%E3o_biorremedia%E7%E3o.pdf>. Acesso em: 29/06/2021.

UNEP. United Nations Environment Programme. **Vitar Water Graphics.** 2008.

UNIÃO EUROPEIA. Jornal Oficial das Comunidades Europeias. **DIRECTIVA 98/83/CE DO CONSELHO, de 3 de novembro de 1998**. Relativa à qualidade da água destinada ao consumo humano. Disponível em: <http://www.labambientale.com.br/admin/assets/uploads/Directiva_98_83.pdf>. Acesso em: 12/05/2021.

UPL DO BRASIL - Indústria e Comércio de Insumos Agropecuários S.A. **Informações sobre SPADA WG**, 2017. Disponível em: https://www.adapar.pr.gov.br/sites/adapar/arquivos_restritos/files/documento/2020-10/spadawg150218.pdf>. Acesso em: 15/03/2021.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. **National Primary Drinking Water Regulations**. Disponível em: <<https://www.epa.gov/ground-water-and-drinkingwater/national-primary-drinking-water-regulations#Organic>>. 2009. Acesso em: 12/05/2021.

VEIGA, M. M. *et al.* Análise da contaminação dos sistemas hídricos por agrotóxicos numa pequena comunidade rural do Sudeste do Brasil. **Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro**. v. 22, n. 11, p. 2391-2399, 2006.

VIANA, J. N. *et al.* (orgs.) **Agroecologia: um novo caminho para extensão rural sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond p. 39 – 40, 2009.

VIEIRA, M. G. *et al.* Avaliação da contaminação por agrotóxicos em mananciais de municípios da região sudoeste do Paraná. **Revista Virtual de Química**, publicado na web, v. 9, n. 5, *no prelo*, 2017.

VIEIRA, R. H. S. F.; OLIVEIRA, R. A. **Avaliação do grau de contaminação fecal da água e do camarão sossego (*Macrobrachium jelskii*), na Lagoa Parangaba (Fortaleza, Ceará)**. Higiene Alimentar, v. 15, n. 85, p. 61-64, 2001.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**, v. 2. Minas Gerais: ABES, 2005.

VON SPERLING, M. **Estudos de modelagem da qualidade da água de rios**. Belo Horizonte: UFMG, 2007. v. 7. 452 p.

YAMAGUSHI, R. B. **Especiação de alumínio em águas subterrâneas na região do manancial Billings: aplicação da radiação na digestão amostral para fins analíticos e na proposta de remediação**. 2013. 195 p. Tese de Doutorado (Ciências), Universidade de São Paulo/SP, 2013.

WHO. **World Health Organization. Guidelines for Drinking-water Quality**. 4 ed., WHO. Geneva, Switzerland, 2011.

WICANDES, R. *et al.* **Fundamentos da geologia**. São Paulo: Cengage Learning, 2009.

WORLD RESOURCES INSTITUTE. **International Institute for Environment and Development in collaboration with U.N.** Environment Programme. World Resources 1990-1991, Oxford University Press, New York, 1990. Cap. 6, p.83.

ZAMBONI, S. A. S. **Avaliação da potabilidade da água bruta no município de Bandeirantes – PR**. 2019. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Estadual do Norte do Paraná, Campus Luiz Meneghel, Bandeirantes/PR, 2019.

ZIESE, T. *et al.* **Surto de Escherichia coli na Suécia**. Relatórios de investigação de surtos, v.1, 2000.

ZINI, L. B. **Contaminação de agrotóxicos na água para consumo humano no RS: Avaliação de riscos, desenvolvimento e validação de método empregando SPE e LCMS/MS**. 2016. 133 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 2016.

ZOBY, J. L. G.; OLIVEIRA, F. R. **Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. Brasília: ANA, 2005.

ZOBY, J. L. G. Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil. **Revista Águas Subterrâneas, Natal, Supl.** XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2008.

ANEXO A – RESULTADO DAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS

Tabela 14 - Parâmetros físico-químicos e microbiológicos de águas subterrâneas da cidade de Cerro Largo/RS.

Locais	Absorvância λ - 264 mm	Cor ⁽¹⁾	C ⁽²⁾	pH ⁽³⁾	Cl ⁽⁴⁾	OD ⁽⁵⁾	SS ⁽⁶⁾	T ⁽⁷⁾	Tu ⁽⁸⁾	N ⁽⁹⁾	CT ⁽¹⁰⁾	E. c ⁽¹¹⁾
P ₁	0,010	0	59,6	6,93	0	7,63	0	22,2	0	0,332±0,056	a	a
P ₂	0,009	0	54,5	7,63	0	6,79	0	23,7	0	0,089±0,004	a	a
P ₃	0,016	0	61,9	7,90	0	6,80	0	26,9	0	0,078±0,018	a	a
P ₄	0,041	0	77,8	8,14	0,5	3,40	0	26,1	0	0,069±0,015	a	a
P ₅	0,005	0	107,4	6,94	0	9,35	0	25,2	0	0,162±0,027	a	a
P ₆	0,003	0	45,8	7,08	0	7,21	0	22,4	0	0,128±0,017	a	a
P ₇	0,001	0	46,8	7,12	0	10,61	0	23,3	0	0,302±0,029	a	a
P ₈	0,012	0	51,7	7,13	0	8,86	0	21,2	0	0,238±0,049	a	a
P ₉	0,004	0	43,8	6,90	0	11,04	0	21,4	0	0,200±0,025	a	a
P ₁₀	0,016	0	50,6	7,77	0	3,21	0	21	0	0,100±0,013	a	p

Fonte: Elaborado pela autora, 2021. Nota: (1): Cor aparente (μH); (2): Condutividade elétrica ($\mu\text{s cm}^{-1}$); (3): Potencial Hidrogeniônico; (4): Cloro residual livre (ppm); (5): Oxigênio dissolvido (mg L^{-1}); (6): Sólidos sedimentáveis (mL L^{-1}); (7) Temperatura ($^{\circ}\text{C}$); (8): Turbidez (μT); (9): Nitrato (mg L^{-1}); (10): Coliformes totais (ausente/presente); (11):